



TRANSIÇÃO ENERGÉTICA E TECNOLÓGICA PARA DESCARBONIZAÇÃO DO
TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE CARGA

Anderson Costa Reis

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Transportes

Orientador: Márcio de Almeida D'Agosto

Rio de Janeiro
Dezembro de 2024

TRANSIÇÃO ENERGÉTICA E TECNOLÓGICA PARA DESCARBONIZAÇÃO DO
TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE CARGA

Anderson Costa Reis

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM
CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES.

Orientador: Márcio de Almeida D'Agosto

Aprovada por: Prof. Márcio de Almeida D'Agosto

Prof. Lino Marujo

Prof. Aurelio Murta

RIO DE JANEIRO – RJ, BRASIL

DEZEMBRO DE 2024

FICHA CATALOGRÁFICA

Reis, Anderson Costa

Transição energética e tecnológica para descarbonização do transporte rodoviário de carga / Anderson Costa Reis. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2024.

XIV, 135 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Márcio de Almeida D’Agosto

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia de Transportes, 2024.

Referências Bibliográficas: p. 109-115.

1. Transição Energética. 2. Transporte de cargas. 3. Serviços logísticos. I. D’Agosto, Márcio de Almeida. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Transportes. III. Título.

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Aluisio e Arlete, a minha esposa Vanessa, que sempre fizeram tudo que lhes foi possível para que eu pudesse me desenvolver como pessoa e profissional e conseqüentemente continuar na caminhada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos, por darem motivação e forças para que eu pudesse desenvolver e concluir esta dissertação, principalmente por conta de todas as dificuldades encontradas, tendo que conciliar a vida profissional, pessoal, pandemia e outros percalços ao longo da jornada.

Ao professor Márcio D'Agosto, meu orientador, uma das principais referências a nível internacional no tema de pesquisa desenvolvido, que me aceitou como aluno a ser orientado ao longo do curso e acompanhou de forma muito profissional as minhas atividades e que sempre buscou o meu desenvolvimento acadêmico.

Aos membros da minha banca de defesa da dissertação, que foi composta pelo professor Lino Marujo, no qual sempre participou das discussões relacionadas ao tema de pesquisa e grande incentivador para novas ideias e o professor Aurélio Murta, professor da Universidade Federal Fluminense – UFF, também referência no tema de pesquisa.

Aos demais professores do Programa de Engenharia de Transportes da COPPE/UFRJ, por terem resiliência durante um dos períodos mais complicados que a humanidade vivenciou, que foi a pandemia, e comprometimento de transferir o conhecimento para que pudéssemos de alguma forma replicar no mundo corporativo, público ou acadêmico.

À Jane, que sempre esteve pronta para ajudar, no que fosse preciso.

À minha esposa, meus pais, minha irmã, e todos da família que sempre torceram pelo meu desenvolvimento e sucesso.

Ao meu amigo e professor Roberto Ivo, da COPPE/UFRJ, que me incentivou a realizar a prova de ingresso ao mestrado, quando eu não acreditava que era possível passar para cursar em uma das Universidades com maior renome na América Latina.

Aos amigos, família e afilhados que entenderam o meu momento e que por haver uma dedicação intensa ao mestrado, por muitas vezes não participei de encontros sociais, e aos meus amigos, hoje inseparáveis, que o mestrado proporcionou.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

TRANSIÇÃO ENERGÉTICA E TECNOLÓGICA PARA DESCARBONIZAÇÃO DO TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE CARGA

Anderson Costa Reis

Dezembro/2024

Orientador: Márcio de Almeida D'Agosto

Programa: Engenharia de Transportes

O objetivo foi identificar tecnologias alternativas, com baixa ou zero emissão de carbono, para veículos comerciais leves e caminhões, buscando uma transição energética sustentável e consequente descarbonização do transporte rodoviário de cargas, vinculando essas tecnologias a categorias de serviços na cadeia logística, sendo considerada a logística *inbound* e logística *outbound*. A metodologia utilizada neste estudo é um levantamento bibliográfico em fontes secundárias com artigos científicos, trabalhos acadêmicos e publicações em revistas científicas, além de pesquisas em sites de empresas que atuam no setor. Nesse interim foi desenvolvida uma Matriz SWOT por tipo de tecnologia (Propulsão Elétrica, Biocombustíveis, GNV e Hidrogênio), bem como uma matriz BCG para entender o posicionamento e participação no mercado de cada uma delas. Dentro das tecnologias analisadas, percebeu-se que as tecnologias movidas a eletricidade são mais eficazes em distâncias mais curtas, enquanto as tecnologias a combustão movida a GNV são mais eficazes para viagens mais longas. Além disso, foi identificado que a relação peso x volume pode influenciar na utilização dos veículos elétricos. Quanto a Matriz BCG, foi identificado que as tecnologias e combustíveis alternativos ainda estão em fase inicial de aprendizagem mercadológica, se comparada com a tecnologia dos veículos movidos a combustão utilizando o diesel. Portanto, foram classificadas na maioria como “Produtos Interrogação”, pois ainda exigem altos investimentos de desenvolvimento, de marketing e vendas, mas com grande potencial de crescimento na participação do mercado. Esta conclusão destaca a necessidade de explorar ainda mais estes conceitos na prática, com objetivo de buscar ações mais sustentáveis no transporte rodoviário de carga.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

ENERGY AND TECHNOLOGICAL TRANSITION FOR DECARBONIZATION OF ROAD FREIGHT TRANSPORT

Anderson Costa Reis

december/2024

Advisor: Márcio de Almeida D'Agosto

Department: Transportation Engineering

The objective was to identify alternative technologies, with low or zero carbon emissions, for light commercial vehicles and trucks, seeking a sustainable energy transition and consequent decarbonization of road freight transport, linking these technologies to service categories in the logistics chain. The methodology used in this study is a bibliographic survey in secondary sources with scientific articles, academic works and publications in scientific journals, in addition to research on websites of companies operating in the sector. Field research was also carried out and a semi-structured questionnaire was applied to companies operating in the sector. A SWOT Matrix was developed by type of technology (Electric Propulsion, Biofuels, CNG and Hydrogen), as well as a BCG matrix to understand the positioning and market share of each of them. Within the technologies analyzed, it was noticed that some technologies are more effective over shorter distances, while other technologies are more effective for longer trips. Furthermore, it was identified that the weight x volume relationship can influence the use of certain technologies. As for the BCG Matrix, it was identified that alternative technologies and fuels are still in the initial phase of marketing learning, compared to the technology of combustion-powered vehicles using diesel. Therefore, they were mostly classified as “Question Mark Products”, as they still require high investments in development, marketing and sales, but with great potential for growth in market share. This conclusion highlights the need to further explore these concepts in practice, with the aim of seeking more sustainable actions in road freight transport.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO SOBRE O TEMA DE PESQUISA	1
1.2 PROBLEMA DE PESQUISA	5
1.3 OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICOS	6
1.4 JUSTIFICATIVA	6
1.5 METODOLOGIA	7
1.5.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	10
1.5.2 ENTREVISTA TIPO DELPHI@	11
1.5.3 ANÁLISE SWOT	13
1.5.4 MATRIZ BCG	15
1.6 ESTRUTURA	17
2. REVISÃO DA LITERATURA	17
2.1 SISTEMAS DE PROPULSÃO COM TECNOLOGIAS ALTERNATIVAS DE BAIXA OU NULA EMISSÃO NO TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE CARGA	18
2.1.1 MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA (MCI) – DIESEL	19
2.1.1.1 Conversão da tração a diesel para tração elétrica	21
2.1.1.2 Conversão da tração a diesel para GNV	23
2.1.1.3 PROCONVE	24
2.1.2 MOTOR ELÉTRICO	27
2.1.3 HÍBRIDO (EM SÉRIE E PARALELO)	30
2.2 COMBUSTÍVEIS ALTERNATIVOS PARA UTILIZAÇÃO NO TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE CARGA	32
2.2.1 GLP	36
2.2.2 GNV	37
2.2.3 BIOGÁS	38
2.2.4 BIOMETANO	39
2.2.5 METANOL	40
2.2.6 ETANOL	41
2.2.7 ÓLEOS VEGETAIS	41
2.2.8 BODIESEL	42
2.2.9 HIDROGÊNIO	43
2.2.10 ÉTER DIMETÍLICO	45
2.3 CARACTERÍSTICAS E BENEFÍCIOS DE TECNOLOGIAS E COMBUSTÍVEIS COM BAIXA OU NULA EMISSÃO	45
2.4 CATEGORIAS DE SERVIÇOS NO TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE CARGA	50
2.4.1 <i>INBOUND</i> / SUPRIMENTOS	54
2.4.1.1 TRANSFERÊNCIA	54
2.4.2 <i>OUTBOUND</i> / DISTRIBUIÇÃO FÍSICA	56

3. PROSPECÇÃO DE MERCADO COM ESPECIALISTAS	60
4. ANÁLISE, CONSOLIDAÇÃO E PROGNÓSTICO	66
4.1 MERCADOS NACIONAL E INTERNACIONAL DE VEÍCULOS COM BAIXA OU NULA EMISSÃO NO TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE CARGA	66
4.2 EMPRESAS NO BRASIL USUÁRIAS DE VEÍCULOS DE BAIXA OU NULA EMISSÃO NO TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE CARGA	93
5. PROPOSTA PARA ATINGIR A DESCARBONIZAÇÃO NO TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE CARGA	94
5.1 MATRIZ SWOT	94
5.2 MATRIZ BCG	98
6. CONCLUSÃO	106
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	109
ANEXO I – QUESTIONÁRIO APLICADO NAS ENTREVISTAS COM EMPRESAS QUE JÁ ADOTAM NA FROTA, VEÍCULOS PARA O TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE CARGA COM BAIXA OU NULA EMISSÃO, OU FAZEM USO DE COMBUSTÍVEIS ALTERNATIVOS	116

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Etapas do Processo Metodológico	8
Figura 2 Metodologia de Pesquisa	10
Figura 3 Metodologia tipo Delphi@	12
Figura 4 Análise Externa e Interna (SWOT)	13
Figura 5 Análise Matriz SWOT.....	14
Figura 6 Exemplo de uma Análise SWOT	15
Figura 7 Matriz BCG Original	16
Figura 8 Propulsão Convencional	21
Figura 9 Conversão Propulsão convencional usando Diesel para Propulsão Elétrica (peças que saem).....	23
Figura 10 Conversão Propulsão convencional usando Diesel para Propulsão Elétrica (peças que entram).....	23
Figura 11 Propulsão Elétrica com Baterias	29
Figura 12 Propulsão Elétrica com Pilha a Combustível	30
Figura 13 Propulsão Híbrida Elétrica em Série	31
Figura 14 Propulsão Híbrida Elétrica em Paralelo	31
Figura 15 Opções de combustíveis em área urbana	39
Figura 16 Opções de combustíveis para caminhões de longas distâncias	39
Figura 17 Evolução do percentual teor de biodiesel presente no diesel fóssil no Brasil	43
Figura 18 Prós e Contras – Caminhões Elétricos	46
Figura 19 Atividades Primárias da Logística	52
Figura 20 Transporte (Configuração Esquemática de uma Cadeia Logística).....	53
Figura 21 Logística Outbound.....	57
Figura 22 Canal de Distribuição.....	58
Figura 23 Última Milha	58
Figura 24 Quanto o transporte representa em custos percentuais na cadeia logística da empresa?	61
Figura 25 Quantidade de veículos próprios por categoria	62
Figura 26 Quantidade de veículos terceiros por categoria	62
Figura 27 Utilização de tecnologia na frota.....	62
Figura 28 - % de empresas que possuem programas associados à boas práticas na gestão sustentável	64

Figura 29 Critério de decisão para definição do veículo	65
Figura 30 Critério de decisão para definição do veículo	66
Figura 31 Licenciamento de Comerciais Leves / Empresa – Ano 2023	70
Figura 32 Licenciamento de Caminhões / Empresa – Ano 2023	71
Figura 33 Volkswagen E-delivery11	73
Figura 34 Volkswagen E-delivery14.....	74
Figura 35 Volvo FM Electric	76
Figura 36 BYD eT7 12.220	77
Figura 37 BYD eT7 12.220	78
Figura 38 Mercedes-Benz e-Actros 300 4x2.....	79
Figura 39 JAC E-JT9,5.....	80
Figura 40 JAC E-JT12,5.....	81
Figura 41 JAC E-JV5,5	82
Figura 42 JAC iEV1200T.....	83
Figura 43 JAC E-JT 18,0.....	84
Figura 44 SCANIA R410 e G410	85
Figura 45 Modelos SCANIA a GNV	85
Figura 46 Iveco <i>Stralis</i> NP - GNV	86
Figura 47 Mercedes-Benz GenH ₂ Truck - Hidrogênio.....	87
Figura 48 Volvo Truck H ₂	87
Figura 49 Cummins H2	88
Figura 50 Mercado Internacional	89
Figura 51 Quantidade de modelos por categoria e região	90
Figura 52 Mapa de quantidade de modelos por tecnologia e região	91
Figura 53 Análise SWOT – Propulsão Elétrica.....	96
Figura 54 Análise SWOT – GNV	97
Figura 55 Análise SWOT – Biocombustível.....	97
Figura 56 Análise SWOT – Hidrogênio	98
Figura 57 Participação no Mercado – Comerciais leves elétricos.....	101
Figura 58 Participação no Mercado – Caminhões elétricos	101
Figura 59 Participação no Mercado – Caminhões GNV	102
Figura 60 Participação no Mercado – Comerciais leves a diesel	102
Figura 61 Participação no Mercado – Caminhões a diesel.....	103
Figura 62 Participação no Mercado (2023) - Comerciais Leves.....	103

Figura 63 Participação no Mercado (2023) - Caminhão com diesel	104
Figura 64 Participação no Mercado (2023) - Caminhão sem diesel.....	104
Figura 65 Matriz BCG Comercial Leve	105
Figura 66 Matriz BCG Caminhão	106

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Classificação dos Veículos de Carga.....	3
Tabela 2 Matriz do Transporte de Cargas – 2019	4
Tabela 3 Metodologia por etapas.....	9
Tabela 4 Empresas que fazem retrofit de veículos a combustão para elétricos	22
Tabela 5 Fontes de energia para o transporte rodoviário.....	33
Tabela 6 Comparação entre três modelos de propulsão	46
Tabela 7 Vantagens e Desvantagens entre três modelos de propulsão.....	47
Tabela 8 Principais diferenças entre as logísticas inbound e outbound	50
Tabela 9 Licenciamento Total de Comerciais Leves.....	66
Tabela 10 Licenciamento Total de Caminhões por empresa, no ano de 2023	67
Tabela 11 Licenciamento Total de Caminhões Semileves	68
Tabela 12 Licenciamento Total de Caminhões Leves.....	68
Tabela 13 Licenciamento Total de Caminhões Médios	69
Tabela 14 Licenciamento Total de Caminhões Semipesados	69
Tabela 15 Licenciamento Total de Caminhões Pesados	69
Tabela 16 Modelos de Caminhões elétricos em operação no Brasil	72
Tabela 18 Características do modelo E-Delivery11	73
Tabela 19 Características do modelo E-Delivery14	74
Tabela 20 Características do modelo Volvo FM Electric.....	75
Tabela 21 Características do modelo eT7 12.220.....	77
Tabela 22 Características do modelo eT18 21.250.....	78
Tabela 23 Quantidade de modelos por categoria e região.....	90
Tabela 24 Quantidade de modelos por tecnologia e região.....	90
Tabela 25 Quantidade de modelos por tecnologia e categoria	91
Tabela 26 Autonomia em km dos modelos, por região e categoria	92
Tabela 27 Relação de fabricantes de Comerciais Leves e Caminhões.....	92
Tabela 28 Investimentos de empresas privadas na mobilidade elétrica no Brasil.....	93
Tabela 29 Crescimento e Participação no mercado (Propulsão elétrica)	99
Tabela 30 Crescimento e Participação no mercado (GNV)	100
Tabela 31 Crescimento e Participação no mercado (Diesel/Biocombustível)	100
Tabela 32 Relação das tecnologias / fontes de energia com tipo de operação	107

SIGLAS

ANFAVEA	Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores
B ₂ C	<i>Business to Customer</i> (Empresa para Consumidor)
BCG	Boston Consulting Group
BEV	<i>Battery Electric Vehicles</i> (Veículos com Bateria Elétrica)
BTL	<i>Biomass to Liquid</i> (Biomassa líquida)
CaC	Células a Combustível
CAPEX	<i>Capital Expenditure</i> (despesas de capital-investimento)
CBG	<i>Compressed Bio Gas</i> (Bio Gás Comprimido)
CNT	Confederação Nacional dos Transportes
CNPE	Conselho Nacional de Política Energética
CO	Monóxido de Carbono
CO ₂	Gás Carbônico
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CTL	<i>Coal to liquid</i> (Carvão líquido)
DC-DC	Controla o Fluxo da tensão
DME	<i>Dimethyl Ether</i> (Éter dimetílico)
EGR	Recirculação de Gases da Exaustão
eHCV	<i>Electric Heavy Commercial Vehicles</i> (Veículos Comercial Pesado Elétrico)
eLCV	<i>Electric Light Commercial Vehicles</i> (Veículos Comercial Leve Elétrico)
EV	<i>Electric Vehicle</i> (Veículo Elétrico)
FCC	<i>Fluid Catalytic Cracking</i> (craqueamento catalítico fluido)
FCET	<i>Fuel Cell-Electric Trucks</i> (caminhão elétrico movido a célula de combustível)
FCEV	<i>Fuel Cell-Electric Vehicles</i> (Veículo elétrico movido a célula de combustível)
GEE	Gases de Efeito Estufa
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
GN	Gás Natural
GNC	Gás Natural Comprimido
GNL	Gás Natural Liquefeito
GNV	Gás Natural Veicular
GTL	<i>Gas to liquid</i> (Gás líquido)

HC	Hidrocarboneto
HDV	<i>Heavy Duty Vehicles</i> (Veículos Pesados)
HEV	<i>Hybrid Electric Vehicle</i>
HVO	<i>Hydrogenated Vegetable Oil</i> (Óleo Vegetal Hidratado)
ICE	<i>Internal Combustion Engine</i> (Motor de Combustão Interna)
ICO	Ignição por Compressão
LDV	<i>Light Duty Vehicles</i> (Veículos leves)
LMD	<i>Last Mile Delivery</i> (Entrega na Última Milha)
MCI	Motor de Combustão Interna
MDV	<i>Medium Duty Vehicles</i> (Veículos Médios)
MP	Material Particulado
MTBE	Éter Metílico Terciário-Butílico
NOx	Óxido de Nitrogênio
OBD	Sistema de Diagnóstico de Bordo
PBT	Peso Bruto Total
PBTC	Peso Bruto Total Combinado
PHEV	<i>Plug-in Hybrid Electric Vehicle</i>
PNB	Produto Nacional Bruto
SCR	Redução Catalítica Seletiva
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
STM	Sistema de Transmissão Mecânica
SWOT	<i>Strengths, Weakness, Opportunities and Threats</i> (Forças, Fraquezas, Oportunidades e Ameaças)
t	Toneladas
TCO	<i>Total Cost Ownership</i> (Custo Total da Propriedade)
TKU	Tonelada por Quilômetro Útil
UCE	Unidade de Conversão de Energia
UEE	Unidade de Estocagem de Energia
ULCP	Central Eletrônica do Caminhão Elétrico
UT	Unidade de Tração
VUC	Veículo Urbano de Carga

1. INTRODUÇÃO

Nesse Capítulo apresenta-se uma breve contextualização sobre a descarbonização da atividade de transporte rodoviário de carga. Em seguida será considerado o problema, as hipóteses, os objetivos principal e secundários, justificativa, resultados esperados e a delimitação da pesquisa.

1.1 Contextualização sobre o tema de pesquisa

A motivação e necessidade de reduzir as emissões de gases de efeito estufa já foi reconhecida mundialmente, inicialmente na Conferência das Nações unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (Eco-92) e posteriormente, em 1997, o Protocolo de Quioto foi adotado pelas principais potências econômicas do mundo. A necessidade de uma ação global para combater as mudanças climáticas foi reafirmada em outras conferências, como a Conferência de Paris em 2015, que resultou no Acordo de Paris, onde os países se comprometeram a limitar o aumento da temperatura global. Em consequência ao Acordo de Paris, no ano de 2021, a Comissão Europeia anunciou uma série de planos a longo prazo para redução na emissão desses gases, explorando setores chave para alcançar as metas estabelecidas, tendo como setores mais envolvidos, os de transporte e de energia. A meta da União Europeia é reduzir de 80% a 95% a emissão dos gases de efeito estufa, comparado aos níveis de 1990. O Setor de Transportes deve reduzir as emissões entre 54% e 67% até o ano de 2050. Atualmente, a nível mundial, esse setor é responsável por cerca de 25% das emissões de GEE (Gases de Efeito Estufa), sendo uma parcela significativa se comparado a outros setores, com exceção da indústria. Isso demonstra a real necessidade para que sejam adotadas medidas sustentáveis no transporte rodoviário de carga, que é o mais utilizado em todo o mundo (ITF, 2018), buscando reduzir a emissão de carbono. De acordo com a IEA (2021), os veículos são considerados importantes para essa redução proposta e nesse contexto são inseridos os comerciais leves e os caminhões com baixa ou nula emissão.

De acordo com Sato et al. (2022), a qualidade do ar representa uma das métricas mais importantes para avaliar os impactos na saúde em áreas urbanas em todo o mundo. Muitas cidades ao redor do mundo têm qualidade do ar que é considerada insalubre. O Óxido de

Nitrogênio (NO_x) e material particulado (PM) representam dois dos principais poluentes atmosféricos que são considerados essenciais para determinar a qualidade do ar em áreas urbanas.

Segundo a OMS (2021), para manter a qualidade do ar dentro de limites aceitáveis e evitar que se torne insalubre, os principais poluentes como SO_x (óxidos de enxofre), NO_x (óxidos de nitrogênio), e CO_x (óxidos de carbono) devem estar dentro de determinados limites. Esses limites podem variar de acordo com regulamentações nacionais e internacionais.

Limites típicos (em µg/m³):

- *SO_x (Dióxido de Enxofre - SO₂):*

- 20 µg/m³ (média de 24 horas) - recomendação da OMS.

- 500 µg/m³ (10 minutos) - recomendação da OMS para evitar exposições curtas.

- *NO_x (Dióxido de Nitrogênio - NO₂):*

- 40 µg/m³ (média anual) - recomendação da OMS.

- 200 µg/m³ (média de 1 hora) - recomendação da OMS.

- *CO_x (Monóxido de Carbono - CO):*

- 10 mg/m³ (média de 8 horas) - recomendação da OMS.

- 30 mg/m³ (média de 1 hora) - recomendação da OMS.

Esses valores são recomendados para proteger a saúde pública. Exceder esses limites pode resultar em um aumento significativo de problemas respiratórios, cardiovasculares e outros problemas de saúde relacionados à qualidade do ar.

No Brasil, por exemplo, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) estabelece padrões específicos para esses poluentes, que podem variar em relação às recomendações da OMS. As normas podem ser mais ou menos rigorosas dependendo do contexto e da legislação local.

A descarbonização, de acordo com Haasz et al. (2018), é a minimização do impacto negativo associado ao uso de combustíveis fósseis, e que podem ser reduzidas a partir de

três medidas: a primeira medida é melhorar a eficiência do combustível, em segundo é usar o combustível “quase neutro” (biocombustíveis) e a última medida é usar veículos que não emitem GEE (ex: elétricos)

De acordo com a ANFAVEA (2021), no Brasil, os veículos de carga são classificados conforme a Tabela 1:

Tabela 1 Classificação dos Veículos de Carga

Classificação por tonelada

COMERCIAL LEVE / <i>Light Commercial</i>	PBT < 3,5 t.
SEMILEVES / <i>Semi-light</i>	PBT > 3,5 t. < 6 t.
LEVES / <i>Light</i>	PBT ≥ 6 t. < 10 t.
MÉDIOS / <i>Medium</i>	PBT ≥ 10 t. < 15 t.
SEMIPESADOS / <i>Semi-heavy</i>	
Caminhão-chassi / <i>Truck</i>	PBT ≥ 15 t. e CMT ≤ 45 t.
Caminhão-trator / <i>Truck-tractor</i>	PBT ≥ 15 t. e PBTC > 40 t.
PESADOS / <i>Heavy</i>	
Caminhão-chassi / <i>Truck</i>	PBT ≥ 15 t. e CMT > 45 t.
Caminhão-trator / <i>Truck-tractor</i>	PBT ≥ 15 t. e PBTC ≥ 40 t.

PBT = Peso Bruto Total / GVW

CMT = Capacidade Máxima de Tração / GVW

PBTC = Peso Bruto Total Combinado / GVW

Fonte: Adaptado de ANFAVEA (2022)

Atualmente (2024) algumas tecnologias estão disponíveis, tais como o veículo de propulsão convencional que possui o MCI (Motor de Combustão Interna) a diesel, que pode utilizar os diversos tipos de biocombustíveis para reduzir o efeito negativo da combustão, outro modelo é o veículo que possui o MCI com GNV, e tem os veículos com propulsão elétrica, seja híbrida em série seja híbrida em paralelo, ou com propulsão elétrica com baterias ou propulsão elétrica com pilha a combustível, utilizando hidrogênio. Essas tecnologias estão disponíveis para pelo menos um dos modelos de veículos a seguir: LDVs (*Light Duty Vehicles*), MDVs (*Medium Duty Vehicles*) e HDVs (*Heavy Duty Vehicles*). De acordo com IEA (2021), a frota global de veículos para o transporte de carga, consiste principalmente de LDVs ou veículos leves de carga (<3,5t,

aprox. 70% da frota) e apenas uma pequena proporção de veículos pesados (HDV > 12t, menos de 15% da frota). No entanto, os HDVs têm uma participação maior na quilometragem total da frota, pois são usados principalmente para viagens de longa distância. Além disso, seu maior consumo específico de energia por veículo implica em que os HDV representam até 30% do CO₂ emitido por caminhões.

De acordo com a Tabela 2, o transporte rodoviário de carga possui amplo domínio no Brasil com 61% do total, comparado aos demais modos de transporte, como a cabotagem, o hidroviário, o ferroviário, o aeroviário e o dutoviário. Outros países como os EUA, Japão, China e a União Europeia também têm o modo rodoviário como a principal via para o transporte de cargas, com 43%, 51%, 35% e 50% respectivamente. A princípio, para cada tipo de operação, há um perfil de veículo mais adequado para utilização. Partindo do princípio de que o operador busca maior eficiência financeira e ambiental, é considerado o tipo mais adequado de tecnologia a ser utilizado, além dos combustíveis com menor nível de emissão de poluentes.

Considerando que a divisão modal dos transportes de carga no Brasil tem predominância no transporte rodoviário, e que de acordo com a Tabela 2, está entre os países com maior percentual de utilização, sugere-se que o Brasil tem uma oportunidade relevante para buscar maior eficiência no que tange a emissões de GEE.

Tabela 2 Matriz do Transporte de Cargas – 2019

(em TKUs – Tonelada/kmÚtil)

<i>PAÍS</i>	Rodoviário	Ferrovário	Dutoviário	Hidroviário	Cabotagem	Total
<i>Brasil</i>	61%	21%	4%	2%	12%	100%
<i>Japão</i>	51%	5%	0%	0%	44%	100%
<i>EU(com Reino Unido)</i>	50%	11%	3%	4%	32%	100%
<i>EUA</i>	43%	27%	22%	5%	3%	100%
<i>China</i>	35%	14%	3%	23%	25%	100%
<i>Austrália</i>	27%	55%	4%	0%	14%	100%
<i>Canadá</i>	19%	34%	40%	4%	3%	100%
<i>Fonte: ILOS (2020)</i>						

Matriz de Transportes nos países (% de TKU). Fontes: ILOS (Brasil); National Bureau of Statistics of China, Bureau of Transportation Statistics (EUA), Eurostat (UE), North American Transportation Statistics (Canadá), Department of Infrastructure, Transport, Cities and Regional Development (Austrália), Statistics Bureau (Japão).

Obs: O transporte de carga aéreo não entrou na estatística por representar percentuais pouco significativos.

A Tabela 2 mostra, que no ano de 2019, 61% das cargas movimentadas no Brasil foram por meio das rodovias, enquanto 21% das cargas seguiram pelo modo ferroviário, 12% por cabotagem, 4% por dutos, 2% por hidrovias e menos de 1% pelo modo aéreo. Na divisão modal do transporte de cargas percebe-se que o Brasil, dentre os países indicados, é aquele com maior utilização percentual do transporte por meio de rodovias. Países como o Canadá, EUA e China possuem uma matriz mais bem distribuída entre os modos de transporte.

No ano de 2022, no Brasil, segundo a ANFAVEA (2023) havia na frota com cerca de 5.675.458 veículos considerados comerciais leves e 2.118.146 caminhões (todas tonelagens), representando 12,49% e 4,59% respectivamente de toda frota nacional. Os primeiros comerciais leves elétricos, entraram na frota brasileira no ano de 2006 e o primeiro caminhão elétrico registrado foi no ano de 2013. Porém, apenas no ano de 2021 começou a se verificar um maior número de veículos elétricos registrados, sendo 23 unidades em 2020, 293 unidades em 2021 e 714 unidades em 2022. Os caminhões a gás também começaram a ter maior visibilidade a partir do ano de 2021, mas o primeiro registro foi realizado no ano de 2006. Ainda de acordo com a ANFAVEA (2023), 0,13% dos comerciais leves licenciados no Brasil têm propulsão elétrica, enquanto 47,74% têm motor a combustão movidos a diesel e 50,95% são *flexfuel*. No caso dos caminhões licenciados no ano de 2022, 0,56% têm propulsão elétrica, 0,28% possuem a combustão por GNV e 99,13% usam motores a combustão movidos a diesel.

1.2 Problema de Pesquisa

A utilização de caminhões de baixa emissão e emissão zero em frotas do transporte rodoviário de carga pelas empresas e administração pública ainda é muito pequena no

Brasil, se restringindo a menos de 1% do total da frota, segundo dados da ANFAVEA (2023). Considerando uma necessidade em reduzir a emissão de gases de efeito estufa (GEE) e que um dos meios para essa redução é através do transporte, o que se pretende responder com essa pesquisa é: “É possível realizar a descarbonização por meio do transporte rodoviário de carga?”

1.3 Objetivos Geral e Específicos

O objetivo geral desse estudo é apresentar um procedimento para descarbonizar o transporte rodoviário de carga por meio da introdução de comerciais leves e caminhões de baixa ou nula emissão de carbono.

Para chegar no objetivo geral do trabalho, alguns objetivos específicos foram definidos:

- Identificar Modelos de comerciais leves e caminhões em operação no mercado nacional e internacional;
- Identificar empresas que possuem veículos mais sustentáveis em operação no Transporte Rodoviário de Cargas.
- Desenvolver uma matriz correlacionando a tecnologia utilizada pelo veículo de transporte de carga versus o perfil de operação, considerando aspectos sustentáveis em especial emissões evitadas de CO₂.
- Apresentar uma análise SWOT (*strengths, weakness, opportunities e threats*) considerando os modelos de veículos a combustão e as demais tecnologias disponíveis, buscando entender os principais benefícios e oportunidades, além dos pontos fracos e ameaças de cada uma dessas tecnologias, em busca de maior sustentabilidade e eficiência no transporte rodoviário de carga. A análise SWOT também oferece uma visão preditiva, de modo que os *players* do mercado possam ter maior assertividade na tomada de decisão ao adquirir uma nova tecnologia;
- Buscar as condições operacionais ideais para uma transição entre os modelos a combustão com os modelos de baixa emissão ou emissão zero.

1.4 Justificativa

Esse estudo é justificado pois há uma busca global para que o transporte de carga seja mais sustentável, melhorando a qualidade de vida da população e aumentando a eficiência das empresas. No entanto, entende-se que a realidade das empresas, principalmente nos países em desenvolvimento, ainda é de resistência às mudanças de mentalidade, onde são utilizados caminhões à combustão. Portanto, é interessante que mais pesquisas sobre o assunto sejam realizadas, para que o processo de descarbonização por meio do transporte de carga seja mais rápido do que vem ocorrendo nos últimos anos.

1.5 Metodologia

Do ponto de vista da sua natureza, a pesquisa será aplicada, pois há intenção de que seja utilizada em um ambiente real. A pesquisa será quantitativa e qualitativa, pois serão levantados dados que serão quantificados e qualitativa pois abrange consulta com especialistas (operadores e fabricantes) que darão seus pontos de vista, por meio de entrevista ou preenchimento de questionário, sobre as tecnologias alternativas que serão levantadas nesse estudo, sendo, portanto, métodos indutivo e dedutivo.

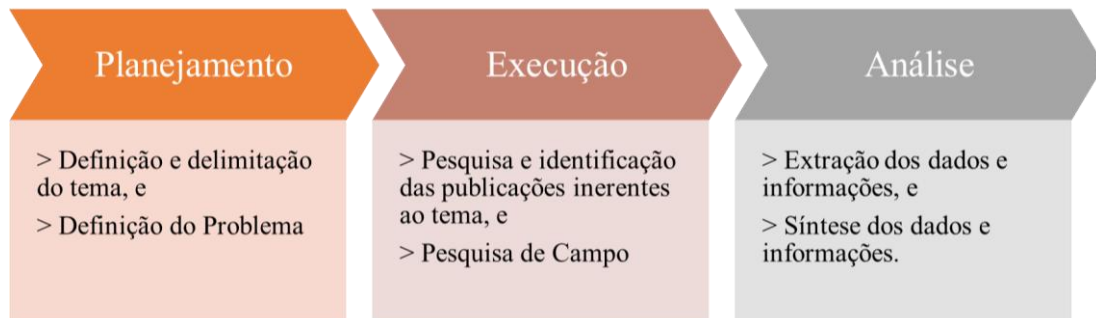
Para coleta de dados foi realizada principalmente a pesquisa bibliográfica em artigos, dissertações, teses e livros inerentes ao assunto, mais especificamente transporte rodoviário de carga sustentável, alternativas tecnológicas e descarbonização. Possivelmente serão consultados manuais técnicos dos equipamentos identificados.

Foi aplicada Pesquisa de Campo, pois há empresas e cidades que têm o transporte rodoviário de carga sustentável e possuem similaridade com o objeto de estudo.

A princípio será utilizado o Método hipotético-dedutivo, pois as hipóteses formuladas foram testadas e conseqüentemente confirmadas.

O Método Fenomenológico deve ser aplicado, pois a realidade será construída, e provavelmente não será única. Os resultados deverão ser confrontados com outros autores.

Figura 1 Etapas do Processo Metodológico



Fonte: Elaboração própria

O objetivo principal é apresentar uma proposta para descarbonizar o transporte rodoviário de carga por meio da introdução de comerciais leves e caminhões de baixa ou nula emissão de carbono, considerando tecnologias alternativas de propulsão e de combustíveis. Assim, este trabalho apresenta um procedimento metodológico segmentado em três etapas: Planejamento, Execução e Análise.

Figura 1 Etapas do Processo Metodológico mostra as etapas do processo metodológico, onde a primeira etapa, de planejamento, procurou delimitar e definir o tema, o problema a ser pesquisado e objetivos principal e específico. A segunda etapa, de execução, é a pesquisa bibliográfica na base *Web of Science, Science Direct e Scopus*, e identificação de publicações relacionadas ao tema por meio de uma revisão bibliográfica sistematizada, além da pesquisa de campo e entrevista através de um questionário pré-definido. Com a identificação das publicações inerentes ao tema, a pesquisa e as entrevistas, foi possível extrair dados e informações para contextualização e posterior apresentação de resultados. A terceira etapa foi composta pela extração e tratamento dos dados e informações, por meio de entrevistas nas empresas que já adotam novas tecnologias na frota e através de workshop com empresas do setor, onde elas expuseram como é o dia a dia dessas tecnologias alternativas, sintetizando seus resultados em busca de uma comprovação de que é possível confirmar a hipótese deste trabalho.

A Tabela 3 mostra a metodologia utilizada por cada uma das etapas propostas para o desenvolvimento do trabalho. Iniciando com levantamento bibliográfico em artigos científicos, passando por entrevistas e culminando na apresentação dos resultados e principais conclusões.

Tabela 3 Metodologia por etapas

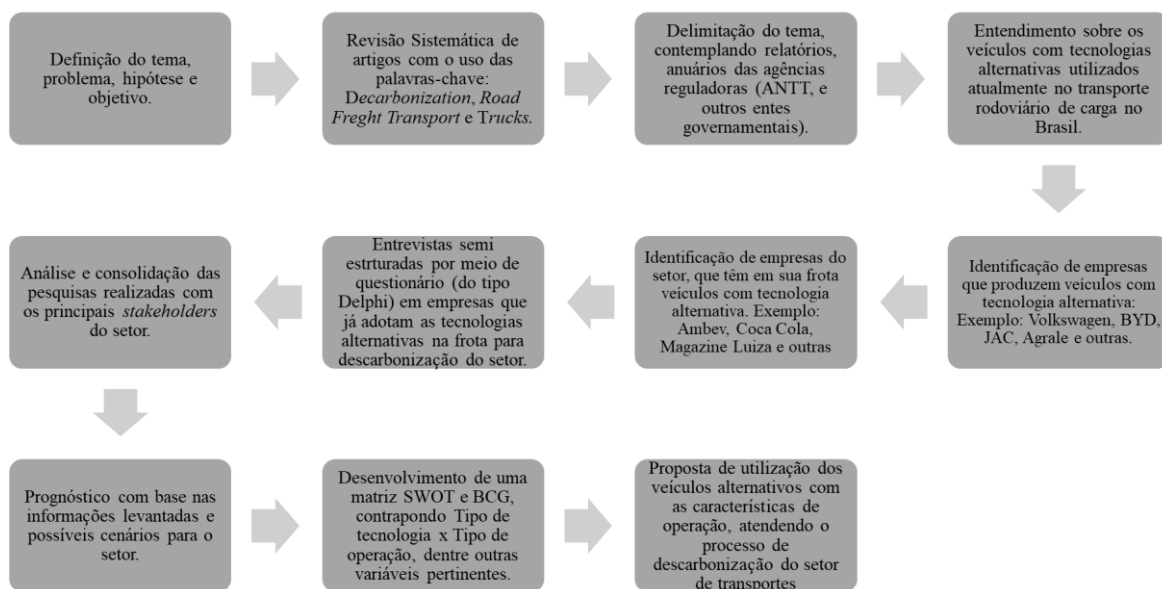
ETAPA ESTUDADA	METODOLOGIA ADOTADA
1 Introdução, caracterização do problema, hipótese, objetivo e conceituação básica do estudo	Levantamento bibliográfico em fontes secundárias com artigos científicos.
2 Fundamentação teórica. Identificação das tecnologias e combustíveis alternativos para veículos que fazem o transporte rodoviário de carga, bem como características da operação.	Levantamento bibliográfico em fontes secundárias com artigos científicos, trabalhos acadêmicos e publicações em revistas científicas
3 Coleta de dados	Realização de entrevistas semi estruturadas em empresas que operam esses modelos e empresas fabricantes desses modelos. Pesquisas em sites de empresas que atuam no setor.
4 Análise de dados	Avaliação das respostas da coleta de dados.
5 Prognóstico de possíveis cenários para o setor	Desenvolvimento de matriz SWOT e BCG, contrapondo tipo de tecnologia x tipo de operação, dentre outras variáveis pertinentes.
6 Resultados	Apresentação dos resultados e principais conclusões.

Fonte: Elaboração própria, com base em Valois (2014, p.133)

A Figura 2 mostra a Metodologia de Pesquisa para comprovar as hipóteses do estudo. Inicia pelas definições de tema, problema, hipótese e objetivo, e por uma revisão sistemática de artigos, pesquisas em relatórios, anuários e documentos inerentes ao tema, buscará o que vem sendo feito a nível mundial para depois entender o mercado nacional. Foram identificadas empresas que produzem os veículos com baixa ou nula emissão, bem como será realizada entrevista com empresas que já possuem na frota os veículos com essa tecnologia. Os dados e informações coletadas com os *stakeholders* serão consolidadas e possíveis cenários para o setor serão vislumbrados. Também serão produzidas matrizes SWOT que indicarão pontos fortes, oportunidades, fraquezas e pontos fracos de cada modelo, facilitando assim uma tomada de decisão e uma matriz BCG (*Boston Consulting Group*) que pode auxiliar na comparação dos modelos.

Para afirmar que a transição energética e tecnológica para descarbonização do transporte rodoviário é possível, será desenvolvida uma matriz que irá mostrar as possibilidades de descarbonização de acordo com o tipo de tecnologia e tipo de operação.

Figura 2 Metodologia de Pesquisa



Fonte: Elaboração Própria

Assim, haveria a possibilidade de analisar e ter um prognóstico do cenário mais provável que as principais empresas do setor, assim como seus clientes estão enfrentando no que tange ao processo de descarbonização deste modo em questão.

1.5.1 Revisão Bibliográfica

Os artigos pesquisados são oriundos da base de dados *Web of Science*, *Science Direct* e *Scopus* e analisados rigorosamente, garantindo que todos tenham relevância como base para o desenvolvimento deste trabalho. A princípio, foram selecionadas algumas palavras-chave: *electric trucks*, *urban freight transport*, *electromobility*, *low emission*, *zero emission*, *decarbonization*, *road freight transport*, *alternative technology*, *alternative fuel* e *electric vehicles*. A pesquisa de artigos foi limitada a publicações do ano de 2018 em diante, sendo do tipo “article and conference paper”. Foram identificadas 127 publicações, que após os filtros aplicados, foi reduzido para 64 publicações.

1.5.2 Entrevista Tipo Delphi@

O Método Delphi é uma técnica de pesquisa estruturada que visa obter consenso ou previsões de um grupo de especialistas sobre determinado assunto. Esse método é particularmente útil em situações em que há incerteza ou falta de informações claras e confiáveis.

As principais características da entrevista tipo Delphi@ são:

- Anônimo: Os participantes (geralmente especialistas no assunto) respondem a questionários de forma anônima, o que evita a influência de opiniões dominantes ou a pressão do grupo;
- Iterativo: O processo é conduzido em rodadas. Após cada rodada, um facilitador ou moderador organiza e sintetiza as respostas e devolve um resumo aos participantes para que reconsiderem suas respostas com base no feedback do grupo;
- Feedback Controlado: Em cada rodada, os participantes recebem um resumo das opiniões do grupo, mas as respostas individuais permanecem anônimas. Isso permite a revisão das opiniões iniciais à luz das considerações dos outros membros do painel;
- Busca por Consenso: O objetivo final é alcançar um consenso ou, pelo menos, identificar as áreas de maior discordância e as razões por trás delas.

Aplicações:

O Método Delphi é frequentemente usado em planejamento estratégico, previsão de tendências, desenvolvimento de políticas públicas, e em qualquer situação em que é necessário reunir a sabedoria coletiva de especialistas para tomar decisões informadas.

Dessa forma, se propõe por entrevista semi-estruturada e também em profundidade, pois as mesmas têm as seguintes características:

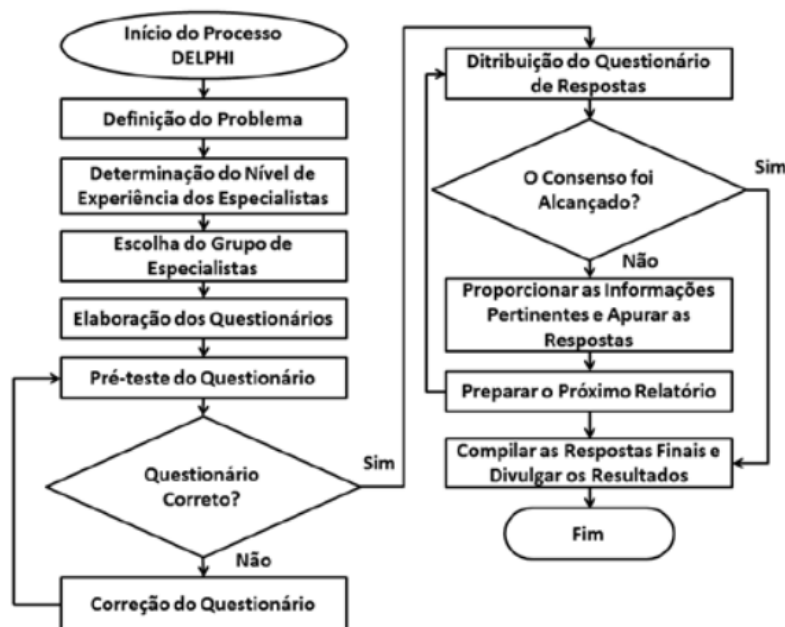
- (1) Flexibilidade ao pesquisador e ao entrevistador para respaldar as hipóteses deste tema de pesquisa vis-à-vis a teoria;

- (2) Fidedignidade no processo de coleta de informações necessárias para o trabalho;
- (3) Roteirização das informações básicas coletadas como um meio para o se organizar para o processo de interação com o entrevistado.

Os tipos de perguntas foram abertos para que o entrevistado tivesse a capacidade de aprofundar sua percepção e/ou julgamento com relação ao mérito da hipótese de minimizar a descarbonização do setor de transportes rodoviário de cargas.

A funcionalidade do método Delphi@ foi de reduzir ao máximo as diferentes possibilidades de previsão ou suposições, simplificando a análise do resultado de um trabalho complexo, quanto ao processo de novas tecnologias para a neutralidade de gases de efeito estufa. A Figura 3 mostra um piloto de como seria tal método. Assim, entendeu-se que o melhor método foi do tipo Delphi@; pois contar-se-á com um painel de especialistas no setor (fabricantes e operadores), cerca de cinco empresas relevantes no cenário nacional, a fim de obter informações e opiniões qualitativas, relativamente precisas sobre o futuro da descarbonização no transporte rodoviário de cargas.

Figura 3 Metodologia tipo Delphi@



Fonte: Etapas usuais de uma pesquisa com o Método Delphi
(Adaptado de Godet (1993) e Landeta, 1999)

1.5.3 Análise SWOT

De acordo com Luecke (2009), as opções estratégicas disponíveis para a empresa, surgem do processo de olhar para fora e para dentro e recebe o nome de Análise SWOT, onde:

S – *Strengths* (Forças): que são capacidades que permitem que a sua empresa, unidade, serviço ou produto tenham bom desempenho – capacidades que precisam ser alavancadas;

W – *Weakness* (Fraquezas): que são características que impedem que sua empresa, unidade, serviço ou produto tenham um bom desempenho, e precisam ser abordadas;

O – *Opportunities* (Oportunidades): são tendências, forças, eventos e ideias de que sua empresa, unidade, serviço ou produto podem tirar proveito; e

T – *Threats* (Ameaças): são eventos ou forças possíveis que estão fora do seu controle e requerem que a empresa, unidade, serviço ou produto planejem ou decida como mitigá-los.

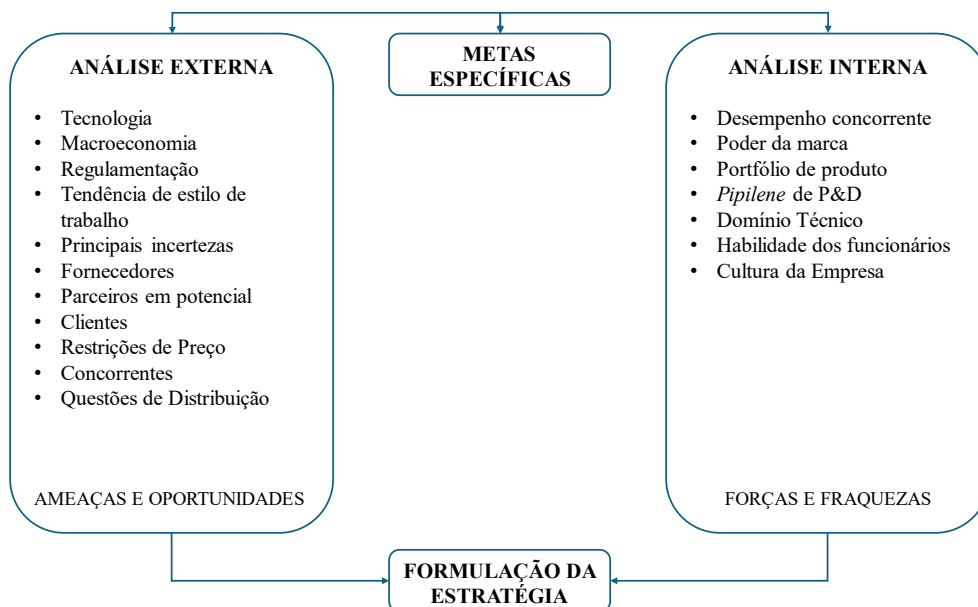


Figura 4 Análise Externa e Interna (SWOT)

Fonte: Adaptado de Luecke (2009)

A análise de cenários, no planejamento estratégico, é de extrema importância para saúde da organização. A Análise SWOT (*Strengths, Weakness, Opportunities e Threats*), também conhecida (em português) como FOFA (Forças, Oportunidades, Fraquezas e

Ameaças) é uma técnica de gestão e planejamento utilizada nas empresas (Fernandes *et al.*, 2013)

Conforme Silva (2011), a análise SWOT tem como objetivo a compreensão dos fatores que influenciam a organização / empresa e mostrar como eles podem afetar a iniciativa organizacional, conforme mostrado na Figura 5. Com base nas informações obtidas a organização pode elaborar novas estratégias de atuação no mercado, maximizando seu desempenho.

ANÁLISE FOFA	Análise Externa Oportunidades O	Análise Externa Ameaças A
Análise Interna Fortes F	Como os nossos pontos fortes podem ser empregados para tirar proveito das nossas oportunidades?	Como nossos pontos fortes podem ser usados para impedir que as ameaças atrapalhem nossas estratégias?
Análise Interna Fracos F	O que deveríamos fazer com os nossos pontos fracos para tirar melhor proveito de nossas oportunidades?	O que deveríamos fazer para reforçar nossos pontos fracos e impedir que as ameaças não nos prejudiquem mais ainda?

Figura 5 Análise Matriz SWOT

Fonte: Pereira, 2016

De acordo com Dess (2019), as empresas devem reagir oportunamente às condições externas e internas para permanecerem competitivas, e a análise SWOT é uma ferramenta que pode ser utilizada para identificar vantajosidade por meio dos pontos fortes e desvantajosidade por meio de suas fraquezas. Dessa forma, pode-se planejar o lançamento de novas iniciativas, pesar os pontos a favor e os pontos contra de diferentes estratégias ou revisar projetos em andamento. Com essa análise é possível aproveitar os pontos fortes, mitigar os pontos fracos, capitalizar oportunidades e defender das ameaças. Dess (2019) exemplifica, por meio de uma pesquisa realizada, na Figura 6:

SWOT	Útil	Prejudicial
Interno	Direito de construir Parques Eólicos	Longa distância até os consumidores
Externo	Crescimento da demanda por produtos sustentáveis	Política mais rigorosa

Figura 6 Exemplo de uma Análise SWOT

Fonte: Adaptado de Dess (2019)

A análise SWOT será uma das ferramentas utilizadas pela empresa que tem interesse em investir nas tecnologias que estarão contempladas no desenvolvimento do estudo, de modo que a tomada de decisão seja mais assertiva e tenha o retorno financeiro e sustentável desejado.

1.5.4 Matriz BCG

De acordo com Chiavenato e Sapiro (2020) a Matriz BCG é uma ferramenta de análise de portfólio de negócios ou matriz de participação e crescimento do mercado, cujo objetivo é administrar melhor seu produto, serviço ou tecnologia. A Matriz BCG foi criada pela *Boston Consulting Group* no início da década de 1970 onde identificou que os produtos (serviços e tecnologias) com investimentos rentáveis devem ser mantidos, enquanto os investimentos deficitários devem ser descartados.

Conforme Nakagawa (2021), a Matriz BCG serve para que o empreendedor melhore sua oferta de produtos ou serviços existentes, priorizando os que geram (ou podem gerar) maior retorno e que exigem menor esforço na venda. Essa análise é útil porque permite identificar o posicionamento do produto, serviço, tecnologia no mercado. Na matriz BCG é analisado a participação e o potencial de crescimento do mercado de cada produto, serviço tecnologia disponível.

O formato original da Matriz BCG está representado na Figura 7, e é dividida em quatro partes, sendo:

- Vacas-Leiteiras: Geram muito lucro para a empresa sem que seja necessário muito investimento, principalmente em marketing e vendas. Tem como objetivo manter a posição de “vacas-leiteiras”, cuidando para que a demanda se mantenha crescente (ou pelo menos constante);
- Estrela: Geram muito lucro (boa margem), mas também exigem muitos investimentos para obter um bom nível de vendas/margem. Tem como objetivo se posicionar como “vaca-leiteira”;
- Pontos de Interrogação: Ainda não geram muitos lucros. Em geral, são produtos inovadores e/ou recém-lançados que parecem ter bom potencial de geração de lucros, mas ainda exigem altos investimentos de marketing e vendas, principalmente. Tem como objetivo se posicionar como “vacas-leiteiras” ou “estrelas” em um prazo determinado, do contrário serão eliminados;
- Cachorro (traduzido como abacaxi no Brasil): Não vendem bem, não tem boa margem de lucro e contribuem pouco para os resultados. Nem mereciam aumentos de investimentos, já que o mercado para esses produtos não aponta crescimento (ou até pode diminuir) nos próximos anos. É a última chance (repensar estratégia de crescimento) para se posicionarem em outros quadrantes ou serem eliminados.





MATRIZ BCG		Participação no Mercado	
		Alto	Baixo
Crescimento do Mercado	Alto		
	Baixo		

Figura 7 Matriz BCG Original
 Fonte: Adaptado de Nakagawa (2021)

De acordo com Lemos (2008), a Matriz BCG ajuda a definir o trânsito de recurso dentro da corporação, em função de seu futuro. Diz que as vacas leiteiras (tecnologia, produto, serviço maduro) devem financiar as estrelas e os pontos de interrogação (estrelas em potencial), e os abacaxis devem ser descartados.

Dobni (2018) diz que a dimensão “estrela” é o mercado em crescimento, por isso novos investimentos devem ser feitos relacionados ao produto ou tecnologia. Kontu et al (2019) fala que o produto posicionado na “vaca leiteira” não tem necessidade de fazer muitos investimentos novos em relação ao mercado que atua, pois o mercado não está crescendo significativamente. Ansoff et al (2019) mostra que existe um risco no mercado quando o produto está posicionado no “ponto de interrogação”, e que os investidores devem ter cuidado nas suas decisões de investimento. Segundo Candelo (2019), quando o produto está posicionado no “abacaxi”, não é apropriado realizar investimentos.

1.6 Estrutura

Além da introdução, este trabalho está dividido em mais cinco capítulos. No segundo capítulo será realizada uma revisão bibliográfica mostrando as tecnologias alternativas de baixa ou nula emissão de CO₂, combustíveis alternativos, características e benefícios de tecnologias e combustíveis com baixa ou nula emissão de CO₂ e os perfis de operação do transporte rodoviário de carga. No terceiro será feita uma prospecção de mercado com especialistas, que é a análise do questionário. No quarto capítulo será feita uma análise, consolidação e prognóstico dos mercados nacional e internacional de veículos com baixa ou nula emissão e de empresas usuárias de veículos de baixa ou nula emissão. No quinto capítulo será feita uma proposta para atingir a descarbonização no transporte rodoviário de carga, considerando os tipos de operação e as tecnologias e combustíveis de baixa ou nula emissão de CO₂. Ainda no capítulo cinco serão apresentadas as matrizes SWOT e BCG. No capítulo 6 será mostrada a conclusão desta dissertação, e a seguir, as referências bibliográficas.

2. REVISÃO DA LITERATURA

A revisão bibliográfica foi dividida em 3 seções: a primeira seção fala sobre os tipos de propulsão “Tecnologias alternativas de baixa ou nula emissão no transporte rodoviário de

carga”, a seção seguinte aborda os tipos de combustíveis utilizados no transporte de carga rodoviário “Combustíveis alternativos para utilização no transporte rodoviário de carga” e a terceira seção levanta os tipos de operação “Categorias de serviços para o transporte rodoviário de carga”. Dentro de cada seção foram geradas subseções, de modo a especificar com mais detalhes os temas.

2.1 Sistemas de Propulsão com tecnologias alternativas de baixa ou nula emissão no transporte rodoviário de carga

De acordo com Panoutsou et al. (2021), atualmente os veículos pesados (caminhões e ônibus) representam uma frota de aproximadamente 97% dos veículos movidos a diesel. Segundo a IEA (2021), as emissões de CO₂ dos caminhões e ônibus aumentaram cerca de 2,6% ao ano desde 2000 até 2020. O mesmo autor afirma que, os comerciais leves representaram, no ano de 2018, cerca de 8% das emissões no setor de transportes.

No Brasil, no ano de 2020, 90% do combustível utilizado por este setor é o diesel (EPE, 2021), grande emissor de gases de efeito estufa. Desta forma, a descarbonização no setor de ônibus e caminhões no Brasil, até 2050, depende diretamente da diversificação de tecnologias para utilização de energia. (Rede Brasil do Pacto Global, 2022)

Considerando a necessidade iminente na redução das emissões de poluentes, diversas tecnologias foram desenvolvidas, buscando maior eficiência energética dos veículos. De acordo com Cooper et al. (2019), a introdução de regulamentações rígidas para redução das emissões (CO₂, óxidos de nitrogênio (NO_x) e partículas, entre outros), bem como a volatilidade do preço do diesel levaram empresas e operadoras a buscarem combustíveis alternativos, como o biodiesel, e tecnologias alternativas, como os veículos elétricos. O biodiesel tem problemas relacionados à sua matéria-prima (por exemplo, competição de culturas, uso da água e uso da terra), mas continua sendo boa opção para redução na emissão de CO₂. Os caminhões elétricos atualmente têm baixa autonomia de viagem, com média entre 200km e 300km, e a infraestrutura de carregamento disponível ainda é limitada. O gás natural é uma alternativa ao diesel e pode oferecer reduções de emissões em relação a ele. O gás natural produz cerca de 75% do CO₂ se comparado ao diesel ou a gasolina e, geralmente, baixas quantidades de poluentes do ar.

De acordo com Calvo Ambel (2015 apud Çabukoglu, 2019), o transporte de cargas pesadas é um importante emissor de CO₂ e sua participação nas emissões cresce em todo mundo. Um potencial solução para esse problema é a eletrificação dos veículos pesados (Euroelectric, 2017 apud Çabukoglu, 2019).

Conforme Vilchez (2022), uma parte significativa das emissões de gases de efeito estufa são provenientes dos caminhões, seja leve ou seja pesado. Hoje, na União Europeia é comum ter disponibilidade de infraestrutura de pontos de reabastecimento de GNL (Gás Natural Liquefeito) ou GNV (Gás Natural Veicular) e de recarga de energia, e no período de 2025 a 2030 será buscado um crescimento exponencial de pontos de recarga para o público em geral.

De acordo com D'Agosto et al. (2018), algumas tecnologias não convencionais em veículos rodoviários apresentam diferenciação em relação aos veículos equipados com motor alternativo de combustão interna e sistema de transmissão mecânico, como por exemplo os veículos híbridos, elétricos à bateria e elétricos a pilha-combustível.

As Figuras 8, 11, 12, 13 e 14 apresentam os esquemas de funcionamento dos veículos a combustão convencional, a propulsão híbrida elétrica em série, propulsão híbrida elétrica em paralelo, propulsão elétrica com baterias e propulsão elétrica com pilha a combustível, respectivamente.

2.1.1 Motor de Combustão Interna (MCI) – diesel

De acordo com Cunanan (2021), o modo mais utilizado de propulsão para caminhões pesados, com aproximadamente 99% da frota, é o motor de combustão interna com a utilização de diesel, por isso, a infraestrutura para este tipo de abastecimento prevalece na maioria, se não, em todos os países. A demanda por tecnologias e combustíveis alternativos está aumentando para HDVs, mas ainda se encontra em estágio inicial, pois ainda se encontram em desenvolvimento para veículos que percorrem maiores distâncias.

Segundo o OSML (2023), esse é o sistema de propulsão mais empregado para veículos de modo rodoviário. Nesse modelo (sistema) o combustível estocado no tanque de combustível é misturado ao ar e queimado no interior dos cilindros de um motor de

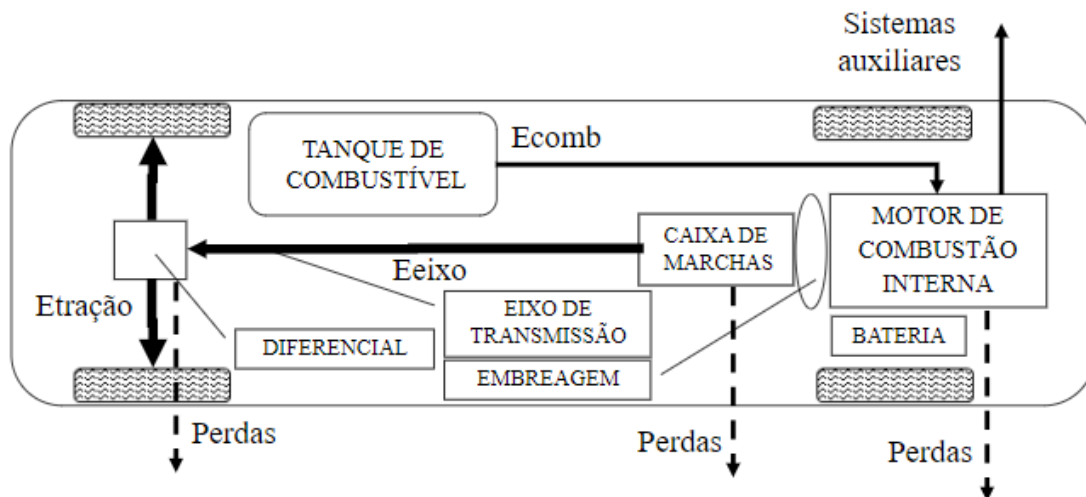
combustão interna. A ignição da mistura do ar com o combustível pode ser induzida por centelhamento (ICE), quando a fonte de energia convencional é a gasolina, ou por compressão (ICO), quando a fonte de energia é o óleo diesel. Assim, o MCI converte a energia química do combustível em torque e potência, para serem utilizados na forma de trabalho para proporcionar o deslocamento do veículo.

No entanto, o MCI opera numa faixa de rotação, delimitada por dois extremos, rotação de marcha lenta e de rotação máxima. Desse modo, o torque e a potência gerados no MCI não são uniformes ao longo da operação do veículo. Portanto, torna-se necessário acrescentar um sistema de transmissão mecânico (STM), capaz de transformar o torque em potência no requisitado momentaneamente para deslocamento do veículo. (OSML, 2023)

O STM é composto de embreagem, caixa de marchas, eixo de transmissão, diferencial, e semieixos das rodas. Essa configuração é considerada padrão, na qual o MCI se localiza na parte dianteira dos veículos e a tração é realizada pelas rodas do eixo traseiro. Este sistema deve satisfazer os requisitos associados à operação dos veículos rodoviários, incluindo:

- (1) promover a transição entre a situação estacionária e em movimento;
- (2) converter torque e a rotação do motor de modo que atenda às necessidades de tráfego do veículo;
- (3) suprir movimento para frente e para trás;
- (4) compensar variações de rotação das rodas nas curvas; e,
- (5) garantir que o MCI permaneça funcionando dentro de uma faixa de rotações que permita limitar o consumo de combustível e as emissões de poluentes atmosféricos

Figura 8 Propulsão Convencional



Fonte: D'Agosto (2018)

2.1.1.1 Conversão da tração a diesel para tração elétrica

O alto valor para aquisição de um veículo elétrico fez com que empresas pensassem em alternativas, e uma delas é um processo chamado de *e-retrofit*, que nesse caso é a conversão do veículo com motor a combustão interna movido a diesel para um veículo com motor elétrico.¹

Segundo a matéria², “o foco da empresa está no transporte urbano de carga. Os veículos convertidos podem ter autonomia de 30 a 150 km e peso bruto de 3,5 a 54 toneladas. Comparados ao e-delivery, o alcance pode parecer pequeno, visto que no pacote com 6 baterias o caminhão da Volkswagen pode rodar até 210 km. Mas como o processo é customizável, tudo depende da necessidade do cliente”. Além disso, o custo do *e-retrofit* pode ser de 25% a 30% menor, se comparado a aquisição de um veículo elétrico novo.

Segundo a empresa Eletra, além dos caminhões da Volkswagen, a conversão pode ser realizada em modelos de outras marcas, como a Mercedes Benz, Volvo, Scania, Ford e Iveco. O motor elétrico e o conversor são da empresa Weg (localizada em Jaguará do Sul). No entanto, toda a parte eletrônica, para fazer os componentes elétricos estarem

¹ <https://quatorrodas.abril.com.br/noticias/empresa-converte-caminhoes-a-diesel-em-eletricos-no-brasil> (acesso em 08 de novembro de 2023)

² <https://www.mobiauto.com.br/revista/empresa-recicla-caminhoes-velhos-a-diesel-e-os-converte-em-eletricos/1277> (acesso em 16 de novembro de 2023)

integrados, é desenvolvida pela própria Eletra. Já as baterias de íons de lítio são importadas da China.

No Brasil, o mercado de empresas que realizam esse tipo de serviço, de conversão da propulsão do veículo a combustão para propulsão elétrica, ainda é muito restrito, tendo poucas empresas habilitadas para esse tipo de atividade para veículos do tipo comercial leve e caminhões de todos os tipos. Na Tabela 4, são mostrados alguns players que foram identificados e que prestam esse tipo de serviço, de *retrofit*.

Tabela 4 Empresas que fazem *retrofit* de veículos a combustão para elétricos

ID	EMPRESA	TIPO DE VEÍCULO	COMBUSTÍVEL DE ORIGEM	SITE
1	Eletra	Ônibus e Caminhões	Combustão a diesel	https://www.eletrabus.com.br/categoria/e-retrofit/
2	Rio Solare	Ônibus e Caminhões	Combustão a diesel	https://www.riosolare.com.br
3	Plug.In mobility	Caminhões	Combustão	https://plugin.eco.br/conversao/
4	ZF (e-Trofit):	Caminhões	Combustão a diesel	https://aftermarket.zf.com/br/portal-do-aftermarket/para-frotas/retrofit/
5	Valeo Service	Comerciais Leves	Combustão	https://www.valeoservice.com.br/pt-br
6	Stellantis	Comerciais Leves	Combustão	https://insideevs.uol.com.br/news/631987/stellantis-retrofit-conversao-carros-eletricos/

A Figura 9 mostra o que sai do sistema de tração diesel, que são: motor a diesel, bomba hidráulica, compressor de ar, alternador, bomba d'água, transmissão, sistema de exaustão, reservatório de arla 32, tanque de combustível e filtro de diesel, enquanto na Figura 10 mostra o que entra no sistema de tração elétrica, que são os seguintes componentes: Motor de tração, banco de baterias (bateria de íons de lítio), transmissão automática, compressor de ar comprimido, conjunto de bomba hidráulica, arrefecimento do radiador, bomba d'água, inversor auxiliar, inversor de tração, ULCP (central eletrônica do caminhão elétrico) e conversor DC-DC (controla o fluxo de tensão). Demais componentes como chassi, freios, suspensões e outros permanecem os mesmos.

O QUE SAI DO SISTEMA DE TRAÇÃO DIESEL

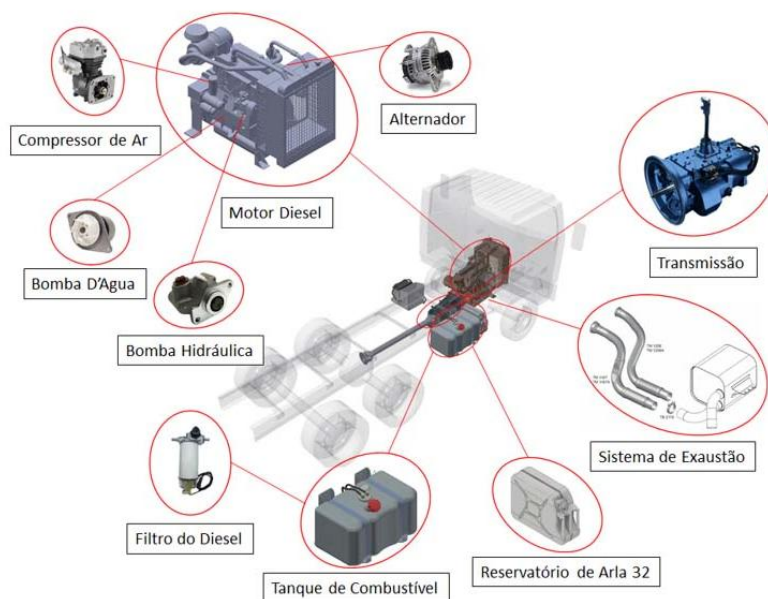


Figura 9 Conversão Propulsão convencional usando Diesel para Propulsão Elétrica (peças que saem)

O QUE ENTRA NO SISTEMA DE TRAÇÃO ELÉTRICA

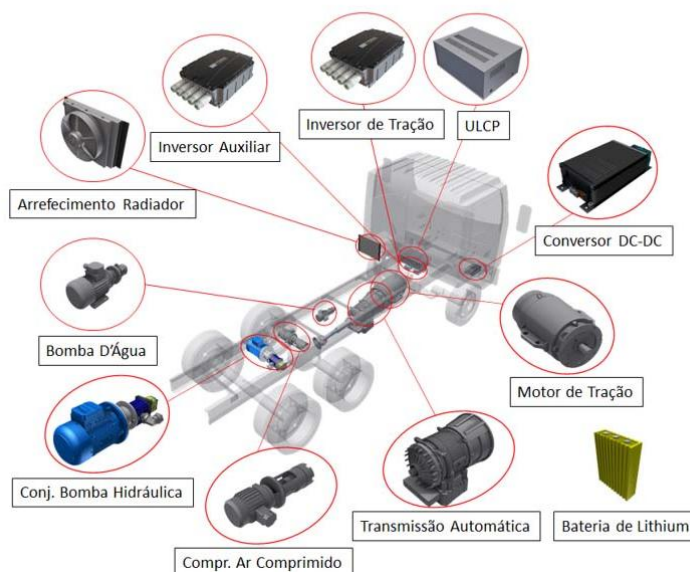


Figura 10 Conversão Propulsão convencional usando Diesel para Propulsão Elétrica (peças que entram)

2.1.1.2 Conversão da tração a diesel para GNV

Em busca de alternativas de *retrofit* de veículos para transporte de rodoviário de carga, que tenha emissão de poluentes em níveis mais baixos do que os motores a combustão

interna movidos a óleo diesel, é considerada uma alternativa além da eletrificação, que é a utilização do GNV.

Segundo Almeida (2012), para ser utilizado o gás natural veicular – GNV em um motor que utiliza combustíveis convencionais, são necessárias algumas adaptações, sendo uma delas a mistura ar / combustível feita no misturador, onde o motor alimentado por óleo diesel necessita de 15 kg de ar atmosférico para cada 1 kg de óleo diesel e quando é utilizado o biogás com 60% de metano, são necessários 5,71m³ para cada 1 m³ de biogás. Também é desejado um aumento na taxa de compressão para não perder eficiência no motor.

Almeida (2012) diz que a conversão do motor depende de um kit, composto por manômetro, redutor, caixa comutadora, válvula de abastecimento, válvula de cilindro, tubo de alta pressão e cilindro para armazenar o gás.

De acordo com a Edelman (2024)³, A MWM, uma empresa Tupy, uniu forças à Copergás, líder na distribuição de gás no estado de Pernambuco, para concluir a primeira transformação veicular em um caminhão de transporte rodoviário da Rodotril. Com a transformação, a empresa passa a contar com um caminhão com motor MWM Acteon 6.12 a gás, com potência de 330cv, que tem a capacidade de transportar 172m³ de gás e já está em pleno funcionamento nas estradas de Pernambuco. Mesmo diante das variações nos preços dos combustíveis, a modificação proporcionará uma economia de aproximadamente 25% ao percorrer uma rota de cerca de 140 quilômetros.

2.1.1.3 PROCONVE

O Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA é o órgão consultivo e deliberativo do Sistema Nacional do Meio Ambiente – SISNAMA, o conjunto de órgãos públicos responsáveis pela proteção ambiental no Brasil. O CONAMA é presidido pelo Ministro do Meio Ambiente e é um colegiado de cinco setores: órgãos federais, estaduais e municipais, setor empresarial e entidades ambientalistas.

³ <https://www.mwm.com.br/site.aspx/Detalhe-Releases/MWM--SUBSIDIARIA-DA-TUPY,-PROMOVE-TRANSFORMACAO-VEICULAR-COM-MOTOR-A-GAS>

Para minimizar os impactos negativos causados pelas emissões de poluentes na atmosfera, e em linha com ações que vinham sendo adotadas na Europa e nos Estados Unidos na década de 80, o Brasil foi o primeiro país da América do Sul a criar legislação com foco na redução da emissão de gases poluentes provenientes de veículos automotores. Essa iniciativa levou à criação do Programa de Controle de Emissões Veiculares (Proconve) que foi instituído a partir da Resolução CONAMA nº 18, de 6 de maio de 1986⁴, com o objetivo de:

- Reduzir os níveis de emissão de poluentes por veículos automotores para atender os Padrões de Qualidade do Ar, especialmente nos centros urbanos;
- 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;
- 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 de veículos automotores, visando a redução de poluentes emitidos na atmosfera; e,
- Estabelecer condições de avaliação dos resultados alcançados.

Dessa maneira, os novos veículos (nacionais ou importados) vendidos no Brasil, foram obrigados a cumprir as normas estabelecidas por lei. Diversas inovações tecnológicas foram introduzidas aos automóveis, sempre em vista de aumentar o rigor no limite das emissões de gases. O Proconve tem fomentado a evolução tecnológica dos veículos brasileiros há mais de três décadas.

As determinações da Resolução CONAMA nº16 foram reforçadas pela Lei nº 8.723, de 28 de outubro de 1993, que estabeleceu a redução dos níveis de emissão de monóxido de carbono, óxido de nitrogênio, hidrocarbonetos, álcoois, aldeídos, fuligem, material particulado e outros compostos poluentes nos veículos comercializados no país.

⁴ conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=41

Sendo assim, foram então estabelecidos padrões de emissão para os tipos diferentes de veículos comercializados no mercado brasileiro, basicamente veículos leves (L), que incluem automóveis de passageiros e veículos leves comerciais, e veículos pesados (P), que incluem caminhões e ônibus. Como a análise deste estudo está direcionada ao setor de carga, são de interesse as normas referentes à caracterização “P”.

De acordo com a 3ª edição do Manual do Proconve⁵, de 29/11/2011, é considerado veículo pesado o “veículo automotor para o transporte de passageiros e/ou carga, com massa total máxima maior que 3.856 kg ou massa do veículo em ordem de marcha maior que 2.720 kg, projetado para o transporte de passageiros e/ou carga”.

O Proconve passou por várias fases que reduziram paulatinamente os limites de emissão de poluentes por veículos pesados, como:

- Fases P-1 e P-2 (1990-1993): Produção de motores menos poluentes e nesse período não havia limites para liberação gasosa e de material particulado (MP);
- Fase P-3 (1994-1997): Produção de motores mais eficazes tanto o que diz respeito ao consumo quanto para a emissão de (óxidos de nitrogênio) NO_x e MP. Foram notados a redução de 43% de monóxido de carbono (CO) e 50% de hidrocarbonetos (HC);
- Fase P-4 (1998-2002): Redução dos limites impostos na fase P-3;
- Fase P-5 (2003-2008): Continuar a reduzir o NO_x , HC e MP;
- Fase P-6 (2009-2011): Em janeiro de 2009 deveria ter sido dado o início desta fase segundo a Resolução CONAMA nº 315/2002, tendo como objetivo continuar a reduzir a emissão de NO_x , HC e MP, mas foi adiada.

Como observado, o controle das emissões gasosas pelo escapamento de veículos pesados somente teve início com a introdução gradativa dos limites da Fase P-3, em 1994, da Fase P-4, em 1998, da Fase P-5, em 2004, da Fase P-6, adiada para a Fase P-7, instituída em 2012.

A redução na concentração de enxofre era fator fundamental na fase P-6, visto que sua concentração contribui para o chamado “envenenamento do catalisador” (quando o

⁵[manual proconve promot_portugues.pdf\(ibama.gov.br\)](#)

catalisador dos gases da combustão se torna ineficiente), não reduzindo as emissões de NO_x e HC. Desta forma, foram impostos limites para a concentração nos tipos de diesel existentes, com novos limites nas suas concentrações.

Em novembro de 2008, o CONAMA por meio da Resolução n.º 403⁶, aprovou a fase P-7, para veículos pesados, limitando a concentração de enxofre para 10 ppm (partículas por milhão), e teve seu início em 01 de janeiro de 2012. Fase equivalente à Euro 5 (protocolo europeu referente às emissões de gases poluentes).

A fase P-8⁷ foi instituída em 16 de novembro de 2018, pela Resolução CONAMA n.º 490⁸, mas entrou em vigência em 01 de janeiro de 2022. A introdução da P-8 visa fortalecer significativamente o programa regulatório no país, tendo em vista que ela equivale à norma Euro 6 praticada pela União Europeia.

A P-8 busca estabelecer novos limites máximos de emissão dos gases de escapamento, partículas e ruído, e um conjunto maior de requisitos relacionados aos sistemas de diagnóstico de bordo (OBD). Isso significa que é prevista a melhora do monitoramento do controle de emissões de poluentes e da padronização dos sistemas de dados entre os fabricantes. A ideia é que seja possível que um mesmo leitor de OBD possa verificar qualquer veículo de qualquer marca.

A P-8 também exige que veículos com motores diesel combinem dois sistemas de redução de poluentes: Redução Catalítica Seletiva (SCR) e Recirculação de Gases da Exaustão (EGR), entre outras obrigações.

2.1.2 Motor Elétrico

O uso de energia elétrica, que define o termo de eletromobilidade é o conceito direcionado para o uso de motor com sistema de propulsão elétrico para o transporte de pessoas e de cargas, com o objetivo de apoiar o desenvolvimento sustentável, e permite melhorar a

⁶ [Resolução CONAMA n.º 403 de 11/11/2008 \(normasbrasil.com.br\)](http://normasbrasil.com.br)

⁷ conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=767

⁸ [RESOLUÇÃO N.º 490, DE 16 DE NOVEMBRO DE 2018 - RESOLUÇÃO N.º 490, DE 16 DE NOVEMBRO DE 2018 - DOU - Imprensa Nacional \(in.gov.br\)](#)

qualidade do ar e reduzir a dependência de combustíveis fósseis, abordando preocupações com as mudanças climáticas (Arora et al., 2021).

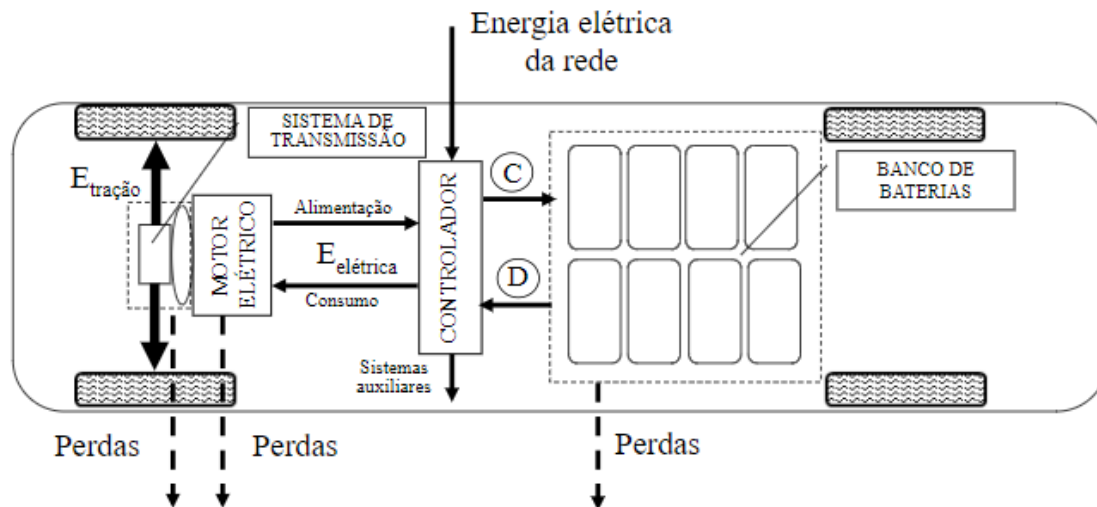
De acordo com o estudo de Teoh (2022), as decisões de usar veículos para transporte de carga elétricos (EFVs) são estratégicas e determinam os cursos de ações futuras, promovida pela alta administração, envolvendo compromissos significativos quanto a disponibilidade de recursos afetando uma parte relativamente grande da organização, o que depende da adequação operacional da frota de acordo com seu perfil logístico ou missão, além dos custos de curto e longo prazo e de outros valores, como de sustentabilidade.

Segundo a EPE (2023), estima-se que até 2032, haverá a penetração de cerca de respectivamente 10% e 17% de caminhões semileves, leves e médios híbridos (HEV) e elétricos a bateria (BEV) e 1,2% de BEV e 2,4% de HEV nos caminhões semipesados e pesados (EPE, 2023).

De acordo com o OSML (2023), os veículos dotados de sistema de propulsão elétrico, também conhecidos como veículos elétricos, são aqueles que não dispõem de motores alternativos de combustão interna como parte da unidade de conversão de energia e cujos principais componentes da unidade de tração são motores elétricos. A Figura 11 ilustra a configuração típica do sistema de propulsão elétrico a bateria, atualmente conhecido como veículo elétrico a bateria plug-in. Esse sistema é provido de estocagem de energia elétrica a bordo na forma de um banco de baterias

Quanto ao modelo equipado com sistemas de propulsão elétrico, segundo D'Agosto et al. (2018.a), é aquele cujo sistema de propulsão apresenta somente o motor elétrico para tração. Esse modelo não emite GEE e poluentes atmosféricos no uso final, pois não queimam combustíveis. Tem diferentes modelos de alimentação da energia e que podem ser realizadas das seguintes formas: por meio de uma rede de alimentação externa, obrigando o veículo ficar sempre conectado a ela; por meio de uma rede de alimentação externa, que alimenta um banco de baterias no interior do veículo, conhecido como sistema *plug-in* e por meio de energia elétrica gerada por uma pilha a combustível, situação em que o veículo terá que ser abastecido com algum tipo de combustível. Os combustíveis mais comuns para essa finalidade são o hidrogênio, metanol e metano.

Figura 11 Propulsão Elétrica com Baterias



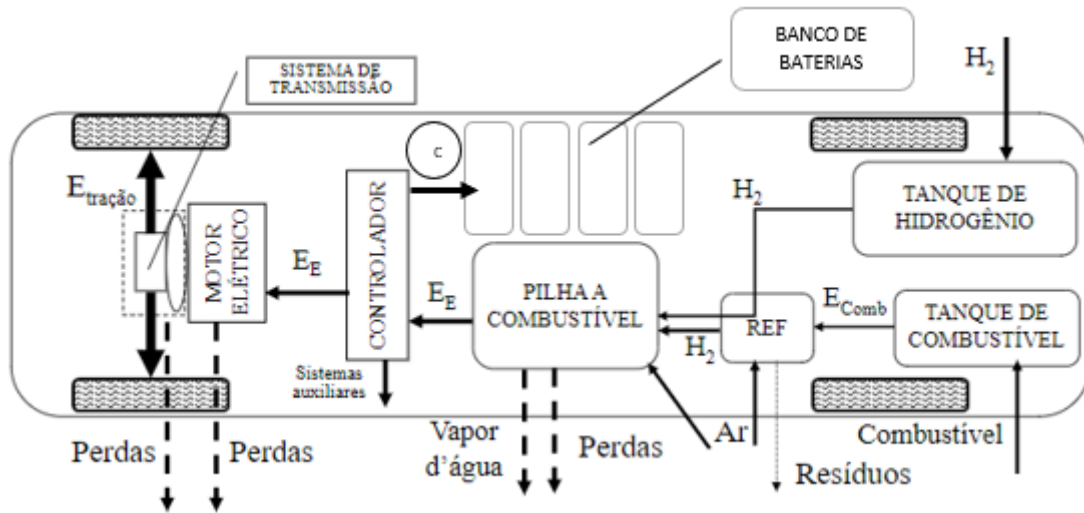
Legendas: C, carga; D, descarga; $E_{elétrica}$, energia elétrica; $E_{tração}$, energia mecânica disponível no eixo tração.

Fonte: D'Agosto (2018)

A Figura 12 ilustra a configuração típica de um veículo elétrico provido de pilha a combustível. Optou-se por representar sobre a mesma plataforma duas formas diferentes de alimentação da pilha a combustível com hidrogênio, embora isso não ocorra na prática. Na primeira, o hidrogênio é armazenado em tanques, normalmente sob baixa temperatura. Na segunda, utiliza-se uma substância de mais fácil armazenamento (Por exemplo, etanol hidratado), que pode ser convertida em hidrogênio para uso na pilha a combustível.

Fisicamente, uma pilha a combustível consiste em dois eletrodos: o anodo, que é o eletrodo no qual ocorre a oxidação, e o catodo, local onde ocorre a redução. Eles são imersos em um eletrólito que facilita a movimentação dos íons. Quando os eletrodos são alimentados com reagentes, surge entre eles uma diferença de potencial, que produz uma corrente elétrica. Nesse aspecto, o que vem a diferenciar uma pilha a combustível de uma bateria convencional é o fato de que nas pilhas os reagentes são alimentados continuamente e externamente e, nas baterias, os reagentes ficam armazenados. (OSML, 2023)

Figura 12 Propulsão Elétrica com Pilha a Combustível



Legendas: REF, Reformador; E_{comb} , energia química estocada no combustível; E_E , energia elétrica; $E_{tração}$, energia mecânica disponível no eixo tração.

Fonte: D'Agosto (2018)

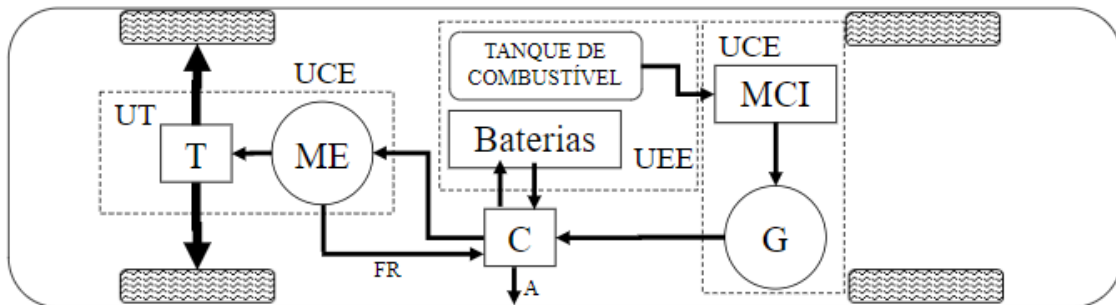
2.1.3 Híbrido (em série e paralelo)

O modelo equipado com sistema de propulsão híbrido pode apresentar duas formatações, sendo em série ou em paralelo. Conforme D'Agosto et. al (2018.a), os modelos em série têm o motor alternativo de combustão interna (MCI) ligado diretamente a um gerador que transformará a energia mecânica em elétrica. Já o modelo em paralelo, o motor de combustão interna (MCI) e o motor elétrico são independentes e ambos podem tracionar o veículo.

De acordo com a OSML (2023), os sistemas de propulsão híbridos conjugando MCI e o sistema de propulsão elétrico permitem que se dimensionem menores MCI, operando em regime de rotação próximo da máxima eficiência energética, capazes de atender demandas médias de potência para a operação de veículos. Uma configuração possível é a em série, em que a tração do veículo é realizada por um único componente do sistema de propulsão, usualmente um motor elétrico. O sistema é composto de uma unidade de conversão de energia (UCE), unidades de estocagem de energia (UEE) e unidades de tração (UT). Assim, uma parte da UCE faz parte da UT, gerando energia elétrica por meio de um conjunto motor-gerador, composto de motor alternativo de combustão interna

acoplado a gerador elétrico. Esse conjunto alimenta um motor elétrico, que pode depender de um sistema de transmissão mecânico para tracionar as rodas.

Figura 13 Propulsão Híbrida Elétrica em Série

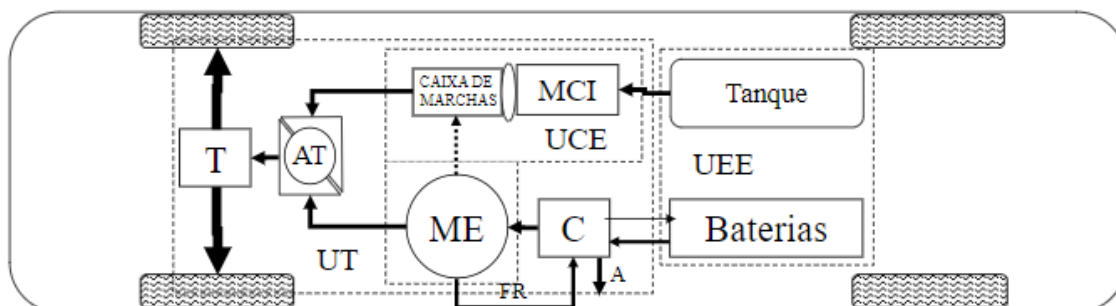


Legendas: T, sistema de transmissão mecânico; ME, motor elétrico; C, controlador; MCI, motor de combustão interna; G, gerador; UT, unidade de tração; UEE, unidade de estocagem de energia; UCE, unidade de conversão de energia; FR, freio regenerativo; A, carga dos acessórios.

Fonte: D'Agosto (2018)

Quanto a configuração em paralelo, a tração é realizada alternativamente por dois componentes do sistema de propulsão, usualmente um motor elétrico e um motor de combustão interna. Nessa configuração a UCE está contida na UT. Assim, o veículo é dotado de um sistema de propulsão convencional e um elétrico, que atuam alternadamente e juntos e compõem o sistema híbrido. Para operações em que se necessita maior autonomia e altas velocidades, o sistema de propulsão convencional é utilizado. Isso ocorre no deslocamento de uma região da periferia da cidade ao centro urbano. Uma vez que se atinja o centro urbano, onde se praticam velocidades moderadas com menores deslocamentos, utiliza-se o sistema de propulsão elétrico. (OSLM, 2023)

Figura 14 Propulsão Híbrida Elétrica em Paralelo



Legendas: T, sistema de transmissão mecânico; AT, acoplador de torque; ME, motor elétrico; C, controlador; MCI, motor de combustão interna; G, gerador; UT, unidade de tração; UEE, unidade de

estocagem de energia; UCE, unidade de conversão de energia; FR, freio regenerativo; A, carga dos acessórios.

Fonte: D'Agosto (2018)

De acordo com Vilchez (2022), o custo de aquisição do veículo elétrico é a principal barreira para o crescimento da frota de caminhões, mas também destaca que os caminhões pesados têm uma dificuldade ainda maior nesse quesito por conta das grandes baterias necessárias. Outras barreiras identificadas foram a reciclagem das baterias, tempo de recarga e custo elevado da eletricidade. Em 2020, o eLCV e eHCV representavam 31% e 4% dos estoques mundiais dessas categorias, sendo que a maior parte do estoque está na China.

2.2 Combustíveis alternativos para utilização no transporte rodoviário de carga

Globalmente, o uso de diesel predomina nos caminhões pesados, pois proporciona um torque maior para cargas mais pesadas. Para caminhões médios, há uma maior diversidade de combustíveis, com gasolina utilizada em mais da metade dos países selecionados. É importante observar que os números abaixo não incluem as misturas de biodiesel. Globalmente, 47 bilhões de litros de biodiesel foram produzidos em 2020, (IEA,2021c), tornando-o a opção mais comercializada de biocombustível para o transporte pesado. O Brasil autorizou o uso voluntário de 20-30% de misturas de biodiesel em frotas cativas e para usuários agrícolas e industriais. Entretanto, devido ao preço do biodiesel, na prática todos os usuários no Brasil compram diesel com a mistura mínima de 13% de biodiesel. O consumo de biodiesel no Brasil foi próximo a 6 bilhões de litros em 2019.

De acordo com IEA (2021), os biocombustíveis desempenham um papel particularmente importante na descarbonização do transporte a nível mundial, fornecendo uma solução de baixo carbono para as tecnologias existentes, como veículos leves e caminhões pesados. Visto como estratégia política para redução da emissão de GEE, e ao mesmo tempo contribuir para o aumento da segurança energética, especialmente no setor de transporte (Månsson et al., 2014).

Os biocombustíveis são produzidos a partir de biomassa renovável e podem substituir parcial ou totalmente os combustíveis produzidos a partir do petróleo ou do gás natural em motores e geradores de energia. No Brasil, os principais biocombustíveis líquidos são o etanol extraído da cana-de-açúcar e o biodiesel, que é produzido a partir de óleos vegetais ou gordura animal e pode ser adicionado ao petrodiesel em proporções variadas (Murta et al., 2018)

De acordo com D'Agosto (2015), define-se fonte alternativa de energia para o transporte como aquela diferente da convencionalmente empregada no uso final em uma determinada região de estudo e que tenha viabilidade técnica comprovada. Já as fontes convencionais de energia são aquelas utilizadas na maior parte da frota de veículos de uma região, que no caso brasileiro e mundial é a utilização de óleo diesel para os comerciais leves e caminhões. A Tabela 5 resume as fontes de energia atualmente disponíveis para o transporte rodoviário.

Tabela 5 Fontes de energia para o transporte rodoviário

Classificação	Fonte de energia	Processos de produção usual	Tipo de recurso	Forma de uso final de energia
Convencionais	Gasolina	Refino do petróleo	Não renovável	Combustível para MCI de ignição por centelhamento (ICE) em sistema de propulsão convencional ou híbrido. Utilização em pilhas de combustível para tração elétrica.
	Óleo Diesel			Combustível para MCI e ignição por compressão (ICO) em sistema de propulsão convencional ou híbrido.
	Eletricidade	Geração hidrelétrica	Renovável	Fonte de energia para sistemas rodoviários e ferroviários eletrificados e transporte dutoviário.
		Geração termelétrica	Não renovável	
Alternativas ⁽⁸⁾	Gasolina ⁽¹⁾	Processo petroquímico ou síntese a partir de gás natural e carvão mineral ⁽³⁾	Não renovável	Idem gasolina convencional
		Síntese a partir de biomassa	Renovável	
	Óleo Diesel ⁽²⁾	Processo petroquímico ou síntese a partir de gás natural e carvão mineral ⁽³⁾	Não renovável	Idem óleo diesel convencional
		Síntese a partir de biomassa	Renovável	

Classificação	Fonte de energia	Processos de produção usual	Tipo de recurso	Forma de uso final de energia
	Gás Liquefeito de Petróleo (GLP)	Refino do petróleo, processo petroquímico, separação e/ou síntese a partir do gás natural.	Não renovável	Combustível para MCI de ignição por centelhamento (ICE) em sistema de propulsão convencional ou híbrido. Normalmente utilizado na forma bicombustível com gasolina.
	Gás Natural (GN)	Purificação, desumidificação e compressão (gás natural comprimido - GNC) ou resfriamento (gás natural liquefeito - GNL)	Não renovável	Combustível para MCI de ignição por centelhamento (ICE) em sistema de propulsão convencional ou híbrido. Normalmente utilizado na forma bicombustível com gasolina. Utilização em pilha a combustível para tração elétrica. ⁽⁶⁾
	Biogás	Biodigestão anaeróbica de biomassa	Renovável	Combustível para MCI de ignição por centelhamento (ICE) em sistema de propulsão convencional ou híbrido. Normalmente utilizado na forma bicombustível com gasolina. Utilização em pilha a combustível para tração elétrica. ⁽⁶⁾
	Metanol	Síntese química a partir do carvão ou do gás natural	Não renovável	Combustível para MCI de ignição por centelhamento (ICE) em sistema de propulsão convencional ou híbrido. Pode ser utilizado na forma de mistura com gasolina ⁽⁴⁾ . Utilização em pilha a combustível para tração elétrica. ⁽⁶⁾
		Fracionamento e destilação de biomassa (madeira), síntese química a partir do biogás	Renovável	
	Etanol	Síntese química a partir de gás natural ou petróleo	Não renovável	Combustível para MCI de ignição por centelhamento (ICE) em sistema de propulsão convencional ou híbrido. Pode ser utilizado na forma de mistura com gasolina ⁽⁴⁾ ou óleo diesel ⁽⁵⁾ . Utilização em pilha a combustível para tração elétrica ⁽⁶⁾ .
		Processamento e destilação de biomassa (cana-de-açúcar, mandioca, milho etc.)	Renovável	
	Óleos vegetais	Extração de óleo a partir de biomassa oleaginosa	Renovável	Combustível para MCI de ignição por compressão ⁽⁷⁾ (ICO) em sistema de propulsão convencional ou híbrido.
	Biodiesel	Conversão de óleo obtido a partir de biomassa oleaginosa	Renovável	Combustível para MCI de ignição por compressão ⁽⁷⁾ (ICO) em sistema de propulsão convencional ou híbrido. Pode ser utilizado na forma de mistura com óleo diesel.
	Hidrogênio	Reforma a vapor a partir de carvão, petróleo e GN.	Não renovável	Combustível para MCI de ignição por centelhamento (ICE) em sistema de propulsão convencional. Ideal para utilização em pilha a combustível para tração elétrica.
		Eletrólise de água ou reforma de combustível renovável	Renovável	
	Eletricidade	Geração hidrelétrica	Renovável	Utilização em sistemas de propulsão exclusivamente elétrico (elétrico)

Classificação	Fonte de energia	Processos de produção usual	Tipo de recurso	Forma de uso final de energia
		Geração termelétrica	Não renovável	com baterias ou captação em redes aéreas)

Notas: (1) inclui gasolinas reformuladas com redução de aromáticos e adição de compostos oxigenados derivados do petróleo; (2) inclui óleo diesel com baixo teor de enxofre; (3) pode ser obtido do biogás, quando será renovável; (4) pode dispor de um MCI dedicado à mistura ou com tecnologia *flexible-fuel*, (5) por meio de um aditivo emulsionante (tecnologia em fase de testes e desenvolvimento); (6) uso de reformador embarcado; (7) motor ICO adaptado ou motor Erbest; (8) pela pequena incidência nas referências consultadas, não se considerou o uso de DME – Dimetil éter; (9) considerando geração hidrelétrica.

Fonte: Adaptado de D'Agosto (2015)

Hluschke et al. (2019) identificaram dois grupos de tecnologias para descarbonizar HDVs. O primeiro grupo de combustíveis alternativos compreende seis tipos diferentes de combustíveis, enquanto o segundo grupo contém quatro tipos de *powertrains* eletrificados.

Considerando o grupo dos combustíveis alternativos, segundo Kluschke et al. (2019), eles minimizam as emissões específicas de CO₂ dos ICEs e são baseados em combustíveis fósseis ou renováveis. O gás liquefeito de petróleo (GLP) contém principalmente propano e butano, que são liquefeitos a pressões comparativamente baixas de cerca de 5 a 10 bar. O gás natural liquefeito (GNL) tem um estado de agregação semelhante, mas contém principalmente metano e é liquefeito pelo resfriamento do gás até -160 °C. Em contraste, o gás natural comprimido (GNC) é armazenado como gás no tanque a 200 bar. Os combustíveis renováveis incluem e-metano (eMET, gasoso, 200 bar) e *e-synfuels* (eSYN, líquido à pressão atmosférica), que são produzidos usando eletricidade em aplicações de energia para gás e energia para líquido. Os biocombustíveis (BIO) são combustíveis líquidos ou gasosos produzidos a partir de biomassa, como resíduos vegetais ou animais.

Os biocombustíveis podem ser descritos como qualquer combustível feito a partir de materiais orgânicos ou de derivados provenientes de processamento e conversão, e geralmente se referem a combustíveis líquidos usados como substitutos ou aditivos ao combustível líquido derivado do petróleo, dividido em três grupos: (i) primeira geração, em que o etanol e biodiesel são produzidos diretamente da biomassa, como cana de açúcar e milho para o etanol e soja, canola entre outras oleaginosas para o biodiesel; (ii) segunda geração, são produzidos a partir de fontes de biomassa não comestíveis, como bagaço de cana de açúcar para o etanol e óleos não comestíveis para biodiesel; e (iii) terceira

geração, onde o etanol e biodiesel de terceira geração são comumente produzidos a partir de algas, um organismo unicelular (Bera et al., 2020).

Segundo D'Agosto et al. (2018.a), considera-se fonte alternativa de energia para transportes aquela que atualmente não tem aplicação dominante, podendo ser obtida por meio de fonte renovável, ou até mesmo de fonte não renovável, desde que o uso tenha baixo potencial de impacto ao meio ambiente e à sociedade.

No grupo de biocombustíveis pode-se considerar: (D'Agosto et al., 2018.a)

1. Os bioálcoois, como o metanol, o etanol e o butanol, que são produzidos a partir da biomassa;
2. O biodiesel: ésteres metílicos ou etílicos de óleos vegetais ou gorduras animais;
3. Os óleos diesel sintéticos originados de biomassa como o BTL (*biomass to liquid*), o HVO (*hydrogenated vegetable oil*) e o diesel de cana;
4. O bioquerosene: querosene produzido a partir da biomassa;
5. O bio-óleo: óleo combustível produzido a partir de biomassa;
6. O biogás: gás metano produzido a partir da biomassa; e
7. O dimetil éter (DME) originado da biomassa.

No grupo de combustíveis obtidos de fonte não renovável, que podem ser denominados sintéticos, pode-se considerar:

1. Os álcoois sintéticos, como o metanol, etanol e butanol, que são produzidos a partir de carvão mineral, petróleo e gás natural;
2. O dimetil éter produzido a partir do carvão e gás natural;
3. Os óleos diesel sintéticos de origem fóssil, como o CTL (*coal to liquid*) e o GTL (*gas to liquid*); e
4. Gás Natural.

2.2.1 GLP

De acordo com a ANP (2021)⁹, o gás liquefeito de petróleo (GLP) é o combustível composto essencialmente por dois gases extraídos do petróleo, o butano e o propano, pode também conter, minoritariamente, outros hidrocarbonetos, como o etano. O combustível é incolor e para tornar mais seguro o uso do produto, adiciona-se um composto à base de enxofre, de modo a torná-lo perceptível ao olfato humano em casos de vazamento.

O GLP pode ser produzido em refinarias ou em plantas de processamento de gás natural. Quando oriundo do refino, o craqueamento catalítico fluido (FCC – *Fluid Catalytic Cracking*) é o principal processo produtivo do GLP no Brasil. Após produção ou importação, o GLP pode ser armazenado em vasos de pressão denominados esferas de GLP, sendo, em seguida, na revenda, acondicionado na forma líquida em botijões na correspondente pressão de vapor.

De acordo com a Lei 8.176 de 08 de fevereiro de 1991¹⁰, Item II do Art. 1º, constitui crime contra a ordem econômica “usar gás liquefeito de petróleo em motores de qualquer espécie, saunas, caldeiras e aquecimento de piscinas, ou para fins automotivos, em desacordo com as normas estabelecidas na forma da lei”, ou seja, atualmente é proibida a comercialização de GLP para fins automotivos.

2.2.2 GNV

O gás natural veicular (GNV), e denominado como combustível gasoso, tipicamente proveniente do gás natural (GN) ou biometano, ou da mistura de ambos, destinado ao uso veicular e cujo componente principal é o metano (ANP, 2023). Segundo EPE (2023), estima-se que haverá até 2032 uma participação de cerca de 0,2% de gás natural liquefeito e 1,6% de gás natural comprimido nos caminhões semipesados e pesados.

O GNV, em 2020, correspondeu a 2% das emissões de CO₂ enquanto o diesel representou 49% das emissões, fazendo com que o GNV passasse a ser uma fonte energética relevante para a transição rumo a uma economia de baixo carbono, pois trata-se de um combustível disponível a preço acessível e menos poluente que o diesel, onde sua maior adoção pode

⁹ <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/producao-de-derivados-de-petroleo-e-processamento-de-gas-natural/producao-de-derivados-de-petroleo-e-processamento-de-gas-natural/gas-liquefeito-de-petroleo-glp>
¹⁰ https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/8176.htm

oferecer benefícios ao meio ambiente e à saúde pública, especialmente em ambientes urbanos de grande concentração, uma vez que em comparação com os veículos a diesel, os veículos movidos a gás natural emitem até 85% menos poluentes e podem gerar uma redução de 10% nas emissões de gases de efeito estufa (Mendes et al., 2021).

Vilchez (2022) mostra que há uma tendência para o aumento de veículos com motores movidos a GNV, sendo um mercado mais voltado para os HCVs do que para os LCVs. Um dos pontos fortes desta tecnologia é o custo de aquisição do veículo comparado ao elétrico. Quanto ao GNL, um fator que contribui negativamente para o uso da tecnologia é o armazenamento do combustível, pois a implementação da tecnologia onera a operação como um todo.

2.2.3 Biogás

Breuer et al. (2021) ilustram potenciais opções de combustível selecionados para dois tipos diferentes de operação. A Fig. 15 mostra uma opção para operações em áreas urbanas, enquanto a Fig. 16 mostra caminhos para o transporte de carga com caminhões de longa distância. Para rotas mais curtas, é sugerida a utilização de Biogás Comprimido (CGB – *compressed bio gas*), os caminhões elétricos a célula de combustível (FCETs – *fuel cell-electric trucks*) e os veículos elétricos a bateria (BEVs – *battery electric vehicles*), embora a infraestrutura de abastecimento tenha algumas limitações.

Já os *Fuel Cell Electric Vehicles* (FCEVs) têm um custo de aquisição elevado associado principalmente as células de combustível e possuem uma baixa eficiência em comparação com a tecnologia elétrica. Em contrapartida, o FCEV tem uma durabilidade das células de combustível elevada e o investimento necessário para montar uma infraestrutura para reabastecimento é baixo (Vilchez, 2022).

Devido à alta eficiência e a baixa densidade energética das baterias, os BEVs têm alto potencial para uso em transporte de curta distância e cargas de baixo a médio peso. As opções alternativas incluem hidrogênio em FCET, que é extremamente importante para ônibus e HDV em geral, e CBG para ser queimado em ICE (*Internal Combustion Engine*). Os CBG têm a vantagem de custos de infraestrutura mais baixos e a possível adaptação dos veículos existentes. A Fig. 16 mostra as opções selecionadas para o futuro do

transporte de cargas com caminhões de longo curso. CBG, hidrogênio e éter dimetílico (DME – *dimethyl ether*) são potenciais candidatos para veículos que usam motores de combustão interna. O acionamento elétrico para caminhões de longo curso pode ser baseado em um sistema de catenária ou hidrogênio para células de combustível. (Breuer et al., 2021)

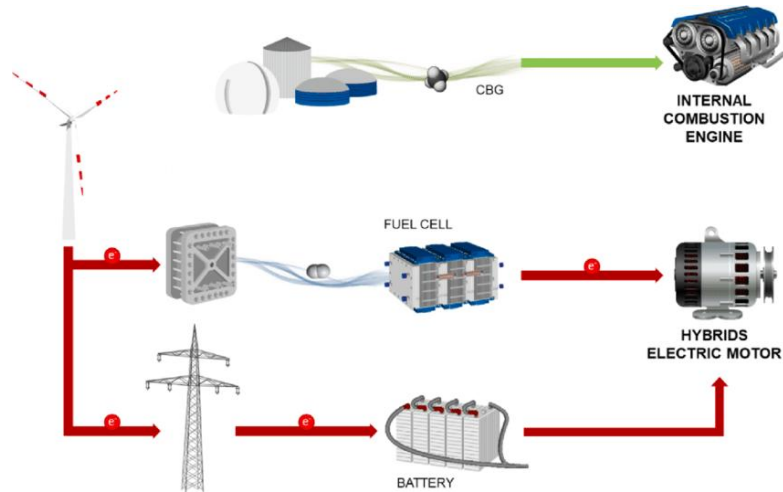


Figura 15 Opções de combustíveis em área urbana

Fonte: Breuer et al. (2021)

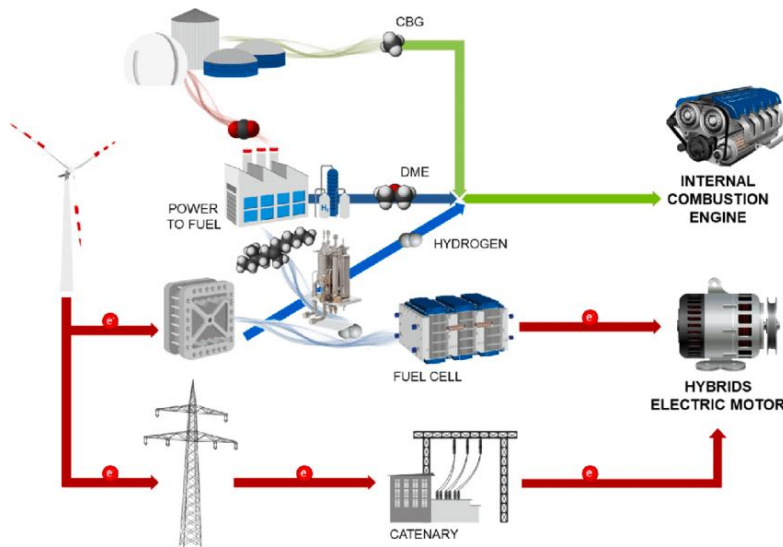


Figura 16 Opções de combustíveis para caminhões de longas distâncias

Fonte: Breuer et al. (2021)

2.2.4 Biometano

Conforme a ANP (2024)¹¹, o biometano é um biocombustível gasoso obtido a partir do processamento do biogás. Por sua vez, o biogás é originário da digestão anaeróbica de material orgânico (decomposição por ação das bactérias), composto principalmente de metano e dióxido de carbono (CO₂). O biometano obtido de resíduos essencialmente orgânicos é aquele proveniente das atividades agrossilvopastoris ou de atividades comerciais (como, por exemplo, alimentos descartados por bares e restaurantes), excluídos o gás de aterro sanitário e o proveniente de estações de tratamento de esgoto, uma vez que estes podem conter outros resíduos não orgânicos. A purificação do biogás resulta no biometano com elevado teor de metano em sua composição, reunindo características que o torna intercambiável com o gás natural em todas as suas aplicações. Ou então passível de ser transportado na forma de gás comprimido por meio de caminhão-feixe (gasoduto virtual) ou na forma de gás liquefeito, denominado biometano liquefeito - Bio-GNL.

As especificações do biometano no Brasil são regulamentadas pelas seguintes resoluções:

- Resolução ANP nº 886/2022 - Estabelece a especificação e as regras para aprovação do controle da qualidade do biometano oriundo de aterros sanitários e de estações de tratamento de esgoto destinado ao uso veicular e às instalações residenciais, industriais e comerciais, a ser comercializado no território nacional.
- Resolução ANP nº 906/2022 - Dispõe sobre as especificações do biometano oriundo de produtos e resíduos orgânicos agrossilvopastoris e comerciais destinado ao uso veicular e às instalações residenciais e comerciais a ser comercializado em todo o território nacional.

2.2.5 Metanol

Conforme a ANP (2024)¹², o metanol é um composto orgânico da família dos álcoois, com um átomo de carbono, três átomos de hidrogênio e uma hidroxila cuja fórmula é CH₃OH, sendo líquido à temperatura ambiente. É um dos mais importantes insumos na

¹¹ <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/producao-e-fornecimento-de-biocombustiveis/biometano>

¹² <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/producao-de-derivados-de-petroleo-e-processamento-de-gas-natural/producao-de-derivados-de-petroleo-e-processamento-de-gas-natural/metanol>

indústria química, sendo usado como matéria-prima para sintetizar produtos químicos, tais como formaldeído, MTBE (éter metílico terciário-butílico) e ácido acético, que, por sua vez, são usados na produção de adesivos, solventes, pisos, revestimentos. No mercado brasileiro, possui papel crucial para produção do biodiesel, que é um combustível renovável adicionado ao diesel de origem fóssil, sendo utilizado na reação de transesterificação com triglicerídeos.

Atualmente, em escala industrial, é produzido predominantemente a partir do gás natural pelo processo de reforma valor ou gaseificação do carvão, sendo obtido o gás de síntese, composto principalmente de CO, CO₂ e H₂, na correta proporção para a síntese do metanol.

2.2.6 Etanol

De acordo com a ANP (2024)¹³, o etanol é uma substância química com fórmula molecular C₂H₆O, produzida especialmente via fermentação de açúcares. É um biocombustível utilizado em motores de combustão interna com ignição por centelha (Ciclo Otto) em substituição especialmente à gasolina e em contraponto a outros combustíveis fósseis. O Brasil é pioneiro na utilização em larga escala de etanol combustível desde o fim da década de 1970. Atualmente, é um dos que mais utilizam o produto e ainda o segundo maior produtor mundial. São duas as formas de utilização do produto: na forma de etanol anidro, como componente de mistura na formação da gasolina C; ou como etanol hidratado, comercializado em todo o país como um combustível acabado. Para evitar a fraude conhecida como "álcool molhado", o etanol anidro recebe corante laranja, que só podem ser adquiridos pelos agentes regulados específicos e devem ser registrados junto à ANP. As especificações do etanol anidro e etanol hidratado comercializados no país são estabelecidas pela Resolução ANP n° 907/2022.

2.2.7 Óleos Vegetais

Conforme a Rede Brasil do Pacto Global (2022), o Óleo Vegetal Hidratado (HVO - *Hydrotreated Vegetable Oil*) é um hidrocarboneto produzido com material biológico, a

¹³ <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/producao-e-fornecimento-de-biocombustiveis/etanol>

partir da hidrogenação de óleos de soja, palma, gordura animal ou residuais, produzindo uma mistura com alto índice de cetano, de hidrocarbonetos sem enxofre e compostos aromáticos. O HVO possui boa estabilidade para o armazenamento, melhores propriedades de fluxo a frio. Inclusive pode ser usado em motores a diesel sem os limites ou modificações de mistura exigidos pelo biodiesel tradicional.

2.2.8 Biodiesel

De acordo com a ANP (2024)¹⁴, o biodiesel é um combustível renovável obtido a partir de um processo químico denominado transesterificação. Por meio desse processo, os triglicerídeos presentes nos óleos e gordura animal reagem com um álcool primário, metanol ou etanol, gerando dois produtos: o éster e a glicerina. O primeiro somente pode ser comercializado como biodiesel, após passar por processos de purificação para adequação à especificação da qualidade, sendo destinado principalmente à aplicação em motores de ignição por compressão (ciclo Diesel).

A mistura do biodiesel ao diesel fóssil teve início em 2004, em caráter experimental e, entre 2005 e 2007, no teor de 2%, a comercialização passou a ser voluntária. A obrigatoriedade veio no artigo 2º da Lei nº 11.097/2005, que introduziu o biodiesel na matriz energética brasileira. Em janeiro de 2008, entrou em vigor a mistura legalmente obrigatória de 2% (B2), em todo o território nacional. Com o amadurecimento do mercado brasileiro, esse percentual foi sucessivamente ampliado pelo CNPE.

Em março de 2021, a mistura foi ampliada para 13% (Resolução CNPE nº 16/2018). Em maio de 2021, foi reduzida a 10% (Resoluções CNPE nº 4 e 10/2021). Em setembro de 2021, foi aumentada para 12% (Resolução CNPE nº 11/2021). Em novembro de 2021, foi reduzida para 10% novamente (Resolução CNPE nº 14 e 25/2021 e 12/2022). Em abril de 2023, a mistura de biodiesel no diesel foi ampliada de 10% para 12% (Resolução CNPE nº 3/2023). A Resolução CNPE nº 3/2023 previu que, em abril de 2024, o percentual deveria subir para 13%; em 2025, atingirá 14% e; em 2026, chegará aos 15%.

¹⁴ <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/producao-e-fornecimento-de-biocombustiveis/biodiesel>

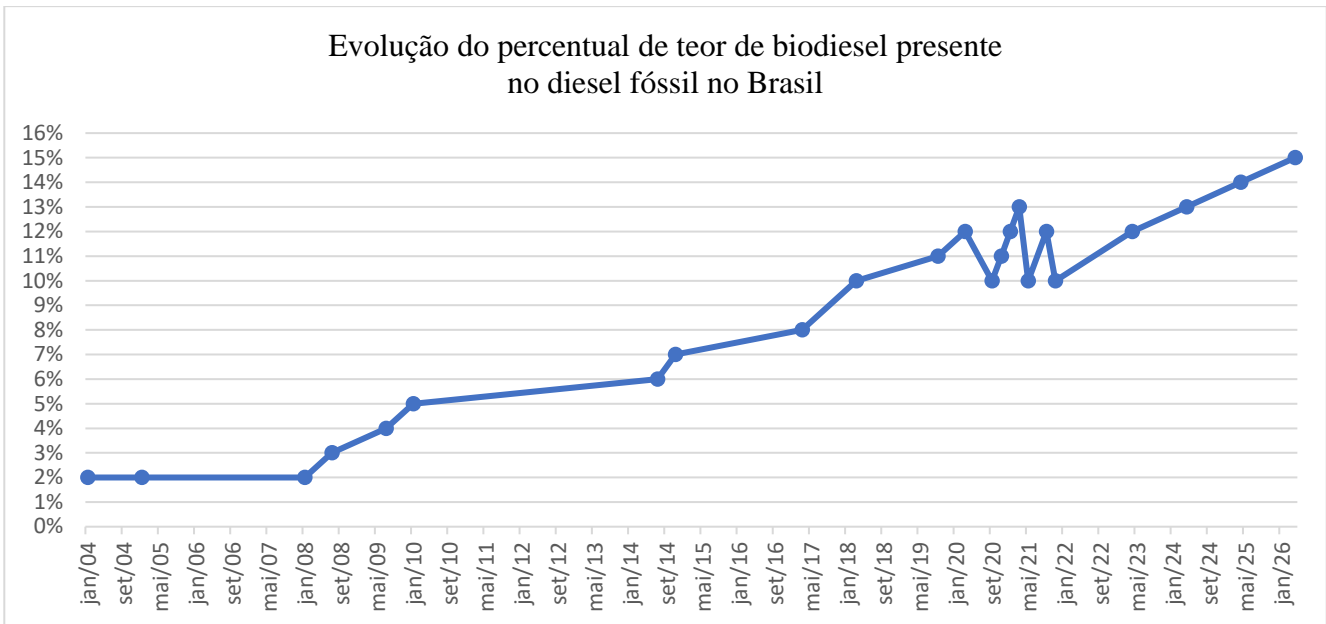


Figura 17 Evolução do percentual teor de biodiesel presente no diesel fóssil no Brasil

Fonte: ANP (2024)

2.2.9 Hidrogênio

Segundo o relatório apresentado pela Agência Internacional de Energia (IEA, 2019), o hidrogênio foi identificado como uma das fontes que podem auxiliar a descarbonização motivado pela sua capacidade de armazenar e fornecer grandes quantidades de energia sem gerar emissões de dióxido de carbono (CO₂) durante a combustão.

De acordo com o PLVB (2024), a utilização do hidrogênio passou a ser mais debatido em pautas energéticas após o Acordo de Paris, assinado em 2015. Este foi introduzido como uma opção para auxiliar na descarbonização de setores, como por exemplo o transporte.

Uma das principais aplicações desse elemento é nos veículos de tração elétrica movidos a Células a Combustível (CaC) que usam hidrogênio. Esse processo altamente eficiente oferece uma alternativa viável aos veículos movidos a combustíveis fósseis, reduzindo significativamente as emissões de poluentes atmosféricos de ação local e contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas. Além disso, o hidrogênio também pode ser empregado na combustão direta em motores de combustão interna, semelhante aos motores a gasolina ou diesel. Nessa abordagem, o hidrogênio é misturado com ar e queimado dentro do motor, gerando energia mecânica para movimentar o veículo. Essa

técnica também resulta em emissões zero de poluentes, uma vez que o único subproduto é o vapor água (PLVB 2024).

Hidrogênio é o elemento menor e mais leve do mundo, sendo necessário para transporte de grandes quantidades, que seja pressurizado e entregue na forma de gás comprimido ou liquefeito (EERE, 2022).

A energia proveniente de hidrogênio pode ser usada como combustível em uma variedade de aplicações elétricas de células de combustível para gerar energia, emitindo apenas água e calor como subprodutos, com benefícios aplicados às categorias de veículos pesados, como caminhões de longa distância, locomotivas e navios (EPA, 2023).

Segundo Lopes et al. (2021), o uso do hidrogênio (H₂) pode auxiliar a superação de vários desafios atuais, devido às diferentes formas de descarbonizar setores estratégicos inclusive o setor de transporte de longa distância, uma vez que, fornece oportunidades, como a independência externa ao uso de combustíveis fósseis, redução na emissão de GEE, diversificação na matriz energética, inclusão social, rendimento elevado de energia, entre outras.

O hidrogênio pode apoiar a segurança energética de várias maneiras. Quando implantado ao lado de uma infraestrutura de eletricidade, essa eletricidade pode ser convertida em hidrogênio e vice-versa. Sendo convertido a partir de outros combustíveis, possibilita aos usuários finais serem menos dependentes de recursos de energia específicos e aumenta a resiliência do abastecimento de energia. A economia do hidrogênio é uma proposta de economia futura baseada no uso do hidrogênio como fonte de energia. (de Oliveira, 2022)

De acordo com Wang (2011), o uso de hidrogênio como combustível no transporte rodoviário é possível em veículos equipados com células de combustível, bem como em veículos com MCI. O hidrogênio tem uma densidade de energia volumétrica muito baixa, portanto, a tecnologia atual armazena o hidrogênio comprimido a 700 bar, o que permite atingir o poder calorífico inferior (PCI) de 4,7 MJ/l, o que ainda é baixo em comparação com a gasolina ou diesel (Emadi, 2004).

Conforme o PLVB (2024), os desafios mais importantes para implementação e difusão dessa tecnologia, são:

- Diminuição do custo de produção;
- Armazenamento;
- Reforma de combustíveis fósseis para obtenção do hidrogênio;
- O transporte do hidrogênio; entre outros.

2.2.10 Éter Dimetílico

Conforme o U.S Department Energy (2019), o éter dimetílico (DME) é uma alternativa produzida sinteticamente para uso em motores a diesel de ignição por compressão especialmente projetados para este fim. Sob condições atmosféricas normais, o DME é um gás incolor que requer cerca de 75 libras por polegada quadrada (psi) de pressão para estar na forma líquida. Por isso, os requisitos de manuseio do DME são semelhantes aos do propano - ambos devem ser mantidos em tanques de armazenamento pressurizados à temperatura ambiente. O uso de DME em veículos requer um motor de ignição por compressão com um sistema de alimentação desenvolvido especificamente para operar com DME. Várias demonstrações de veículos DME foram realizadas na Europa e na América do Norte, incluindo uma em que um cliente operou 10 veículos por 750.000 milhas.

Os biocombustíveis são sustentáveis e têm potencial para enfrentar as alterações climáticas, reduzindo as emissões de CO². No entanto, obstáculos como o elevado custo de produção, a falta entendimento dos custos para aquisição realistas, a fraca cadeia de abastecimento e a adesão às normas de qualidade são algumas das barreiras à sua comercialização. (Kumar et al., 2020).

2.3 Características e benefícios de tecnologias e combustíveis com baixa ou nula emissão

Conforme Liimatainen et al. (2019), concluem que mesmo com preço de compra do caminhão elétrico três vezes maior que o de um caminhão a diesel, os caminhões elétricos

são competitivos se a quilometragem anual for alta o suficiente e a vida útil da bateria corresponder à vida útil do veículo. Além disso, os benefícios dos caminhões elétricos dependem do ciclo de acionamento (baixo peso da carga útil, baixas velocidades e partidas/paradas frequentes favorecem o elétrico) e dos custos de infraestrutura de carregamento. Caminhões elétricos certamente reduzem os custos da saúde pública devido à falta de emissão de poluentes e reduzem principalmente os custos de emissão de GEE, embora em algumas ocasiões as emissões de GEE possam aumentar devido à produção da eletricidade intensiva em carbono, a depender da matriz energética local.

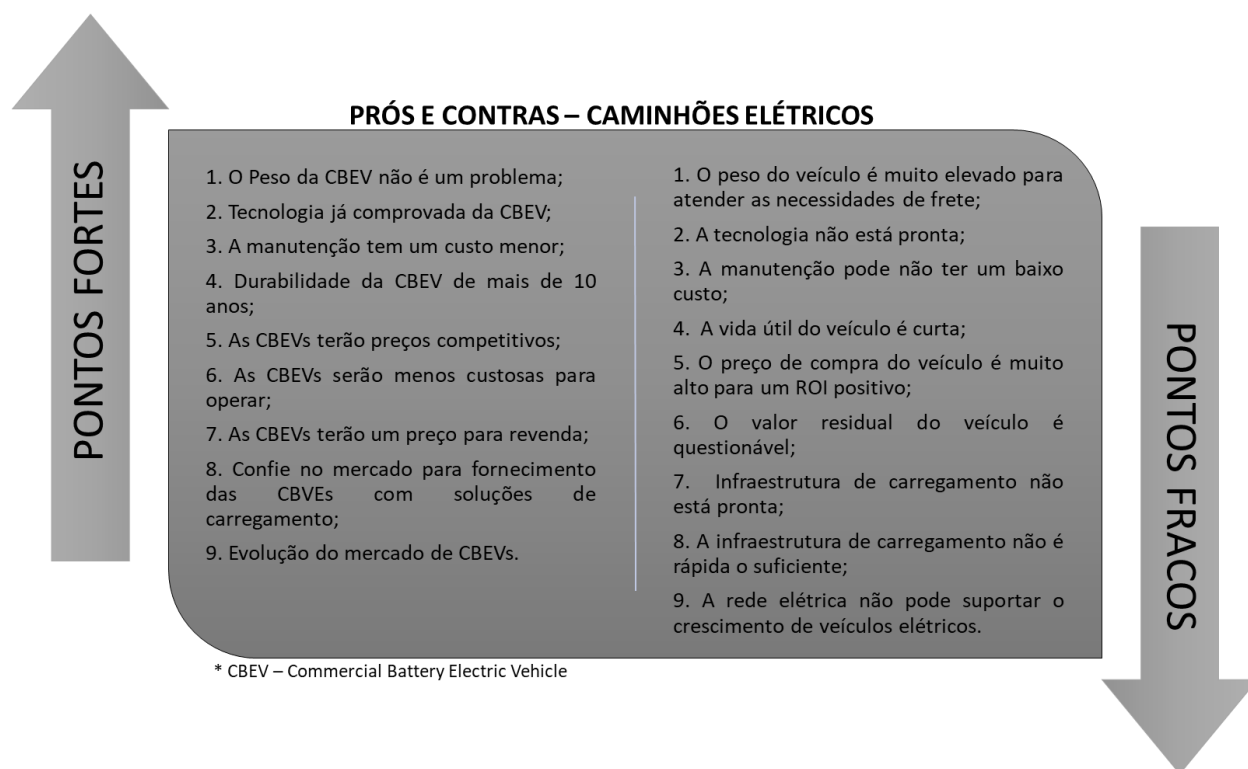


Figura 18 Prós e Contras – Caminhões Elétricos

Fonte: Adaptado de NACFE (2021)

Cunanan (2021) compara três modelos de propulsão para caminhões pesados, considerando o veículo a combustão movido a diesel, elétrico a bateria e Hidrogênio com célula de combustível (Tabela 6).

Tabela 6 Comparação entre três modelos de propulsão

Variáveis	Diesel	Bateria	Hidrogênio
Emissão de CO2	Sim	Não	Não

Custo Total do Veículo	119,000 - 134,000 USD	164,641 - 585,000 USD	135,503 - 249,900 USD
Eficiência - Poço ao Tanque	~86%	~55,3%	~76%
Eficiência - Tanque para Roda	~23%	~68%	~45%
Autonomia	975 – 1.950 milhas	62 - 500 milhas	660 – 1.104 milhas
Tempo de reabastecimento	6 a 12 minutos	2,85 - 20 horas	16,67 minutos

Fonte: Adaptado de Cunanan (2021)

Os dados de custos dos veículos foram buscados com referência a Califórnia/EUA.

A pesquisa mostrou que os veículos elétricos movidos a bateria e os veículos a hidrogênio têm zero emissões, enquanto o motor a diesel emite poluentes. No que se refere ao custo total dos veículos verificou-se que os elétricos têm um custo maior do que aqueles movidos a diesel. Os elétricos movidos a bateria são os mais caros.

Conforme Cunanan (2021), há vantagens e desvantagens nos veículos movidos a diesel e elétricos, considerando a bateria e hidrogênio.

Tabela 7 Vantagens e Desvantagens entre três modelos de propulsão

Tecnologia	Vantagens	Desvantagens
Diesel	<ul style="list-style-type: none"> • Menor custo do veículo • Não requer investimento com infraestrutura • Longo alcance (autonomia) • Tempo de reabastecimento mais rápido do que os elétricos • Mercado amplo de peças 	<ul style="list-style-type: none"> • Elevadas emissões de GEE • Fonte de poluição local • Alto custo de abastecimento • Alto custo de manutenção • Baixa eficiência energética
Elétrico a Bateria	<ul style="list-style-type: none"> • Reduz as emissões de GEE • Reduz a poluição do ar local • Menores custos de reabastecimento comparado ao diesel • Menores custos de manutenção comparado ao diesel • Maior eficiência energética comparado ao diesel 	<ul style="list-style-type: none"> • Necessário investimento em infraestrutura • Custo do veículo mais alto do que o diesel • Longo tempo de recarga • Peso e tamanho de carga limitado devido a bateria ser grande
Hidrogênio	<ul style="list-style-type: none"> • Reduz as emissões de GEE 	<ul style="list-style-type: none"> • Alto custo do combustível hidrogênio

- Reduz a poluição do ar local
- Maior eficiência energética comparado ao diesel
- Tempo de abastecimento mais rápido comparado ao elétrico a bateria
- Necessário desenvolvimento/investimento em infraestrutura
- Maior custo do veículo comparado ao diesel
- Desenvolvimento do FCEV ainda é lento

Fonte: Adaptado de Cunanan (2021)

Cunanan (2021) conclui que os motores a diesel, no curto prazo, ainda serão importantes, principalmente devido a infraestrutura já instalada e caminhões existentes em todo o mundo, por outro lado, eles ainda são grandes emissores de GEE. A tecnologia com bateria elétrica é vantajosa devido as emissões evitadas de GEE e a alta eficiência, mas ainda carecem de mais potência e autonomia. No que se refere a tecnologia com hidrogênio, também há vantagem por não emitirem GEE e autonomia superior aos elétricos a bateria, no entanto ainda carecem de infraestrutura disponível e são operações mais custosas.

Com muito menos peças móveis do que os veículos a combustão, os MDVs (*Medium Duty Vehicle*) elétricos e HDVs requerem menos manutenção (Brennan et al. 2018). Esses veículos não são isentos de alguns custos tradicionais associados ao veículo (por exemplo, trocas de pneus), mas as transmissões elétricas reduzem ou eliminam a necessidade de sistemas mecânicos como bombas, válvulas, radiadores, transmissões, e correias, o que se traduz em menos requisitos de manutenção. Outro componente importante no custo total de propriedade (TCO – *Total Cost of Ownership*) é o custo do combustível. Enquanto no combustível os preços variam ao longo do tempo e por geografia/localização, ao longo da última década, os custos com combustíveis representaram entre 21% e 39% do custo total de operação de um veículo comercial (NACFE, 2021), estudos de veículos leves (LDVs) encontraram economias substanciais nos custos de energia para EVs, e como MDVs e HDVs consomem mais combustível, os operadores de frotas veem potencial de economia nesta categoria de custo. (Sivak et al., 2018)

De acordo com a Confederação Nacional dos Transportes – CNT (2022), algumas vantagens do caminhão elétrico são: diminui a poluição e pode levar a redução do aquecimento global e das mudanças climáticas; minimiza a poluição sonora dos veículos; requer energia para propulsão mais barata quando comparada com combustíveis fósseis; reduz a dependência de fontes fósseis; colabora para a segurança energética nacional, pois diminui a importação de petróleo; utiliza tecnologias veiculares já existentes; otimiza a infraestrutura elétrica já consolidada; utiliza baterias que possuem ciclos de vida de até 15 anos; decrescem os custos associados às manutenções de peças mecânicas automotivas desgastadas e isenta usuários de alguns impostos. Em contrapartida, alguns desafios devem ser considerados, tais como: apresenta baixa autonomia quando comparado a veículos de combustão interna; necessita de elevado investimento inicial devido ao alto preço de aquisição; não conta, ainda, com políticas públicas consolidadas de incentivo à sua aquisição; enfrenta um mercado energético dominado pelos combustíveis líquidos; requer longo tempo para carga completa da bateria; depende da rede de energia nacional para determinar seu caráter renovável; carece de baterias com maior autonomia e menor peso; demanda alto capital na troca de bateria no caso de danos e exige infraestrutura complexa para a constituição de estações de carregamento.

De acordo com a CNT (2022), nas simulações, os veículos movidos a hidrogênio passaram por ciclos de longas distâncias — carga útil¹⁵ de 19,3 toneladas e autonomia de 500 quilômetros — e de entregas locais — carga útil de 12,9 toneladas e autonomia de 300 quilômetros. Os resultados demonstraram que o consumo energético (kWh/km) dos veículos movidos a hidrogênio foi 10% menor que o dos movidos a diesel, com mesmas especificações, no cenário de longas distâncias. Quando considerado o cenário de entregas locais, o caminhão a hidrogênio passou a ter redução de 20% de energia por quilômetro rodado em comparação ao do ciclo diesel. As simulações mostraram, que os veículos elétricos a bateria, apresentaram melhor eficiência entre os três modelos do estudo, cujo motivo foi explicado pela perda de eficiência energética associada aos processos de conversão de H₂ e diesel para energia útil.

¹⁵ Capacidade máxima de carga que um veículo consegue transportar, incluindo o peso do condutor, expressa em quilogramas.

Algumas fontes alternativas de energia para o transporte têm sido desenvolvidas buscando reduzir a dependência de combustíveis derivados do petróleo, por não serem fontes renováveis de energia e por contribuir significativamente para emissão de dióxido de carbono.

2.4 Categorias de serviços no transporte rodoviário de carga

As operações logísticas *inbound* e *outbound* são dois processos cruciais para o bom funcionamento de um negócio. Embora ambos os processos envolvam a movimentação de mercadorias, existem várias diferenças importantes entre os dois. A Tabela 8 mostra uma análise das principais diferenças entre as operações:

Tabela 8 Principais diferenças entre as logísticas inbound e outbound

CATEGORIA	LOGÍSTICA INBOUND	LOGÍSTICA OUTBOUND
Direção	Fluxo de mercadorias para empresa.	Fluxo de mercadorias para fora empresa.
Regras	Recebimento e armazenamento de mercadorias.	Distribuição e entrega de mercadorias.
Foco	Maximização da eficiência e minimização dos custos	Maximização da satisfação do cliente.
Relacionamentos	Fornecedores e vendedores.	Clientes fidelizados e potenciais clientes.
Estratégia	Gerenciamento de estoque just-in-time.	Estratégia de atendimento e entrega.
Tipos de Mercadorias	Matérias-primas e produtos acabados.	Produtos finalizados.
Localização	Armazém ou instalação de fabricação.	Centros de distribuição.
Timing	Planejamento com antecedência.	Entrega imediata.

Fonte: Knowledge (2023)¹⁶

A logística inbound se concentra em levar mercadorias para a empresa, enquanto a logística outbound se concentra na entrega de mercadorias aos clientes. Ambos os processos desempenham um papel crucial no sucesso de um negócio e requerem planejamento e execução cuidadosos.

¹⁶ <https://www.inboundlogistics.com/articles/what-is-inbound-logistics/>

De acordo com D'Agosto et al. (2018.a), o transporte rodoviário de carga é considerado o de menor investimento inicial para pequenos e médios fluxos de carga (até 50 toneladas por veículo) em distâncias curtas e médias (até 500 km) e apresenta custos operacionais competitivos com os demais modos de transporte, isso se a utilização for elevada.

Ao considerar as diversas tecnologias alternativas para comerciais leves e caminhões, um outro ponto é entender a cadeia de suprimentos, onde uma etapa importante é o transporte, pois de acordo com variáveis como a distância percorrida, carga transportada, tipo de energia utilizada, entre outros, pode-se definir qual melhor equipamento a ser utilizado para o transporte.

Conforme Kijewska et.al (2021), o transporte urbano de carga deve ser analisado em sua logística, conexões entre dimensões que buscam garantir maior eficácia no processo. Essas dimensões seriam econômicas, ambientais, e sociais do desenvolvimento sustentável.

De acordo com D'Agosto et al. (2018.a), tradicionalmente, a logística atua tendo três principais atividades, que são: o transporte, a manutenção de estoque e o processamento de pedidos (Fig. 20). Ao considerar três etapas para o custo logístico, sendo suprimentos, produção e distribuição, tem-se o transporte como a categoria mais custosa na gestão da cadeia de suprimentos, chegando a aproximadamente 45% do custo total. Importante mencionar que as redes de suprimento representam cadeias logísticas direcionadas ao abastecimento do fabricante principal com matérias primas e componentes, enquanto as redes de distribuição física representam as cadeias logísticas direcionadas ao deslocamento de produtos acabados desde o fabricante principal até o consumidor final. De acordo com Belloli et al. (2016), na composição do custo logístico total medido pela empresa, o transporte possui a maior representatividade. Pigozzo (2021) menciona que, na maioria dos casos, o custo do transporte representa cerca de dois terços do gasto logístico e entre 9% e 10% do Produto Nacional Bruto (PNB) da economia americana.



Figura 19 Atividades Primárias da Logística

Fonte: D'Agosto (2018.b)

Segundo D'Agosto et al. (2018), dentro do transporte como função logística, o transporte externo é dividido em duas partes: transferência (*inbounds logistics* ou suprimentos) e coleta / distribuição (*outbounds logistics* ou distribuição física), onde nessa segunda etapa há a distribuição primária, distribuição secundária e a última milha (Fig. 20). A transferência tem como características principais o deslocamento de produtos de um único ponto de origem a um único ponto de destino; privilegia a movimentação de carga uniforme; privilegia a utilização de veículos de maior porte ($PBT \geq 20$ t); longas distâncias; carga completa e ligação interestadual. A coleta e distribuição caracterizam-se pelo deslocamento de produtos a partir de um único ponto da rede, com destino a diversos pontos, realizando uma única viagem; curtas distâncias; fracionamento da carga; preferencialmente usa-se veículos de menor porte ($PBT < 20$ t) e a movimentação normalmente é em área urbana. A coleta é o inverso da distribuição ou “entrega”, pois a partir de um ou diversos pontos de origem, os produtos são recolhidos. Com destino a um único local.

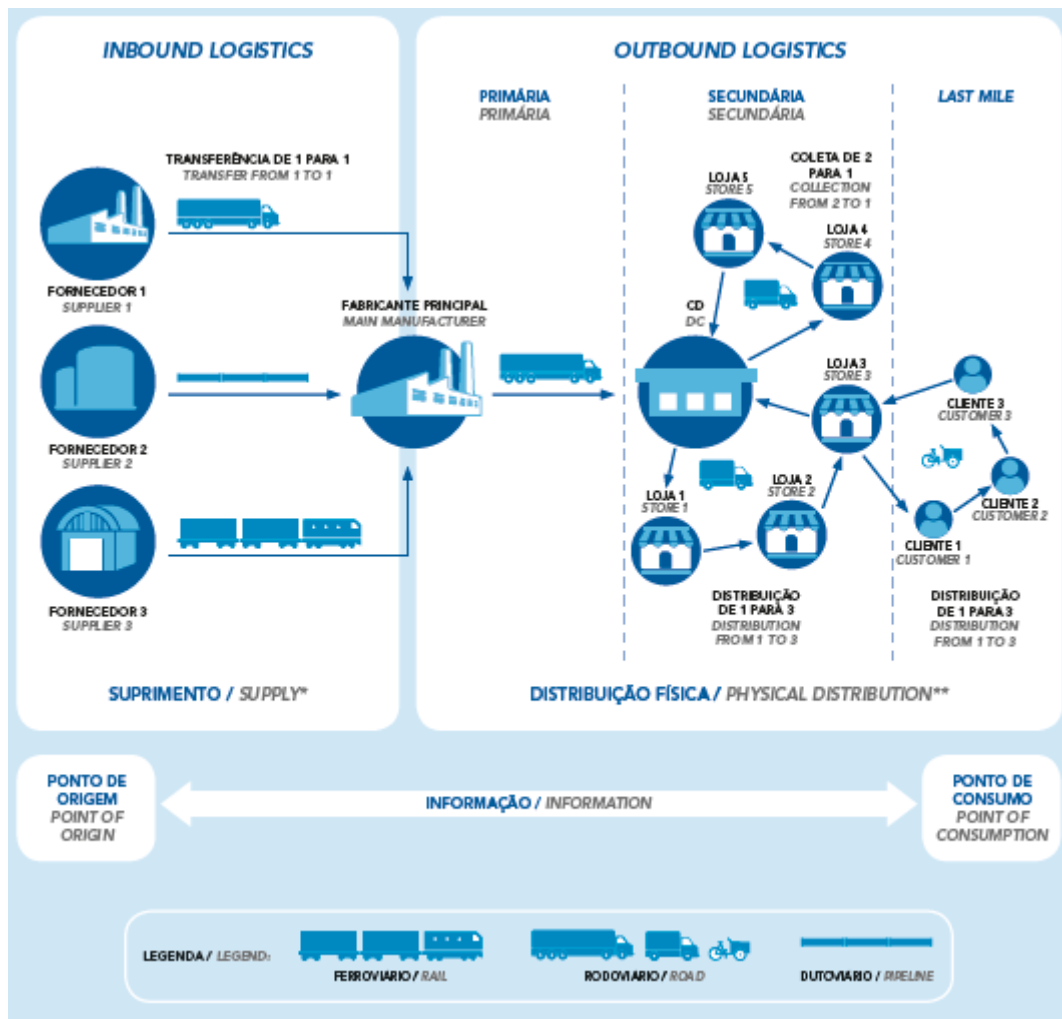


Figura 20 Transporte (Configuração Esquemática de uma Cadeia Logística)

Fonte: D'Agosto (2018.b)

De acordo com Pigozzo (2021), a distribuição é a função responsável pela disponibilização dos itens de materiais necessários às operações de uma organização, e está presente em todos os níveis de uma cadeia de suprimentos, assim como em outra função logística, que é o transporte.

Na cadeia de suprimentos *inbound*, a distribuição pode ser classificada como “de atacado”, ou seja, lida com grandes quantidades de produtos, geralmente entregues nos centros de distribuição das organizações compradoras. Na cadeia *outbound*, a distribuição, mesmo quando envolve grandes quantidades, transforma-se em algo como varejo. (Pigozzo, 2021)

Conforme Ballou (2006), o processo de abastecer a manufatura com matéria-prima e componentes, denominado *inbound*, é chamado de logística de suprimento no Brasil. É uma parte importante da logística, por seu cunho estratégico e pela grande importância econômica a ela associada pelos governantes e pelas empresas quando da instalação de novas unidades industriais, justamente pelo fato que a distância da unidade industrial em relação à fonte de suprimentos irá determinar o custo logístico nos aspectos de custo de transporte, armazenagem e tempo de atendimento. Para as atividades de varejo, no entanto, é o segmento da logística que desloca os produtos acabados desde a manufatura até o consumidor final, denominado de distribuição, ou *outbound logistics*, que assume importância mais imediata.

2.4.1 *Inbound* / Suprimentos

A logística *inbound* associa-se à parcela da logística empresarial que trata do conjunto de operações que visam criar fluxo de materiais e informações, desde a origem da matéria-prima até a entrada na fábrica (Takita & Leite, 2019).

Segundo D'Agosto (2018.a), alguns aspectos devem ser considerados para o gerenciamento da rede de suprimentos, tais como:

- Visa o encaminhamento dos insumos da produção;
- As características principais a serem levadas em conta em sua elaboração são as origens e os destinos de cada um dos insumos;
- As origens diferem conforme:
 - ✓ A sua localização geográfica (município, estado, região ou país);
 - ✓ O tipo de fornecedor (extração, indústria, atacadista ou intermediário e/ou jazida da própria empresa);
 - ✓ O tipo de terminal, quando os suprimentos são transferidos de outros modos de transporte, diferentes do usado até o destino;
- Os destinos são geralmente as unidades de produção (fabricante principal) e os armazéns ou depósitos.

2.4.1.1 Transferência

A logística de entrada envolve diversas atividades destinadas a receber e armazenar com eficiência matérias-primas e componentes necessários à produção. Algumas das principais atividades envolvidas na logística de entrada incluem:¹⁷

- *Sourcing*: Identificar e selecionar fornecedores que possam fornecer os materiais ou componentes necessários para a produção a um preço competitivo e com entrega confiável.
- Compras: Negociação de acordos de compra com fornecedores, incluindo preços, cronogramas de entrega e condições de pagamento.
- Transporte: Coordenar a movimentação de mercadorias dos fornecedores até os armazéns ou instalações de produção da empresa. Isto pode envolver trabalhar com transportadoras, despachantes aduaneiros e outros fornecedores de logística para garantir uma entrega oportuna e econômica.
- Armazenamento: Organizar e armazenar materiais de uma forma que permita a recuperação e utilização eficiente no processo de produção. Isso pode envolver o uso de equipamentos de armazenamento, como porta-paletes ou estantes, e a implementação de sistemas de gerenciamento de estoque para rastrear a movimentação de materiais.
- Gestão de estoque: Rastrear a movimentação de materiais e garantir que quantidades suficientes estejam disponíveis para atender às necessidades de produção. Isso pode envolver a implementação de sistemas de controle de estoque, definição de pontos de reabastecimento e monitoramento dos níveis de estoque para evitar escassez ou excesso.
- Controle de qualidade: Garantir que os materiais atendam aos padrões de qualidade e segurança exigidos antes de serem utilizados no processo produtivo. Isso pode envolver a inspeção de materiais no momento do recebimento e testes para verificar sua conformidade com os padrões da indústria.

Alguns dos desafios comuns que as empresas enfrentam no gerenciamento da logística de entrada incluem o seguinte:¹⁸

¹⁷ <https://www.inboundlogistics.com/articles/what-is-inbound-logistics/>

¹⁸ <https://www.inboundlogistics.com/articles/what-is-inbound-logistics/>

- Ineficiência no transporte: Atrasos ou interrupções no transporte de mercadorias podem levar ao aumento de custos e à redução da eficiência no processo de produção. Congestionamentos de trânsito, mau tempo ou problemas com o fornecedor de transporte podem causar esses atrasos.
- Vazio de informação: A falta de visibilidade do movimento de mercadorias pode dificultar o acompanhamento do progresso e a identificação de potenciais problemas. Isso pode ser causado pela necessidade de maior comunicação entre a empresa, seus fornecedores ou prestadores de serviços logísticos ou por problemas com sistemas de rastreamento.
- Equilíbrio entre oferta e procura: Manter o equilíbrio certo entre a oferta de materiais e a procura de produtos acabados pode ser um desafio. Isto pode ser especialmente difícil quando a procura é flutuante ou quando há mudanças inesperadas na cadeia de abastecimento.
- Restrições de capacidade: capacidade insuficiente de armazenamento ou produção pode limitar a capacidade de uma empresa de gerenciar a logística de entrada com eficiência. Isto pode levar a atrasos no processo de produção e exigir que a empresa invista em instalações ou equipamentos adicionais.
- Questões de qualidade: Materiais ou componentes de baixa qualidade podem levar a defeitos no produto acabado, o que pode ter um impacto negativo na satisfação do cliente e na reputação da empresa. Garantir a qualidade dos materiais é um desafio crucial na logística de entrada.

2.4.2 *Outbound* / Distribuição Física

De acordo com Dias (1996), para o comércio varejista e atacadista, a distribuição assume importância eminente, já que é o segmento da logística responsável por deslocar os produtos acabados desde a manufatura até o consumidor final. Nesse processo, há o envolvimento de diversos recursos, tais como depósitos, veículos de transporte, equipamentos para carga e descarga, entre outros, que se constituem em variáveis essenciais para o atendimento dos objetivos da distribuição física.

A Figura 21 representa uma operação logística *outbound*, onde percebe-se que há uma distribuição a partir de um único ponto, que nesse caso é o atacadista.

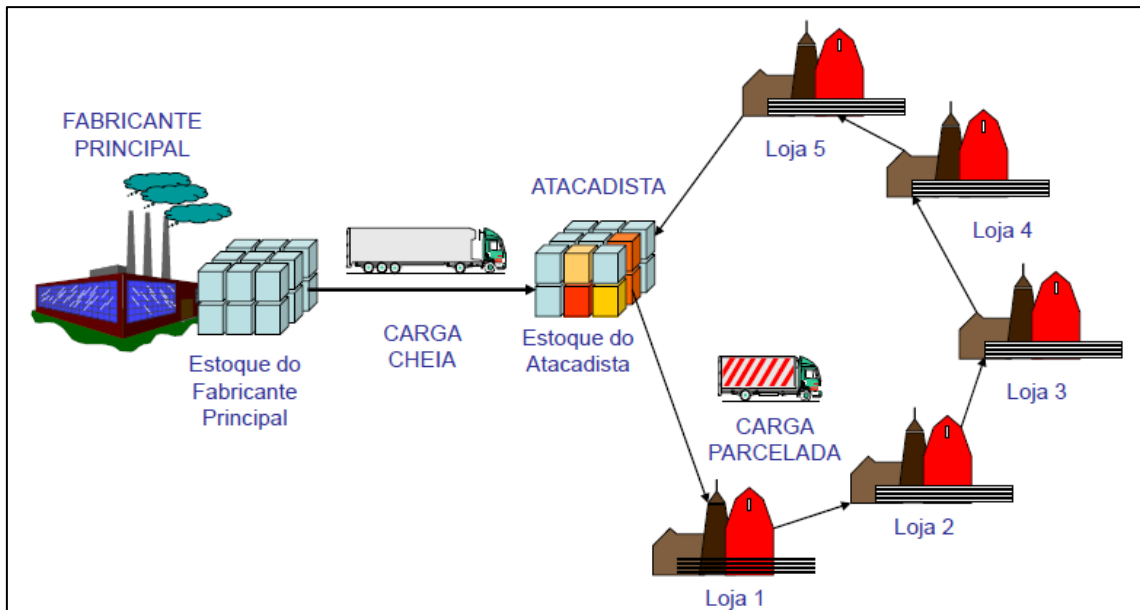


Figura 21 Logística Outbound

Fonte: D'Agosto (2018.b)

De acordo com Menchik (2010), após a obtenção do produto e a partir do recebimento do pedido, cabe à logística de distribuição coordenar os recursos envolvidos para disponibilizá-lo até o ponto de consumo, provendo as ações necessárias para atender o cliente. Geralmente, essa distribuição dar-se-á através de intermediários, como, por exemplo, o importador, o distribuidor e o varejista. Essas organizações envolvidas no processo de deslocamento do produto, desde a manufatura até o varejo, constituem o canal de distribuição, conforme Figura 22:

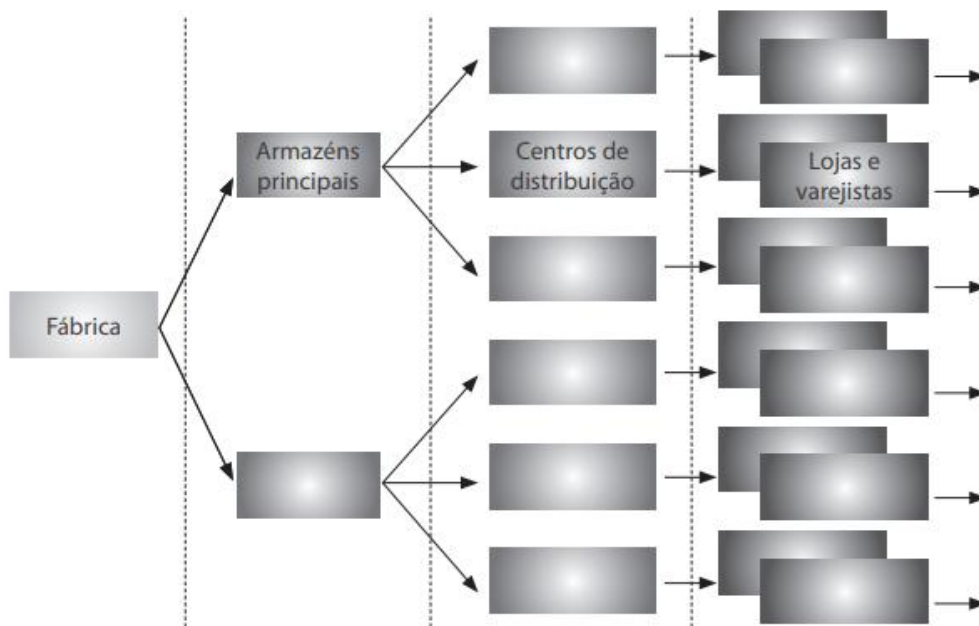


Figura 22 Canal de Distribuição
 Fonte: Menchik (2010)

Dentro da coleta e distribuição encontra-se um segmento conhecido como *last mile* ou última milha (Fig. 23). Segundo Tiwapat et al. (2018) e Cóppola (2021), a entrega de última milha (*Last Mile Delivery - LMD*) é a etapa final de um serviço de entrega *business-to-customer* (B2C) em que a carga é entregue ao destinatário, seja na casa ou em um ponto de coleta e se tornou um dos gargalos do e-commerce. Conforme Olsson et al. (2019), coincidindo com o rápido aumento do varejo, a crescente urbanização, a mudança no comportamento do consumidor e o foco em sustentabilidade, houve um aumento na demanda da última milha.

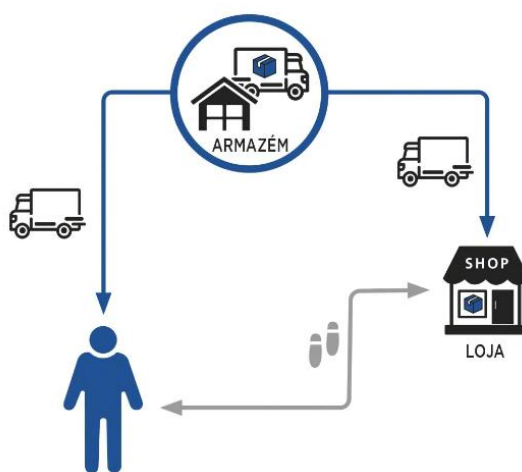


Figura 23 Última Milha
 Fonte: Mecalux. (2020)

De acordo com Ranieri et al. (2018), a entrega de última milha enfrenta um duplo desafio: deve atender às demandas do comércio globalizado e atender aos requisitos ambientais. Nesse contexto, a inovação é um tema crucial para viabilizar a transição das configurações atuais dos sistemas logísticos para outras mais sustentáveis. Dessa forma, irar-se-á apresentar um procedimento metodológico de análise qualitativa com questões semi-estruturadas que almejam responder ao fulcro deste trabalho; isto é, se a introdução de comerciais leves e caminhões com baixa ou nula emissão no transporte rodoviário de carga promove descarbonização desta atividade econômica.

Segundo D'Agosto (2018.a), alguns aspectos devem ser considerados para o gerenciamento da distribuição física, tais como:

- O número, tamanho e localização das unidades fabris;
- A localização geográfica dos mercados;
- O número e os tipos de produtos em linha de comercialização;
- A frequência de compra dos clientes;
- O número e o tamanho dos pedidos;
- A necessidade de armazenagem / depósitos intermediários;
- A escala de custo do pedido e da distribuição;
- Os custos orçados para distribuição;
- A natureza da demanda de mercado;
- O nível de serviço ofertado para cada item; e
- O método de transporte;

Segundo Vieira (2021), algumas iniciativas podem potencializar e melhorar o Transporte Urbano de Carga, por meio de políticas públicas, conforme abaixo:

- Códigos de construção aprimorados (legislação para buscar soluções, tais como estacionamentos, áreas de embarque em edifícios de centros urbanos, e estacionamentos à margem de áreas metropolitanas);
- Restrição de acesso a área de pedestres;
- Estacionamento em fila dupla de curta duração (limitado a 15 minutos);
- Veículos alternativos (baixa e nula emissão, por exemplo);

- Rotas exclusiva para caminhões;
- Reservas de zonas on-line;
- Restrições de tempo de acesso;
- Zonas de baixa emissão;
- Entre outros.

3. PROSPECÇÃO DE MERCADO COM ESPECIALISTAS

Foi desenvolvida uma pesquisa (Anexo I) intitulada “Questionário sobre aplicação de veículos para o transporte rodoviário de cargas com baixa ou nula emissão” onde foram selecionados especialistas no assunto. Um total de seis empresas de médio e grande porte, com relevante atuação no cenário nacional do transporte de cargas, responderam ao questionário semiestruturado indicando como o meio corporativo está se comportando na transição energética e tecnológica para descarbonização do transporte rodoviário de carga. Apesar de ter tido um número relativamente pequeno de empresas respondentes, foi entendido que pela relevância delas, a amostra pareceu suficiente para traçar um diagnóstico preliminar, do que as empresas estão executando na sua frota, no que tange a utilização de tecnologias e combustíveis de baixa ou nula emissão de poluentes.

A parte 1 foi composta por informações sobre a empresa, tais como: segmento, tempo de mercado, serviços oferecidos, região de atuação, entre outras.

A área de atuação das empresas abrange principalmente a América Latina, mas com maior atuação na América do Sul, principalmente no Brasil e que possuem de 150 funcionários até 20 mil aproximadamente. O faturamento bruto varia de R\$ 12 milhões ao ano até cerca de R\$ 72 bilhões.

Participaram da pesquisa, empresas do ramo de papel e celulose, transporte e logística (coleta e entrega, armazenagem e manuseio de cargas), carga e descarga de containers, cargas para importação e exportação, produção de aço, transporte a granel de gases liquefeitos (Amônia, GLP, butano especial, butano comercial, butadieno, propano, propeno, buteno, buteno 1, pentano, C4 bruto, isopropeno, etc.), transporte de graneis líquidos (ácidos, combustíveis, óleos vegetais, óleos minerais, óleos lubrificantes, Arla

32, butilglicol, soda cáustica, composto de amônia, etilenos, naftênicos, fosfatados, estirenos, trietilenos, surfactantes, etc.), transporte de gases do ar em sua forma criogênica, GNL e GNC, logística integrada (recebimento, planejamento tributário, etiquetagem, unitização e paletização, gerenciamento de *supply chain* e separação - *picking* e embalagem - *packing*), entre outros.

Ao perguntar quanto que o transporte representa em custos percentuais na cadeia logística da empresa, as respostas variaram, tendo 16,7% das respostas indicando que é superior a 76% dos custos logísticos e 33,3% indicando ser inferior a 25%, conforme Figura 24.

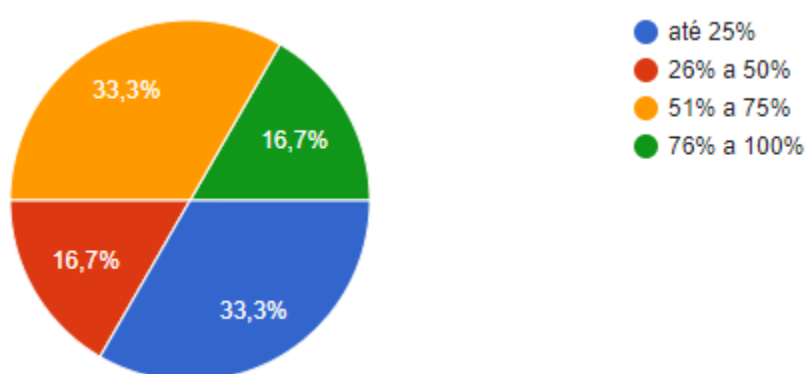


Figura 24 Quanto o transporte representa em custos percentuais na cadeia logística da empresa?

A parte 2 foi composta por características da frota e operação. As figuras 25 e 26 mostram a quantidade de veículos por categoria. Percebe-se que as empresas que possuem veículos próprios têm a maior quantidade concentrada basicamente nas categorias semipesado e pesado, o que também foi visto na terceirização dos veículos.

% DE EMPRESAS COM VEÍCULOS PRÓPRIOS								
CATEGORIA	1 a 5	6 a 10	10 a 20	20 a 30	30 a 40	40 a 50	acima de 50	Não aplicável
Comercial Leve	-	33%	-	-	-	-	-	67%
Semileve	-	33%	-	-	-	-	-	67%
Leve	-	17%	-	17%	-	-	-	67%
Médio	-	-	17%	17%	-	-	-	67%
Semipesado	-	-	-	-	-	33%	17%	50%
Pesado	-	-	-	-	-	17%	50%	33%

Figura 25 Quantidade de veículos próprios por categoria

% DE EMPRESAS COM VEÍCULOS TERCEIROS								
CATEGORIA	1 a 5	6 a 10	10 a 20	20 a 30	30 a 40	40 a 50	acima de 50	Não aplicável
Comercial Leve	33%	-	-	-	-	-	17%	50%
Semileve	33%	-	-	-	-	-	17%	50%
Leve	33%	-	-	-	-	-	17%	50%
Médio	33%	-	-	-	-	-	17%	50%
Semipesado	-	-	33%	-	17%	-	17%	33%
Pesado	-	-	-	-	-	33%	67%	-

Figura 26 Quantidade de veículos terceiros por categoria

Com relação as tecnologias ou combustíveis alternativos disponíveis na frota, a Figura 27 demonstra os percentuais de utilização pelas empresas. Todas as empresas têm na frota veículos que utilizam o diesel e nenhuma tem veículo movido a hidrogênio. As demais tecnologias são utilizadas em menor proporção, se comparadas ao diesel, com destaque para o elétrico a bateria, com 66,7% das empresas.

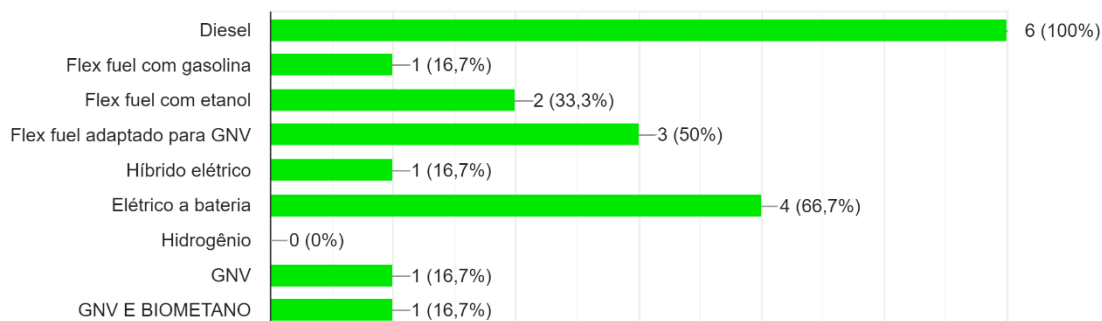


Figura 27 Utilização de tecnologia na frota

Mais de 67% das respostas indicam ter tido ganho de eficiência quando perguntadas “Caso possua veículos com tecnologias alternativas, a empresa identificou melhoria na eficiência operacional comparada aos veículos a combustão que usam o diesel como combustível?”. Aquelas que informaram não ter tido esse ganho, mencionaram que a utilização de alguns conjuntos a gás não mudou a produtividade, mas por outro lado, outras responderam ter tido ganho na troca do veículo a diesel de 410cv por veículos movidos a GNV de 330cv. Também foi identificado que a eletrificação da frota, apesar de estar em andamento, já se mostrou tendo ganho de custo e eficiência em km rodados.

Quando perguntadas se as empresas possuem algum programa associado à boas práticas na gestão sustentável para descarbonização do setor de transportes, 100% responderam que realizam a otimização da ocupação do veículo e otimização das rotas, além de utilizar fontes de energias mais limpas. Em seguida, a prática mais utilizada pelas empresas é a renovação e modernização da frota, com 83,3% das empresas.

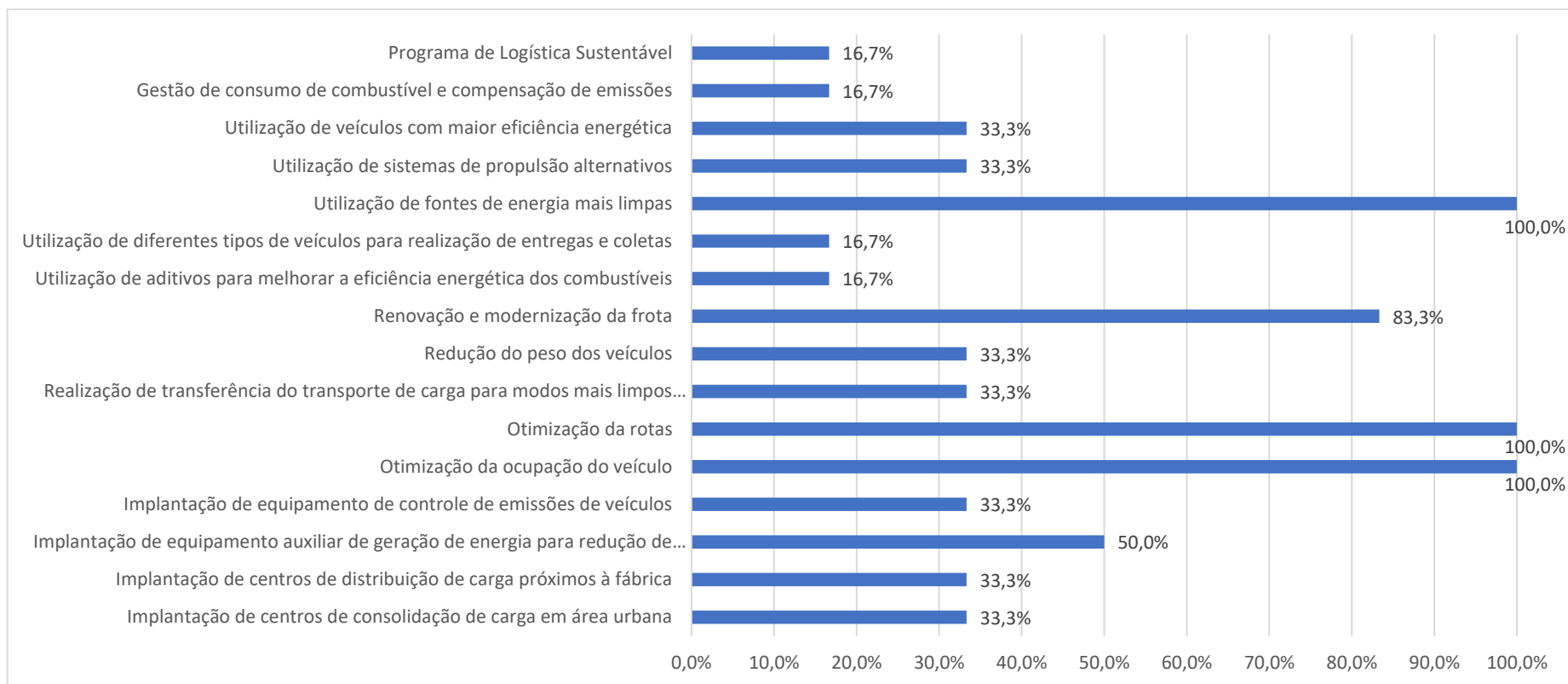


Figura 28 - % de empresas que possuem programas associados à boas práticas na gestão sustentável

Segundo as empresas, os principais desafios de infraestrutura que as empresas encontram para adoção dos veículos com tecnologias de baixa ou nula emissão são:

- Infraestrutura para reabastecimento de GNV nas rotas;
- Desenvolvimento de redes de abastecimento de energia para os veículos elétricos;
- Elevado custo.

O custo operacional foi o principal critério de decisão apontado para escolha do veículo para compor a frota, seguido da sustentabilidade.

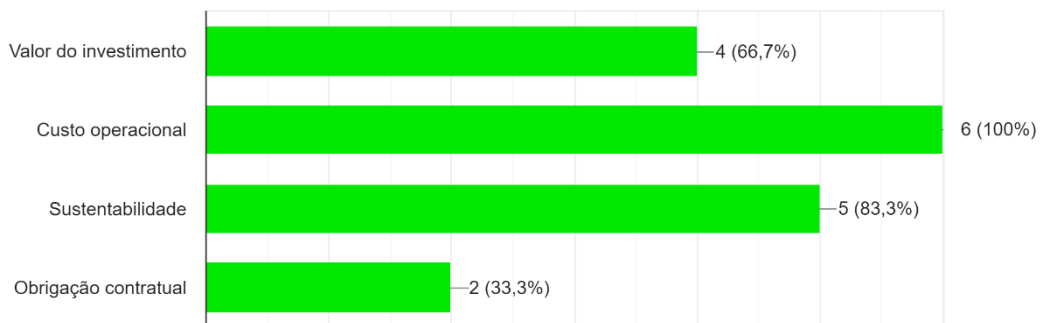


Figura 29 Critério de decisão para definição do veículo

Uma variável importante para definição do veículo e sua tecnologia, é a quilometragem percorrida diariamente, onde a autonomia e o consumo têm grande relevância na tomada de decisão para aquisição do veículo. Das empresas que responderam ao questionário, ficou evidente que a prática está em sinergia com a teoria. Os comerciais leves percorrem até 300km. Já os caminhões semileves e leves estão entre 101km e 300km. Os caminhões médios, na maioria, estão percorrendo entre 201km e 300km, mas também realizam viagens superiores a 500km. Os caminhões semipesados estão percorrendo distâncias superiores a 400km e os caminhões pesados, 67% percorrem acima de 500km e os outros 33% percorrem acima de 300km.

Qual distância média percorrida por dia por veículo?

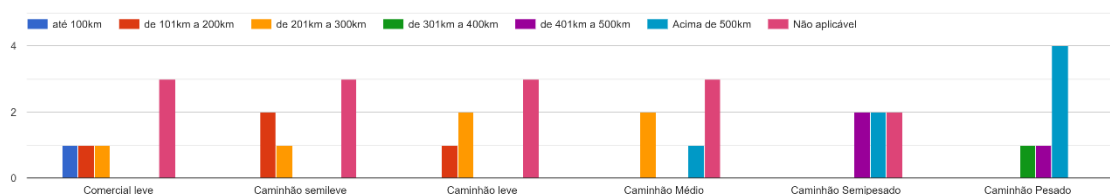


Figura 30 Critério de decisão para definição do veículo

Com relação a novos investimentos em novas tecnologias, 100% das empresas admitem que será realizado. A tecnologia com hidrogênio foi indicada por 67% das empresas, no entanto, é mencionado que o avanço do tema deve ser considerado, pois ainda tem poucos veículos utilizando a tecnologia. Os veículos movidos a eletricidade também foram considerados, além dos modelos Euro6.

Quando as empresas são questionadas sobre incentivo do governo para renovação da frota, 100% das empresas informaram que não recebem nenhum de incentivo público, no entanto, na hipótese de recebimento de um incentivo, todas disseram que ajudaria para renovação da frota com veículos de baixa ou nula emissão.

4. ANÁLISE, CONSOLIDAÇÃO E PROGNÓSTICO

4.1 Mercados Nacional e Internacional de veículos com baixa ou nula emissão no transporte rodoviário de carga

Em 2023, de acordo com a ANFAVEA (2024), no Brasil, foram licenciados 447.140 Comerciais Leves e 106.559 Caminhões, considerando todos os tipos de propulsão (combustão, elétrica e outras). A Tabela 8 mostra a quantidade de licenciamentos de comerciais leves por empresa. Já a Tabela 9 mostra a quantidade de licenciamentos de caminhões por empresa, enquanto as Tabelas 10, 11, 12, 13 e 14 mostram a quantidade de licenciamentos por categorias de caminhão.

Tabela 9 Licenciamento Total de Comerciais Leves por empresa, no ano de 2023

CATEGORIAS / UNIDADES	TOTAL ANO 2023
Comerciais leves	447.140
Empresas associadas à Anfavea	443.199
Caoa - Hyundai	176
FCA	205.644
Dodge	10.212
Fiat	195.432
Ford	24.896

General Motors	55.028
HPE (Mitsubishi)	11.828
Iveco	2.356
Jaguar Land Rover (Land Rover)	13
MAN	1.859
Mercedes-Benz Cars & Vans	6.406
Nissan	8.038
Peugeot Citroën	5.449
Peugeot	3.681
Citröen	1.768
Renault	22.761
Toyota	45.695
Volkswagen	53.052
Outras empresas	3.940

Fonte: ANFAVEA, 2024¹⁹

Tabela 10 Licenciamento Total de Caminhões por empresa, no ano de 2023

CATEGORIAS / UNIDADES	TOTAL ANO 2023
Caminhões - Total por empresa	106.559
Empresas associadas à Anfavea	105.955
Agrale	92
Caoa	320
DAF	8.160
FCA (Dodge)	4.918
Ford	49
Iveco	9.487
MAN	26.861
MAN	-
Volkswagen Caminhões e Ônibus	-
Mercedes-Benz	22.574
Mercedes-Benz Cars & Vans	2.303
Peugeot Citroën	125
Peugeot	91
Citröen	35

¹⁹ <https://anfavea.com.br/site/edicoes-em-excel/>

Scania	11.845
Volvo	19.221
Outras empresas	604

* Foi realizada uma média no mês de dezembro considerando os meses de janeiro a novembro/2023.

Fonte: ANFAVEA, 2024²⁰

Tabela 11 Licenciamento Total de Caminhões Semileves por empresa, no ano de 2023

CATEGORIAS / UNIDADES	TOTAL ANO 2023
Semileves	8.540
Empresas associadas à Anfavea	8.495
Agrale	4
FCA (Dodge)	4.918
Ford	22
Iveco	578
MAN	544
Mercedes-Benz Cars & Vans	2.303
Peugeot Citroën	125
Peugeot	91
Citroën	35
Outras empresas	45

Fonte: ANFAVEA, 2024²¹

Tabela 12 Licenciamento Total de Caminhões Leves por empresa, no ano de 2023

CATEGORIAS / UNIDADES	TOTAL ANO 2023
Leves	9.020
Empresas associadas à Anfavea	8.692
Agrale	65
Caoa - Hyundai	320
Ford	13
Iveco	1.025
MAN	2.472
Mercedes-Benz	4.797
Outras empresas	327

20 <https://anfavea.com.br/site/edicoes-em-excel/>

21 <https://anfavea.com.br/site/edicoes-em-excel/>

Fonte: ANFAVEA, 2024²²

Tabela 13 Licenciamento Total de Caminhões Médios
por empresa, no ano de 2023

CATEGORIAS / UNIDADES	TOTAL ANO 2023
Médios	8.316
Empresas associadas à Anfavea	8.117
Agrale	13
DAF	-
Ford	5
Iveco	1.190
MAN	5.734
Mercedes-Benz	1.175
Outras empresas	199

Fonte: ANFAVEA, 2024²³

Tabela 14 Licenciamento Total de Caminhões Semipesados
por empresa, no ano de 2023

CATEGORIAS / UNIDADES	TOTAL ANO 2023
Semipesados	28.611
Empresas associadas à Anfavea	28.601
Agrale	9
DAF	809
Ford	9
Iveco	4.292
MAN	12.352
Mercedes-Benz	6.371
Scania	804
Volvo	3.956
Outras empresas	10

Fonte: ANFAVEA, 2024²⁴

Tabela 15 Licenciamento Total de Caminhões Pesados
por empresa, no ano de 2023

CATEGORIAS / UNIDADES	TOTAL ANO 2023
Pesados	52.072

22 <https://anfavea.com.br/site/edicoes-em-excel/>

23 <https://anfavea.com.br/site/edicoes-em-excel/>

24 <https://anfavea.com.br/site/edicoes-em-excel/>

Empresas associadas à Anfavea	52.048
DAF	7.351
Ford	-
Iveco	2.401
MAN	5.759
MAN	1
Volkswagen Caminhões e Ônibus	5.758
Mercedes-Benz	10.232
Scania	11.041
Volvo	15.265
Outras empresas	24

Fonte: ANFAVEA, 2024²⁵

Segundo os números mostrados nas Tabelas acima e nas Figuras 31 e 32, identificou-se que as empresas com maior número de comerciais leves licenciados são: Fiat, General Motors e Volkswagen. Já as empresas com maior número de caminhões licenciados são: MAN, Mercedes-Benz, Scania e Volvo.

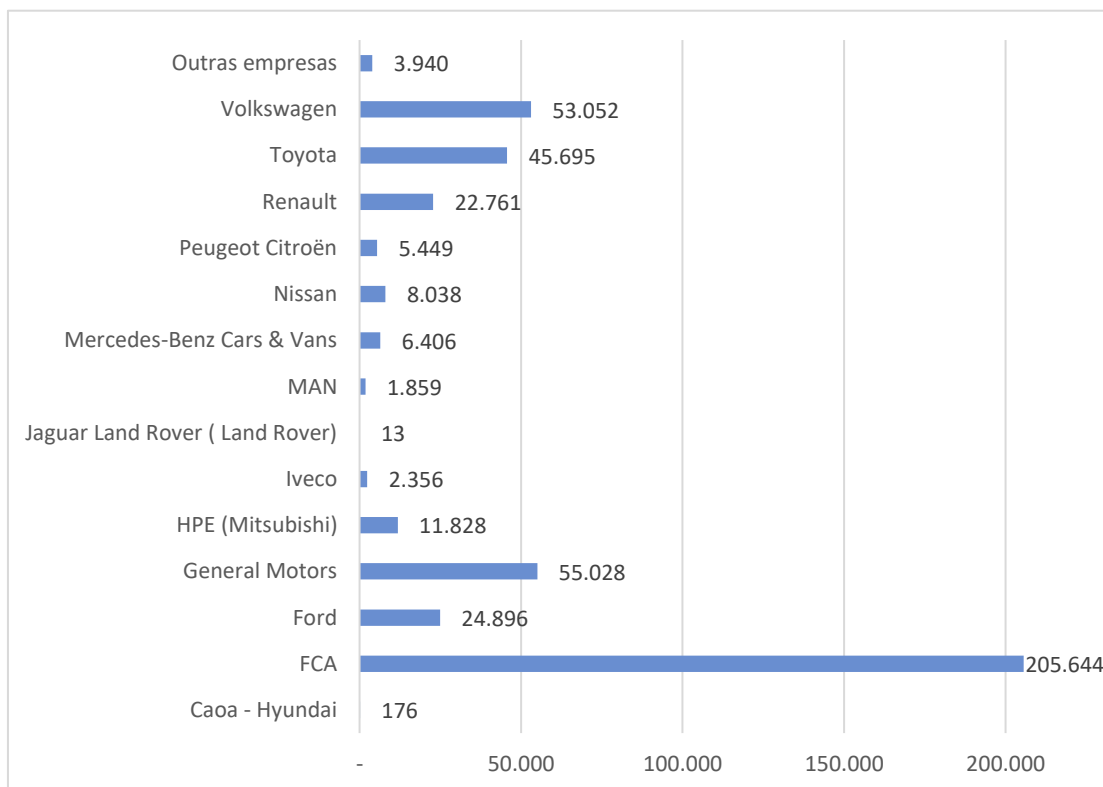


Figura 31 Licenciamento de Comerciais Leves / Empresa – Ano 2023

Fonte: ANFAVEA, 2024²⁶

²⁵ <https://anfavea.com.br/site/edicoes-em-excel/>

²⁶ <https://anfavea.com.br/site/edicoes-em-excel/>

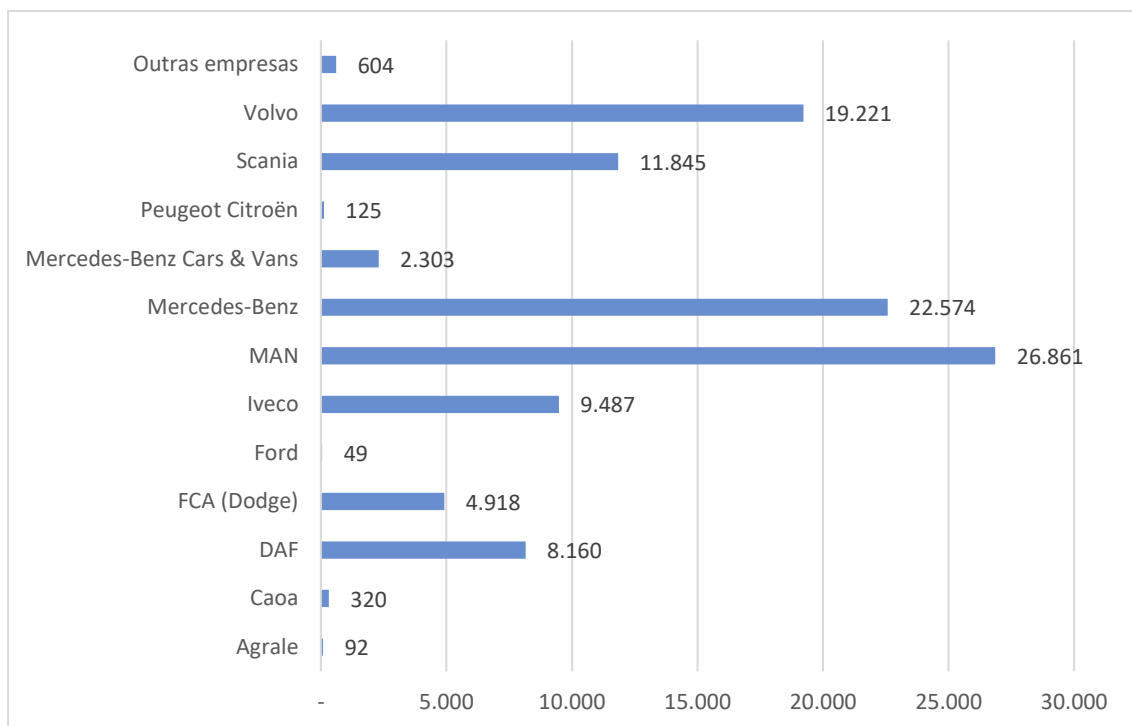


Figura 32 Licenciamento de Caminhões / Empresa – Ano 2023

Fonte: ANFAVEA, 2024²⁷

4.1.1 Fabricantes e modelos disponíveis no Brasil

Após pesquisa realizada em sites especializados, onde se limitou a veículos elétricos a bateria, híbridos plug-in e híbrido, foram encontrados alguns modelos de comerciais leves e caminhões que operam no Brasil. Foi considerada na pesquisa a marca, modelo, PBT, tara (t), lotação (t), ano de lançamento no Brasil, configuração (BEV, PHEV e HEV), capacidade da bateria (kwh), autonomia (km) e se é adequado para coleta/distribuição ou transferência. Abaixo, as Tabelas 15 e 16, mostram a relação de comerciais leves e de caminhões respectivamente.

Tabela 15 Modelos de Comerciais Leves elétricos em operação no Brasil

Marca	Modelo	PBT [t]	Tara [t]	Lotação [t]	Ano de Lançamento no Brasil	Config.	Capacidade da Bateria [kWh]	Autonomia [km]	CST
BYD	eT3	3,5	2,8	0,7	2021	BEV	50,3	300	C/D***
Citroen	e-Jumpy	2,5	1,8	0,8	2023	BEV	50 ou 75	330	C/D***
Citroen	Jumpy Híbrido	2,5	1,8	0,8	2023	PHEV	50	300**	C/D***

27 <https://anfavea.com.br/site/edicoes-em-excel/>

FIAT	e-Ducato	3,5	2,2	1,3	2022	BEV	47 a 70	220	C/D***
FIAT	Ducato Híbrido	3,5	2,1	1,5	2023	PHEV	30	200*	C/D***
FORD	E-Transit	3,5	2,0	1,5	2024	BEV	68	317	C/D***
JAC	iEV 1200	3,0	1,8	1,2	2019	BEV	30	220	C/D***
LDV	EV80	3,5	2,5	1,0	2020	BEV	40	200	C/D***
MAXUS	eDeliver 3	2,2	1,4	0,8	2022	BEV	35 ou 50	250	C/D***
M.-Benz	eSprinter	3,5	2,2	1,3	2023	BEV	55	150	C/D***
NISSAN	e-NV200	2,0	1,4	0,6	2020	BEV	40	280	C/D***
Nissan	Leaf	1,8	1,5	0,3	2018	BEV	40	400	C/D***
PEUGEOT	e-Partner	2,0	1,6	0,4	2023	BEV	50	275	C/D***
RENAULT	Master Z.E.	3,5	2,1	1,4	2021	BEV	33	120	C/D***
RENAULT	Kangoo Z.E. Híbrido	2,0	1,5	0,5	2022	PHEV	33	270*	C/D***
VOLKSVAGEN	e-Crafter	3,5	2,7	0,8	2023	BEV	35,8	173	C/D***
Wuling	Hongguang Mini EV	1,2	0,7	0,5	2023	BEV	9,3 ou 13,8	120	C/D***

* autonomia usando energia elétrica
** combinação híbrida
*** Coleta/Distribuição

Tabela 166 Modelos de Caminhões elétricos em operação no Brasil

Marca	Modelo	PBT [t]	Tara [t]	Lotação [t]	Ano de Lançamento no Brasil	Config.	Capacidade da Bateria [kWh]	Autonomia [km]	CST
BYD	eT5 7.200	6,7	2,8	3,9	2024	BEV	99	185	C/D**
BYD	eT7 12.220	12,2	8,0	4,2	2023	BEV	230	230	C/D**
BYD	eT12	13,0	6,0	7,0	2022	BEV	217	250	C/D**
BYD	Et18 21.250	21,0	10,5	10,5	2024	BEV	230	300	C/D**
BYD	T8A	21,0	9,0	12,0	2021	BEV	255	200	C/D**
BYD	Q1R	34,0	10,0	24,0	2021	BEV	435	350	C/D**
Foton	iBlue EV	6,0	2,8	3,2	2022	BEV	81,14	200	C/D**
JAC	E-JV5,5	5,5	4,5	1,0	2023	BEV	60	200	C/D**
JAC	E-JT9,5	9,5	3,3	6,2	2023	BEV	89	200	C/D**
JAC	E-JT12,5	12,5	3,9	8,6	2022	BEV	107	180	C/D**
JAC	E-JT18	18,0	11,6	5,0	2022	BEV	114	250	C/D**
M.-Benz	eActros 300	18,0	10,5	7,5	2023	BEV	112	300	C/D**
M.-Benz	eActros 400	27,0	13,5	13,5	2024	BEV	168	300	C/D**
M.-Benz	Axor 2544 Híbr.	25,0	12,0	13,0	2021	HEV	44	300*	C/D**
Scania	P 320 Híbr.	18,0	8,0	10,0	2021	HEV	30	150*	C/D**
Volkswagen	E-Delivery11	11,4	5,4	6,0	2021	BEV	107	110	C/D**
Volkswagen	E-Delivery14	14,5	8,5	6,0	2021	BEV	233	250	C/D**
Volkswagen	e-Delivery	13,0	9,5	3,5	2021	PHEV	14,1	200*	C/D**

Volvo	FL Electric	16,0	8,0	8,0	2023	BEV	200-300	300	C/D**
* autonomia usando energia elétrica									
** Coleta/Distribuição									

Abaixo, alguns modelos que foram licenciados no ano de 2023, no Brasil.

Volkswagen, propulsão elétrica – Modelo E-Delivery11²⁸

Segundo a empresa Volkswagen, o modelo VW e-Delivery 11 4x2 com suspensão pneumática e 11,4 toneladas de PBT possui configuração adequada para aplicações urbanas e atende à legislação de restrição de circulação, VUC.

Tabela 17 Características do modelo E-Delivery11

Fabricante / Modelo	VW 280
Potência Líq. Máx. - cv (kW) @ rpm (*)	300 @ 1.360 á 3.500
Torque Líq. Máx. - Nm @ rpm (*)	2.150 @ 0 á 1.360
Peso Bruto Total (PBT) - Homologado	11.400



Figura 33 Volkswagen E-delivery11

²⁸ <https://www.vwco.com.br/caminhoes/e-Delivery/edelivery11?id=27&productid=184>

Volkswagen, propulsão elétrica – Modelo E-Delivery14²⁹

Segundo a empresa Volkswagen, o modelo VW e-Delivery 14 6x2 com suspensão pneumática e 14,5 toneladas de PBT possui configuração adequada para aplicações urbanas e atende à legislação de restrição de circulação, VUC.

Tabela 18 Características do modelo E-Delivery14

Fabricante / Modelo	VW 280
Potência Líq. Máx. - cv (kW) @ rpm (*)	300 @ 1.360 á 3.500
Torque Líq. Máx. - Nm @ rpm (*)	2.150 @ 0 á 1.360
Peso Bruto Total (PBT) - Homologado	14.500



Figura 34 Volkswagen E-delivery14

Volvo, propulsão elétrica – Modelo FM (*Forward control Medium height cab*) Elétrico

A Volvo apresentou um caminhão elétrico pesado na Fenatran do ano de 2022, o FM Electric³⁰, que segundo a empresa, é um veículo para distribuição urbana e regional, com

²⁹ <https://www.vwco.com.br/caminhoes/e-Delivery/e-Delivery%2014?id=27&productid=185>

³⁰ <https://www.volvogroup.com/br/news-and-media/news/2022/nov/caminhao-pesado-100-eletrico-volvo-fm-electric-e-um-dos-destaques-da-marca-na-fenatran.html>

autonomia de até 300 quilômetros e zero emissões. A Tabela x, mostra características do FM Electric que tem opções com PBTC (Peso Bruto Total Combinado) de até 44 toneladas. Pode ser equipado com pacotes de duas a seis baterias (180-540 kWh), dependendo do tipo de aplicação a que for destinado. Com suspensão a ar em todos os eixos, é dotado de freios de regeneração (recupera a energia quando o freio é acionado). O FM Electric tem potência de até 490 kW (660hp). Equipado com a caixa de câmbio I-Shift, é um veículo para uma série de diferentes operações: desde o transporte de produtos industrializados, cargas refrigeradas, alimentos e bebidas, até bens de consumo e hortifrutigranjeiros, podendo ser implementado com baú ou *sider*, em carretas de dois ou três eixos. De acordo com a empresa³¹, o caminhão que está em testes no Brasil é um 4x2, mas há versões 6x2, 6x4 e 8x2 previstas.

Tabela 19 Características do modelo Volvo FM Electric

ConFigurações dos eixos	Trator: 4x2, 6x2, 6x4 Rígido: 4x2, 6x2, 6x4, 8x2, 8x4 Todos os eixos têm suspensão pneumática
Cabina	Cabina curta baixa, cabina curta, cabina longa baixa, cabina longa, cabina Globetrotter
Peso Bruto de Conjunto	Até 44 toneladas
Capacidade da bateria	180-540 kWh, 2-6 baterias
Autonomia	Até 300 km de autonomia
Tempo de carregamento (carga completa)	9,5 h com CA (43 kW) 2,5 h com CC (250 kW)
Linha motriz	2-3 motores elétricos, caixa de velocidades I-Shift
Desempenho	Até 330-490 kW (450-666 cv) de potência contínua
Aplicações	Adequação para carroçaria. 3 tomadas de força (elétrica, mecânica e transmissão)

31 <https://quatorrodas.abril.com.br/segredo/volvo-ja-testa-caminhao-eletrico-de-660-cv-em-estradas-brasileiras>



Figura 35 Volvo FM Electric

Volvo, propulsão elétrica – Modelo FH Elétrico

A principal diferença para o modelo FM Electric está na cabina, onde o modelo FH Elétrico possui as seguintes possibilidades: Cabina longa baixa, cabina longa, cabina Globetrotter, cabina Globetrotter XL.

BYD, propulsão elétrica – Modelo eT7 12.220³²

De acordo com a BYD, o caminhão eT7 12.220 100% elétrico é multivocacional e tem até 230 quilômetros de autonomia. Uma das características que chama a atenção no eT7 12.220 é a não emissão de poluentes, por ser 100% elétrico. O veículo tem capacidade para atuar em uma gama de aplicações, principalmente entre as empresas comprometidas com a redução da emissão de carbono. O modelo tem peso bruto total de 12 toneladas e é equipado com a bateria de fosfato ferro-lítio, que garante a autonomia e a total segurança e adaptação às necessidades da frota. Segundo a empresa, cada caminhão eT7 12.220

³² <https://www.byd.com.br/caminhao-et7-12-220/>

elétrico evita, em média, a emissão de 81 toneladas de CO2 ao ano, o equivalente ao plantio de 577 árvores por veículo.

Tabela 20 Características do modelo eT7 12.220

Fabricante / Modelo	eT7
Potência Líq. Máx. - cv (kW) @ rpm (*)	160@ 4.500
Torque Líq. Máx. - Nm @ rpm (*)	525 @ 0 á 4.500
Autonomia (km)	Até 230
Tempo de recarga	2 a 3 horas
Peso Bruto Total (PBT) - Homologado	12.220



Figura 36 BYD eT7 12.220

BYD, propulsão elétrica – Modelo Et18 21.250³³

De acordo com a BYD, o caminhão eT18 21.250 100% elétrico é multivocacional e tem até 165 quilômetros de autonomia (C-WTVC). Além de ter capacidade de carregar até 13.300 kg, o modelo tem peso bruto total de aproximadamente 21 toneladas. O veículo é equipado com a bateria de fosfato ferro-lítio e, dessa forma, não emite gases poluentes.

³³ <https://www.byd.com.br/caminhao-et18-21-250/>

Pode ser utilizado em uma gama de aplicações, principalmente por empresas engajadas na redução de emissão de carbono. Cada caminhão eT18 21.250 elétrico evita, em média, a emissão de 133 toneladas de CO2 ao ano, o equivalente ao plantio de 949 árvores por veículo.

Tabela 21 Características do modelo eT18 21.250

Fabricante / Modelo	eT18
Potência Líq. Máx. - cv (kW) @ rpm (*)	180@ 9.000
Torque Líq. Máx. - Nm @ rpm (*)	285 @ 0 á 9.000
Autonomia (km)	Até 165
Tempo de recarga	90 minutos
Peso Bruto Total (PBT) - Homologado	12.220



Figura 37 BYD eT7 12.220

Mercedes-Benz, propulsão elétrica – eActros 300 4x2³⁴

³⁴ https://www.mercedes-benz-trucks.com/en_GB/emobility/world/our-offer/eactros-and-services.html

De acordo com a empresa Mercedes-Benz, o eActros está disponível em duas versões com três ou quatro baterias. Cada uma destas baterias especiais de íons de lítio tem uma capacidade de aproximadamente 112 kWh³⁵, resultando numa capacidade total da bateria de cerca de 336 2 e 448 kWh³⁶. Toda essa potência ajuda o eActros a percorrer distâncias de até 330 km³⁷ e 400 km³⁸, embora a autonomia exata possa variar dependendo da geografia da região, método de condução, temperatura externa, carga e carroceria, entre outros fatores. O eActros possui excelente resistência, tornando-o ideal para transporte de distribuição pesada em áreas urbanas.



Figura 38 Mercedes-Benz e-Actros 300 4x2

JAC, propulsão elétrica – JAC E-JT9,5³⁹

De acordo com a empresa JAC, o E-JT 9,5 é uma das opções mais recentes. Classificado no segmento de leves, ele é a alternativa de melhor custo/benefício de todo o segmento,

³⁵ Aproximadamente equivalente ao conteúdo energético de uma bateria nova, incluindo limitações de segurança e desempenho para manter a operação do sistema

³⁶ Capacidade nominal de uma bateria nova, com base em condições gerais definidas internamente. Isso pode variar dependendo da aplicação e das condições ambientais

³⁷ A autonomia foi determinada dentro da empresa em condições ideais com 3 módulos de bateria pré-condicionados para transporte de distribuição parcialmente carregado sem reboque com configuração de eixo 4x2 a uma temperatura exterior de 20°C.

³⁸ A autonomia foi determinada internamente em condições ótimas, nomeadamente: com 4 baterias, após pré-condicionamento, num veículo parcialmente carregado, utilizado em distribuição de raio curto, sem reboque, a uma temperatura exterior de 20 °C.

³⁹ <https://www.jacmotors.com.br/veiculos/eletricos-detalhes/e-jt95?comerciais=1>

pois possui PBT de 9,5 toneladas – 6.170 kg de carga útil- e une a isso as características de um modelo totalmente impulsionado por eletricidade. A aplicação do modelo direciona-se ao transporte urbano de carga. Por ser compacto, de dimensões que o qualificam como VUC, o JAC E-JT 9,5 proporciona agilidade no tráfego pesado. Sua capacidade máxima de bateria de fosfato de ferro-lítio é de 89 kWh. O motor elétrico desenvolve 235 cv de potência, com 1.050 Nm de torque máximo. É um torque fenomenal para um veículo de menos de 10 toneladas, garantindo uma grande agilidade de manuseio no trânsito urbano e uma capacidade inigualável de vencer as subidas mais íngremes, mesmo em condições de PBT.



Figura 39 JAC E-JT9,5

JAC, propulsão elétrica – JAC E-JT12,5⁴⁰

O JAC E-JT 12,5 tem como novidade do veículo a presença do terceiro eixo, que o permite carregar até 8,6 Ton de carga útil. Trucado, compacto, com PBT de 12,5 toneladas ele traz uma economia (segundo a empresa) de R\$ 1,32 no custo por km rodado e, também atende aos princípios de ESG dessas companhias.

De acordo com a empresa, é equipado com bateria de 107 kWh de capacidade máxima de fosfato de ferro-lítio, da CATL (maior fabricante mundial de baterias), o motor elétrico

⁴⁰ https://www.jacmotors.com.br/veiculos/eletricos-detahes/e-jt_125?comerciais=1

desenvolve 235 cv de potência, com 1.050 Nm de torque máximo. É um torque fenomenal para essa aplicação, considerando que o concorrente a diesel mais vendido do mercado desenvolve somente 600 Nm (um pouco mais do que a metade). Na prática, em condições de PBT, o E-JT 12,5 arranca tranquilamente em rampas com até 25% de inclinação – como se estivesse vazio.



Figura 40 JAC E-JT12,5

JAC, propulsão elétrica – JAC E-JV5,5⁴¹

Conforme a empresa, o JAC E-JV 5.5 inicia no mercado brasileiro. Mais do que um furgão destinado a entregas urbanas com propulsão 100% elétrica, o modelo se destaca por oferecer um custo por quilômetro rodado até oito vezes mais barato que as vans de carga similares equipadas com motores a diesel.

O mesmo se destina a entregas urbanas. Possui uma área de carga que acomoda 5,5 metros cúbicos e mais de 1.020 kg de carga útil. Seu motor cem por cento elétrico rende 295 Newton Metro de torque máximo desde o momento em que o carro é ligado, o que impõe

41 <https://www.jacmotors.com.br/veiculos/eletricos-detalhes/e-jv55?comerciais=1>

um excelente desempenho mesmo se estiver com carga total, além de proporcionar agilidade no trânsito urbano.

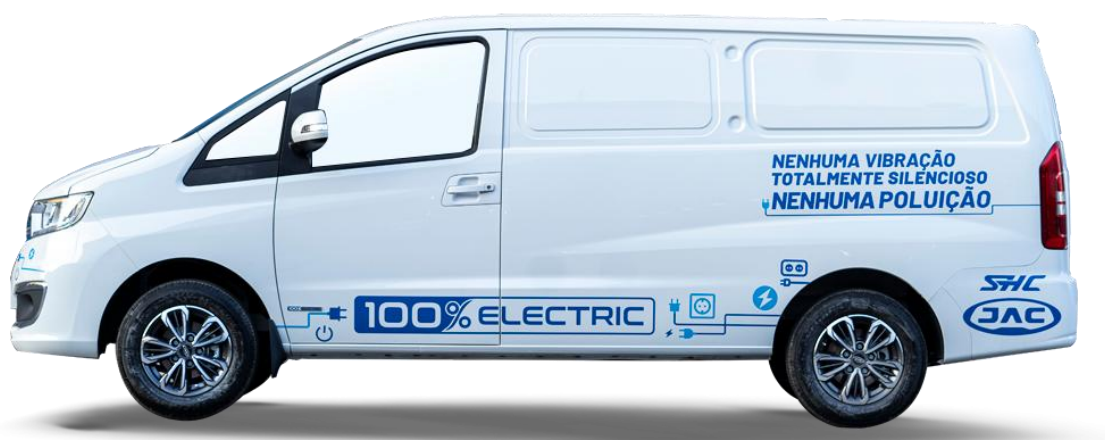


Figura 41 JAC E-JV5,5

JAC, propulsão elétrica – JAC iEV1200T⁴²

De acordo com a empresa, é o único caminhão 100% elétrico urbano abaixo de 12 toneladas de PBT do mercado Brasileiro. Para maior flexibilidade na sua operação O iEV1200T tem 4 versões:

- iEV1200T com PBT de 7,5 Toneladas e capacidade de carga líquida de 4 Toneladas com ou sem tomada externa de 3,5 KWH.
- iEV1200T Plus com PBT de 8,5 toneladas e capacidade de carga líquida de 4,98 toneladas com ou sem tomada externa de 3,5 KWH.

⁴² <https://www.jacmotors.com.br/veiculos/eletricos-detahes/iev1200t?comerciais=1>



Figura 42 JAC iEV1200T

JAC, propulsão elétrica – JAC E-JT18⁴³

E-JT18,0 é o primeiro caminhão semipesado 100% elétrico da JAC Motors no Brasil. Por ser totalmente livre de emissões, o modelo promete atender à demanda exponencial de empresas e frotistas que precisam diminuir a emissão média de poluentes de suas respectivas frotas. Dono de uma proposta objetiva para melhorar a qualidade de vida nos grandes centros urbanos.

⁴³ <https://www.jacmotors.com.br/veiculos/eletricos-detalhes/iev1200t?comerciais=1>



Figura 43 JAC E-JT 18,0

Além dos veículos com propulsão elétrica, foram mapeados alguns modelos movidos a GNV, conforme abaixo:

SCANIA, Movido a GNV – R410 e G410⁴⁴

De acordo com o fabricante, os novos caminhões a gás atingem o equilíbrio perfeito entre baixas emissões, potência e desempenho – o motor a gás de 13 litros com seu potencial máximo para transporte de longa distância, construção e operação urbana e o motor suave e silencioso de 9 litros. Juntos, eles nos permitem oferecer soluções limpas e sob medida para frotas, sem a necessidade de múltiplos tipos de combustível, independentemente de seu tipo de negócio. Além de reduzir as emissões de poluentes, os novos motores a gás reduzem os níveis de ruído e vibração. Os caminhões a gás Scania funcionam com gás metano. Isto significa que tanto o biometano como o gás natural podem ser utilizados paralelamente, o que torna a troca de um para o outro uma transição simples e fácil. Ambos estão disponíveis tanto na forma de gás comprimido como de gás liquefeito. Utilizando GNL (Gás Natural Liquefeito) a autonomia pode chegar a 1.200 km e com GNC (Gás Natural Comprimido) até 500 km.

⁴⁴ <https://www.scania.com/br/pt/home/products/trucks/gas-truck/gas-truck-specifications.html>



Figura 44 SCANIA R410 e G410

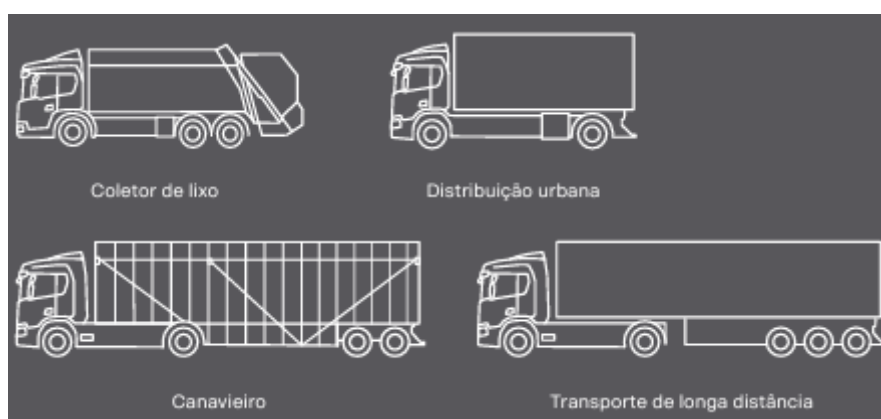


Figura 45 Modelos SCANIA a GNV

IVECO, Movido a GNV – Stralis NP⁴⁵

Conforme o fabricante, o novo STRALIS NP é um veículo a gás concebido para longo curso. Está equipado com um motor de 460 CV, possui a mesma capacidade de carga útil que um camião equivalente a gasóleo e, com uma autonomia até 1.500 km, permite viajar de Madrid a Frankfurt sem reabastecer.

⁴⁵ <https://www.iveco.com/portugal/produtos/pages/novo-stralis-np-camiao-gas.aspx>



Figura 46 Iveco *Stralis* NP - GNV

MERCEDES-BENZ, Movido a Hidrogênio – GenH₂ Truck

De acordo com a CNT (2023), a montadora Daimler Truck, em 2023, com sua marca Mercedes-Benz, finalizou a realização de testes em seu primeiro veículo pesado movido a hidrogênio, chamado de GenH₂ Truck, inspirado no veículo convencional de longa distância Mercedes-Benz Actros. O caminhão semirreboque com células de combustível passou por programas de testes em grandes altitudes, percorrendo vias públicas e atravessando o Passo do Brennero (localizado entre Áustria e Itália), uma das principais rodovias de tráfego mercantil da Europa. Nos testes, ficou comprovado que a única emissão presente durante a trajetória foi vapor d'água. A marca pretende lançar o veículo em 2027, comportando carga útil de 25 toneladas e peso bruto de 40 toneladas. A fabricante indicou que a autonomia do veículo poderá chegar a 1.000 quilômetros. Em seu interior, o protótipo conta com dois tanques de hidrogênio líquido, que somam 80 kg de capacidade, permitindo o transporte por longas distâncias.



Figura 47 Mercedes-Benz GenH₂ Truck - Hidrogênio

VOLVO, Movido a Hidrogênio – Volvo Truck H₂

Conforme a CNT (2023), a Volvo também adicionou em seu portfólio a opção de veículo de emissão zero movido a hidrogênio renovável, com início de testes comerciais previsto para 2025. O caminhão está sendo desenvolvido para operar com autonomia de mais de 1.000 quilômetros e tempo de abastecimento de 15 minutos. O peso bruto total do caminhão será de 65 toneladas, com duas células de combustível que gerarão 300 quilowatts de eletricidade.



Figura 48 Volvo Truck H₂

CUMMINS, Movido a Hidrogênio

Outro modelo de caminhão a H2 foi projetado pela Cummins e apresentado na IAA 2022. O modelo-conceito é de porte médio e tem a característica de possuir motor a combustão interna de hidrogênio (B6.7H | H2-ICE), com peso bruto total na faixa de 10 a 26 toneladas e autonomia de até 500 quilômetros. O projeto foi idealizado de acordo com as características do caminhão Mercedes-Benz Atego 4x2, contando com 290 cavalos-vapor e armazenamento de hidrogênio a 700 bar. Os testes demonstram equivalência de performance ao de um motor a diesel de cilindradas semelhantes, com benefício adicional de um funcionamento silencioso durante a combustão.



Figura 49 Cummins H2

4.1.2 Mercado internacional de comerciais leves e caminhões

Em 2024, foi acessado um inventário de tecnologia com zero emissão, e que havia uma base de dados disponível no *Global Drive to Zero*⁴⁶ e distribuída da seguinte forma:

⁴⁶ <https://globaldrivetozero.org/tools/zeti/>

Tabela 22 Quantidade de modelos por categoria e região

<i>Região / Categoria</i>	Comercial Leve	Semileve	Leve	Médio	Semipesado	Pesado	ND	TOTAL
América do Sul	5	4	1	2	1	0	0	13
China	63	83	6	6	51	0	14	223
EUA e Canadá	5	19	47	51	26	1	30	179
Europa	11	9	9	8	38	1	5	81
Índia	3	0	1	0	3	0	0	7
México	7	5	3	5	4	0	0	24
Oceania	2	2	3	1	5	0	0	13
Total	96	122	70	73	128	2	49	540

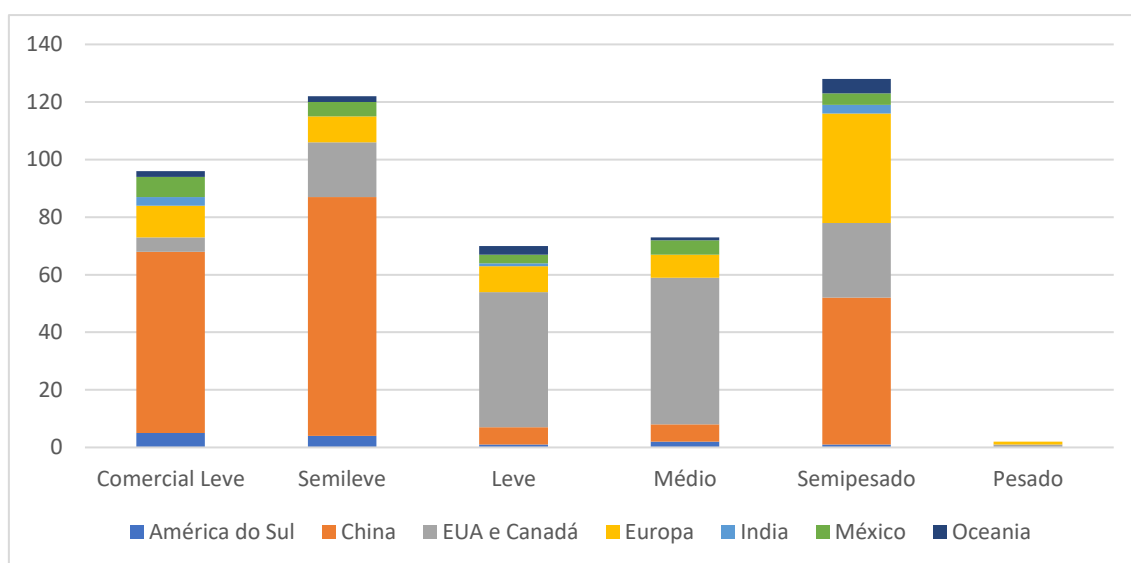


Figura 51 Quantidade de modelos por categoria e região

A Tabela 24 mostra que do total de modelos identificados, 94% são de tecnologia com propulsão elétrica e 6% de tecnologia movida a hidrogênio. China, Estados Unidos e Canadá têm 67% dos modelos movidos a hidrogênio e 75% dos modelos elétricos. A Tabela y mostra que os modelos de categoria semipesado tem a maioria dos modelos movidos a hidrogênio e os semileves são a maioria dos modelos elétricos.

Tabela 23 Quantidade de modelos por tecnologia e região

	Elétrico	Hidrogênio	TOTAL
América do Sul	13	0	13
China	213	10	223
EUA e Canadá	167	12	179
Europa	74	7	81

Índia	6	1	7
México	24	0	24
Oceania	10	3	13
Total	507	33	540

A Figura 52 mostra em formato de mapa a quantidade de modelos por tecnologia e região, de acordo com a Tabela 19 (acima).

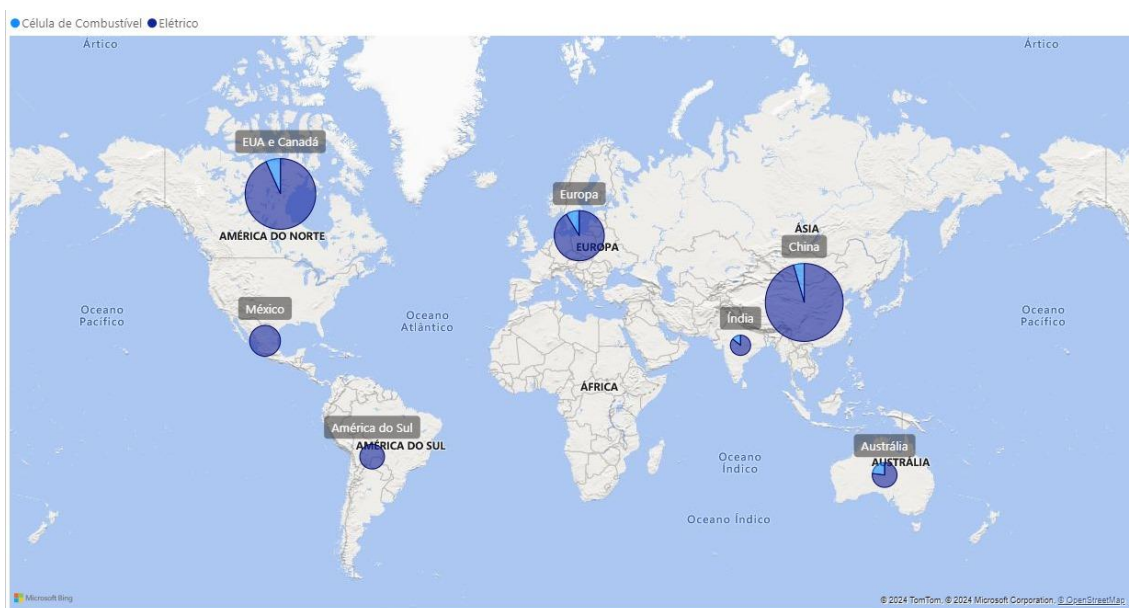


Figura 52 Mapa de quantidade de modelos por tecnologia e região

Fonte: GlobalDrivetozero (2024)

Tabela 24 Quantidade de modelos por tecnologia e categoria

	Elétrico	Hidrogênio	TOTAL
Comercial Leve	96	0	96
Semileve	122	0	122
Leve	67	3	70
Médio	70	3	73
Semipesado	108	20	128
Pesado	1	1	2
ND	43	6	49
Total	507	33	540

Com relação a autonomia dos veículos, a Tabela 26 mostra a autonomia dos modelos por região e categoria dos comerciais leves e caminhões.

Tabela 25 Autonomia em km dos modelos, por região e categoria

Autonomia Média (km)	Comercial Leve	Semileve	Leve	Médio	Semipesado	Pesado	TOTAL
América do Sul	313	233	200	225	NA	NA	262
China	275	331	245	298	285	NA	304
EUA e Canadá	338	294	243	291	357	644	298
Europa	261	217	188	238	347	350	301
Índia	368	NA	100	NA	360	NA	326
México	226	282	209	189	193	NA	222
Oceania	402	303	213	300	437	NA	349
Média	281	309	230	277	329	497	298

De acordo com CALSTART⁴⁷ (2023) a autonomia média dos caminhões elétricos semipesados e pesados é de aproximadamente 253 km. Importante mencionar que a autonomia está ligada ao ciclo de trabalho (principalmente no tipo de relevo e carga transportada). A autonomia do caminhão elétrico aumentou cerca de 11% se comparado no período de 2020 a 2023.

A Tabela 27 mostra a relação de todos os fabricantes dos modelos identificados:

Tabela 26 Relação de fabricantes de Comerciais Leves e Caminhões

Ankai	Guangxi	Renault Trucks
Arrival	Guangxi Auto	Rivian
Battle Motors	Guizhou Astronautics V. Automobile Manufacture	Rizon
Beiben	Hexagon Purus Systems	Ruichi
Blue Arc	Hino	SAIC
Bollinger Motors	Hyundai	SAIC Motor
BrightDrop	Hyzon	Scania
BYD	International	SEA Electric
CAMC	Irizar	Shacman
Canoo	Iveco	Shudu
Cenntro Electric Group	JAC Motors	Sinotruck
CityFreighter	JMC	Siton
DAF/VDL	Kama	Skywell
Dayun	Kenworth	SRM.
Designwerk	King Long	Tata Motors Limited
Dongfeng	Liebherr	Tesla
Eforce	Lightning eMotors	Tewa

47 https://globaldrivetozero.org/site/wp-content/uploads/2023/06/Final_ZETI-Report-June-2023_Final.pdf

E-force	Lion	Toyota
Einride	Mack	Unique Electric Solutions
Endera Motors	MAN	Urban Mobility Systems
Envirotech (EVTV)	Maxus	US Hybrid
Esoro	Maxwell Vehicles	Via Motors
E-Trucks Europe	MegaFlux	Volkswagen
Farizon	Mercedes-Benz	Volta
Faw	Motiv	Volvo
Feichi	New Gonow Group	Wanxiang
Feidi	Nikola	Winnerway
Fiat	Nissan	Workhorse
Ford	Optimal, Inc	XCMG
Foton	Orten	XL Fleet & Curbtender, Inc.
Freightliner	Peterbilt	XOS
Fuso	Phoenix Motorscars	Yuchai
GINAF	PVI	Yutong
Greenpower	Qingling	Zeus Electric Chassis
Guangtong	Quantron	Zhongtong

4.2 Empresas no Brasil usuárias de veículos de baixa ou nula emissão no transporte rodoviário de carga

As informações referentes a frota das empresas ainda são um pouco restritas, pois há certa confidencialidade nos números, provavelmente por estratégia de negócio. No entanto, foi possível levantar algumas empresas que já utilizam veículos com baixa ou nula emissão de poluentes no transporte rodoviário de carga (Abreu, 2023). A Tabela 28 mostra algumas empresas que já possuem em sua frota veículos elétricos, o ano da aquisição, marca e a quantidade.

Tabela 27 Investimentos de empresas privadas na mobilidade elétrica no Brasil

EMPRESAS	ANO	FORNECEDOR	QUANT.
AMBEV	2021	FNM / AGRALE	1.000
AMBEV	2021	VOLKSWAGEN	1.600
Heineken Brasil	2021	JAC	5
Lojas Americanas AS	2021	NI	100
SEARA	2021	NI	1
Comlurb - Companhia Municipal de Limpeza Urbana	2019	NI	NI
Coca Cola FEMSA Brasil	2021	VOLKSWAGEN	20
C&A Brasil	2021	NI	1

L'Oréal Brasil	2019	NI	NI
DHL <i>Supply Chain</i>	2021	BYD	NI
Mercado Livre	2020	NI	70

Fonte: Adaptado, Abreu (2023)

NI = Não Informado

No Brasil, as empresas que utilizam caminhões movidos a hidrogênio no transporte rodoviário de carga ainda são limitadas devido à tecnologia emergente e à infraestrutura necessária. Atualmente, não há informações disponíveis sobre empresas específicas no Brasil que operam regularmente caminhões movidos a hidrogênio no transporte rodoviário de carga. No entanto, algumas empresas estão investindo e testando essa tecnologia para futuras implementações, como a Scania e a Hyundai.

5. PROPOSTA PARA ATINGIR A DESCARBONIZAÇÃO NO TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE CARGA

5.1 Matriz SWOT

Com base na literatura e nas práticas de casos constantes no Guia de excelência em sustentabilidade (IBTS, 2024), conseguimos fazer a análise SWOT para as quatro tecnologias e combustíveis selecionadas que contribuem para a transição energética e tecnológica.

Importante definir “Política Pública”, pois aparecerá na análise SWOT como uma ameaça. As políticas públicas para incentivo ao uso de tecnologias e combustíveis de baixa ou nula emissão de poluentes consistem em medidas e iniciativas governamentais destinadas a promover a transição para alternativas mais sustentáveis no setor de transportes, energia e indústria. Essas políticas buscam reduzir a emissão de gases de efeito estufa (GEE), melhorar a qualidade do ar e contribuir para a mitigação das mudanças climáticas. Abaixo, alguns exemplos de políticas públicas que podem ser consideradas pela Administração Pública:

a) Subsídios e incentivos financeiros:

- Isenção ou redução de impostos: Benefícios fiscais para veículos elétricos, híbridos ou movidos a biocombustíveis.

- Subsídios diretos: Apoio financeiro para a aquisição de veículos com emissão zero de poluentes ou para a produção de biocombustíveis.
- Créditos de carbono: Empresas que utilizam tecnologias de baixa emissão podem obter créditos negociáveis em mercados de carbono.

b) Regulamentações e metas obrigatórias:

- Padrões de emissões: Limites máximos para emissões de CO₂ e outros poluentes em veículos e motores.
- Mandatos de mistura de biocombustíveis: Determinação de porcentagens mínimas de biocombustíveis na composição do combustível fóssil.
- Metas de eletrificação: Objetivos para aumentar a participação de veículos elétricos na frota nacional.

c) Investimentos em infraestrutura:

- Estação de recarga e abastecimento: Expansão de redes de postos de carregamento para veículos elétricos ou de biocombustíveis avançados.
- Infraestrutura urbana: Criação de zonas de baixas emissões nas cidades para favorecer veículos mais limpos.

d) Fomento à pesquisa e desenvolvimento (P&D):

- Financiamento de projetos de inovação tecnológica em combustíveis alternativos, como hidrogênio e biocombustíveis.
- Parcerias público-privadas para desenvolvimento de tecnologias limpas.

e) Programas de conscientização e educação:

- Campanhas para informar a população e as empresas sobre os benefícios ambientais e econômicos das tecnologias de baixa emissão.
- Treinamento e capacitação para profissionais do setor automotivo e energético.

f) Incentivo ao transporte público e mobilidade sustentável:

- Modernização de frotas de transporte público com veículos elétricos ou movidos a biocombustíveis.
- Promoção do uso de bicicletas e soluções de micromobilidade em cidades.

g) Apoio à transição industrial:

- Incentivos para que empresas substituam tecnologias obsoletas e poluentes por soluções de baixa emissão.

Na Figura 53 apresentamos a análise SWOT para os veículos de propulsão elétrica, onde se observa que a tecnologia funciona melhor para viagens de curta distância com cargas volumosas e menor peso. No aspecto da sustentabilidade, um dos pontos fortes é a emissão zero no uso final e a redução de ruído. Em contrapartida, a infraestrutura ainda carece de investimento, principalmente nos pontos de carregamento. E um aspecto que precisa de maior desenvolvimento é a durabilidade e autonomia da bateria.

ELÉTRICO	
FORÇAS	<ul style="list-style-type: none"> • Zero emissão de poluentes; • Eficiência em comparação ao veículos a combustão (diesel); • Redução de ruídos; • Redução em manutenção (custo); • Disponibilidade do ativo; • Redução no custo operacional; • Operação com cargas que tenham volume
FRAQUEZAS	<ul style="list-style-type: none"> • Tempo de carregamento; • Limitação da autonomia em km; • Maior investimento na aquisição; • Dificuldades na manutenção; • Durabilidade das baterias; • Restrição de rotas em função da autonomia; • Limitação do peso transportado; • Poucas empresas para reciclagem da bateria de lítio.
	<ul style="list-style-type: none"> • Desenvolvimento da tecnologia com maior autonomia; • Sinergia com medidas de ESG; • Maior disponibilidade de modelos de maior PBT; • Adaptação da rotina do Centro de Distribuição; • Incentivos governamentais; • Novos negócios com perfil sustentável.
	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de investimento em estrutura de pontos de carregamento elétrico; • Disponibilidade de matriz energética; • Aumento do custo com eletricidade; • Incerteza quanto ao modelo de negócio para o futuro; • Falta de políticas públicas; • Liquidez do veículo usado; • Concorrência de novas tecnologias.
	OPORTUNIDADES
	AMEAÇAS

Figura 53 Análise SWOT – Propulsão Elétrica

Fonte: Elaboração Própria

Na Figura 54 temos a análise SWOT para tecnologia de combustão, utilizando gás natural veicular. A utilização deste tipo de combustível leva à redução das emissões de poluentes se a perda não ultrapassar 10%. Recomenda-se a sua utilização para distâncias médias com volumes volumétricos e não com cargas pesadas. Uma das barreiras que precisa de ser ultrapassada é também a falta de pontos de carregamento, levando à necessidade de expansão da rede de carregamento.

GNV		
FORÇAS	<ul style="list-style-type: none"> • Redução na emissão de poluentes; • Combustível mais econômico se comparado ao diesel; • Eficiência energética, quando no máximo 10% inferior ao diesel; • Infraestrutura mais consolidada, se comparada à elétrica, principalmente nos grandes centros; • Tecnologia desenvolvida para utilização nos caminhões semipesados e pesados, que realizam operações de média distância; 	OPORTUNIDADES
FRAQUEZAS	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidade de armazenamento limitada do tanque, comparado aos combustíveis líquidos, como por exemplo o diesel; • Limitação de infraestrutura em regiões periféricas; • Limitação no carregamento de cargas pesadas. 	AMEAÇAS
	<ul style="list-style-type: none"> • Expansão da rede de abastecimento nas estradas; • Conversão do veículo originalmente movido a diesel para GNV; 	
	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de políticas públicas para o incentivo do uso desse combustível; • Falta de investimento em infraestrutura; • Incerteza quanto ao modelo de negócio para o futuro; • Concorrência de novas tecnologias. 	

Figura 54 Análise SWOT – GNV

Fonte: Elaboração Própria

Para a utilização de biocombustíveis, a análise SWOT da Figura 55, indica que há redução nas emissões de poluentes, redução da dependência de combustíveis fósseis e pode ser utilizado em qualquer tipo e tamanho de caminhão e veículos leves. Oferece grandes oportunidades para diminuir a dependência da importação de petróleo. Um ponto que ainda precisa ser desenvolvido é a distribuição, onde há limitação de oferta.

BIOCOMBUSTÍVEL		
FORÇAS	<ul style="list-style-type: none"> • Redução da emissão de gases de efeito estufa; • Diversificação da matriz energética, reduzindo a dependência de combustíveis fósseis não renováveis; • Compatível com a infraestrutura existente, pois normalmente são misturados ao diesel; • Pode ser utilizado em todos os tamanhos de caminhão e comerciais leves; 	OPORTUNIDADES
FRAQUEZAS	<ul style="list-style-type: none"> • Custo de produção, dependendo da matéria-prima utilizada; • Dependência de fornecedores especializados. 	AMEAÇAS
	<ul style="list-style-type: none"> • Menor dependência de importação do petróleo; • Potencial de inovação tecnológica, utilizando novas fontes de biomassa; 	
	<ul style="list-style-type: none"> • Distribuição e armazenamento, especialmente em regiões onde a oferta é limitada; • Variação no preço dos commodities agrícolas; • Políticas de subsídio não definidas; • Limitação de espaço para cultivo e produção (não se aplica ao Brasil) 	

Figura 55 Análise SWOT – Biocombustível

Fonte: Elaboração Própria

A análise SWOT do hidrogênio, apresentada na Figura 56, indica redução das emissões de poluentes e maior eficiência energética. Por outro lado, este tipo de combustível apresenta um custo elevado quando comparado às tecnologias citadas anteriormente, além de uma alta complexidade para o armazenamento e distribuição.

HIDROGÊNIO	
FORÇAS	<ul style="list-style-type: none"> • Redução/eliminação na emissão de poluentes; • Maior eficiência energética comparada ao diesel; • Tempo de abastecimento / recarga mais rápido comparado ao elétrico a bateria;
FRAQUEZAS	<ul style="list-style-type: none"> • Alto custo do combustível; • Infraestrutura limitada para abastecimento; • Maior custo do veículo, comparado ao diesel; • Complexidade no armazenamento e distribuição;
	<ul style="list-style-type: none"> • Redução da dependência de combustíveis fósseis; • Desenvolvimento da tecnologia para operações de média e longa distância.
	<ul style="list-style-type: none"> • Desenvolvimento lento da tecnologia; • Produção em baixa escala;
	OPORTUNIDADES
	AMEAÇAS

Figura 56 Análise SWOT – Hidrogênio

Fonte: Elaboração Própria

5.2 Matriz BCG

A matriz BCG foi desenvolvida com base na literatura, casos práticos e banco de dados de instituições ligadas ao transporte rodoviário de carga. Com isso, foi possível identificar como as tecnologias alternativas estão posicionadas no mercado nacional, bem como seu crescimento. Foram estruturadas duas matrizes, sendo a primeira considerando os comerciais leves e a segunda os caminhões. Foram analisados dois cenários para cada uma das duas opções, sendo uma considerando o diesel e outra não considerando o diesel na participação e crescimento de mercado. Essa divisão foi necessária porque o diesel é o combustível de maior participação no mercado, já consolidado há décadas como principal combustível para o transporte rodoviário de carga. Para análise da participação do biocombustível, foi adotado a quantidade de veículos a diesel, pois obrigatoriamente é utilizado o biocombustível no diesel, de acordo com a Lei 11.097/2005, que entrou em vigor no ano de 2008.

Foi considerado para encontrar o percentual de participação de mercado bem como o crescimento do mercado, a quantidade de veículos licenciados ano a ano, nos últimos 5 anos. Foram analisadas as tecnologias de propulsão elétrica a bateria, GNV, hidrogênio e Biocombustível.

Para melhor entendimento das tabelas e dos gráficos, define-se o seguinte:

- % com diesel → Análise da participação do mercado e crescimento de mercado das tecnologias e combustíveis contemplando a utilização do diesel em veículos com motor de combustão interna; e
- % sem diesel → Análise da participação do mercado e crescimento de mercado não contemplando a utilização do diesel.

Segundo a ANFAVEA (2024), a tecnologia de propulsão elétrica teve um crescimento de 7500% se considerados comerciais leves nos últimos 5 anos. Para o mesmo período, os caminhões elétricos tiveram um crescimento de 1207%, conforme mostra a Tabela 29. Esse crescimento no número de licenciamentos das tecnologias é no mercado nacional. De acordo com a Tabela 30, se considerada a propulsão convencional movidas a GNV, não foi identificada para comerciais leves, no entanto, para caminhões, foi considerado um crescimento de 1370% se comparado o ano de 2023 com o ano de 2019. Não foi identificada a comercialização de veículos a hidrogênio no período, portanto não houve crescimento e não houve participação de mercado.

Tabela 28 Crescimento e Participação no mercado (Propulsão elétrica)

ELÉTRICO	2019	2020	2021	2022	2023
Comerciais Leves	14	58	151	517	1.064
% com diesel	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,2%
% sem diesel	0,0%	0,0%	0,1%	0,3%	0,4%
Total Licenciado	403.510	338.877	418.643	383.799	458.830
Caminhões	29	23	293	714	379
% com diesel	0,0%	0,0%	0,2%	0,6%	0,4%
% sem diesel	50,0%	30,3%	74,2%	64,6%	67,4%
Total Licenciado	101.335	89.678	128.679	126.643	108.024

Elaboração Própria

Fonte: ANFAVEA (2024)

Tabela 29 Crescimento e Participação no mercado (GNV)

GNV	2019	2020	2021	2022	2023
Comerciais Leves	0	0	0	0	0
% com diesel	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
% sem diesel	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Total Licenciado	403.510	338.877	418.643	383.799	458.830
Caminhões	10	45	93	356	147
% com diesel	0,0%	0,1%	0,1%	0,3%	0,1%
% sem diesel	17,2%	59,2%	23,5%	32,2%	26,2%
Total Licenciado	101.335	89.678	128.679	126.643	108.024

Elaboração Própria

Fonte: ANFAVEA (2024)

A Tabela 31, mostra que os comerciais leves movidos a diesel tiveram uma queda de 9% no número de veículos licenciados, se comparados os últimos 5 anos. Se considerada a participação de mercado, também tiveram uma queda, tendo 49,1% do mercado em 2019 e de 39,4% no ano de 2023, considerando os veículos licenciados no ano. Essa queda foi motivada principalmente pelo aumento no licenciamento de veículos *flex fuel* (veículos que podem utilizar de forma simultânea gasolina e etanol para alimentar o motor a combustão interna).

Tabela 30 Crescimento e Participação no mercado (Diesel/Biocombustível)

DIESEL	2019	2020	2021	2022	2023
Comerciais Leves	198.289	163.718	204.327	183.227	180.896
% com diesel	49,1%	48,3%	48,8%	47,7%	39,4%
Total Licenciado	403.510	338.877	418.643	383.799	458.830
Caminhões	101.277	89.602	128.284	125.538	107.462
% com diesel	99,9%	99,9%	99,7%	99,1%	99,5%
Total Licenciado	101.335	89.678	128.679	126.643	108.024

Elaboração Própria

Fonte: ANFAVEA (2024)

Com relação a participação do mercado, no ano de 2023 os comerciais leves elétricos representaram 0,2% dos veículos licenciados, no entanto, excluindo os veículos movidos

a diesel, esse percentual aumenta para 0,4% (Figura 57). Quando se trata de caminhões elétricos, partindo para mesma comparação, a participação de mercado é de 0,4% e 67,4% considerando o total com diesel e total sem diesel respectivamente. Os caminhões cresceram 6% no número de licenciamento comparado o ano de 2023 com 2019 (Figura 58). A participação no mercado do diesel, apesar de uma leve queda, se manteve elevada com 99,5% (Figura 59).

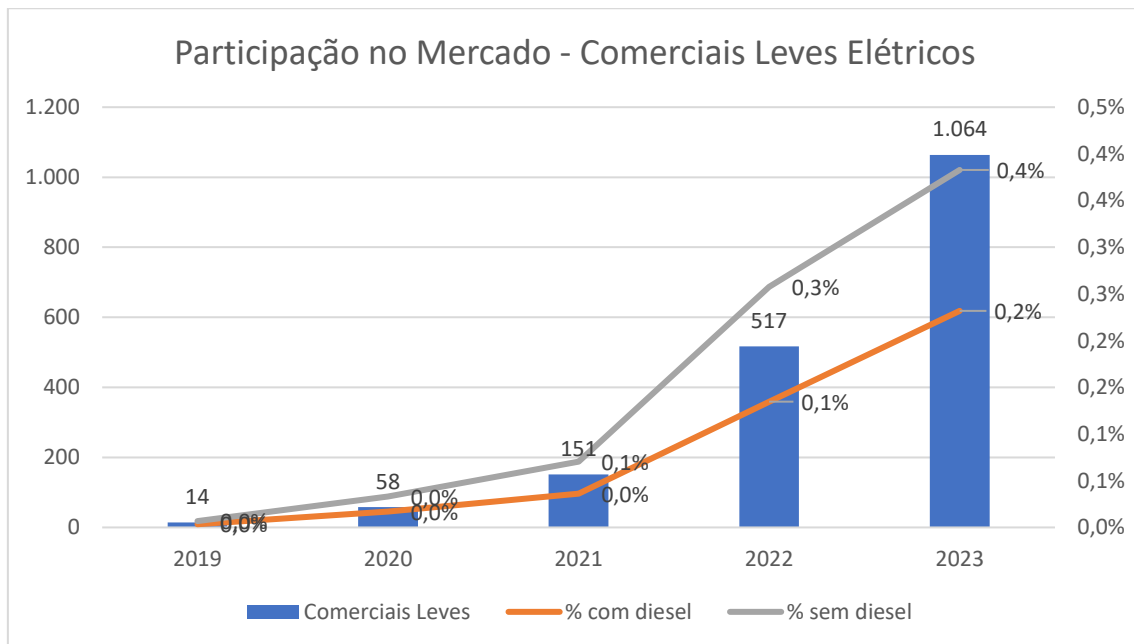


Figura 57 Participação no Mercado – Comerciais leves elétricos

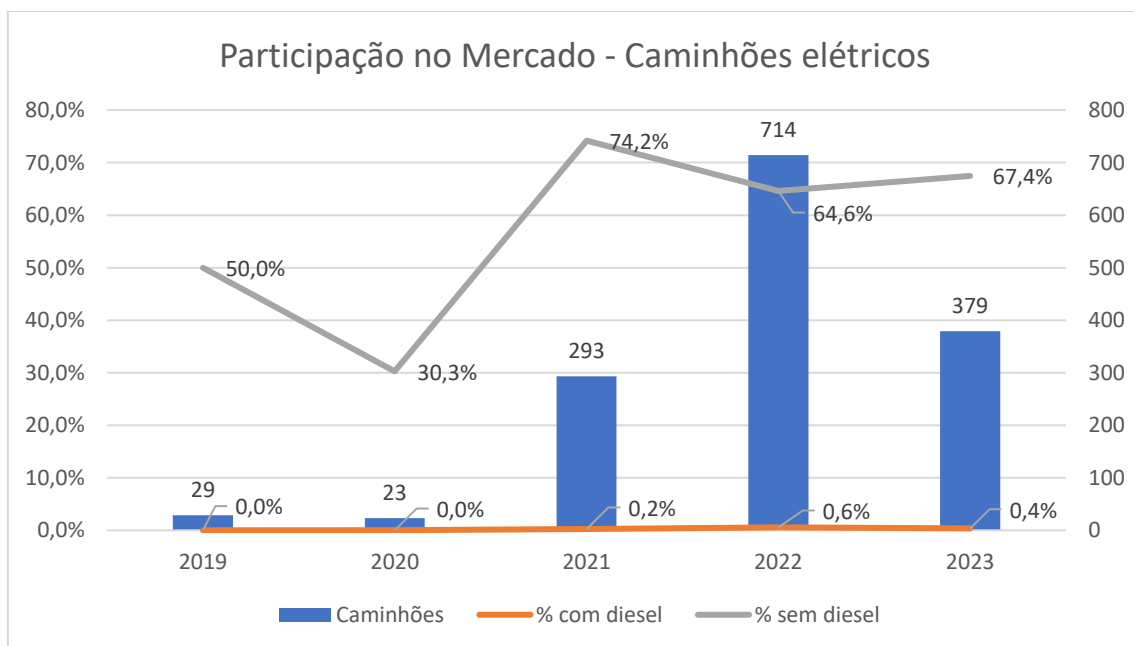


Figura 58 Participação no Mercado – Caminhões elétricos

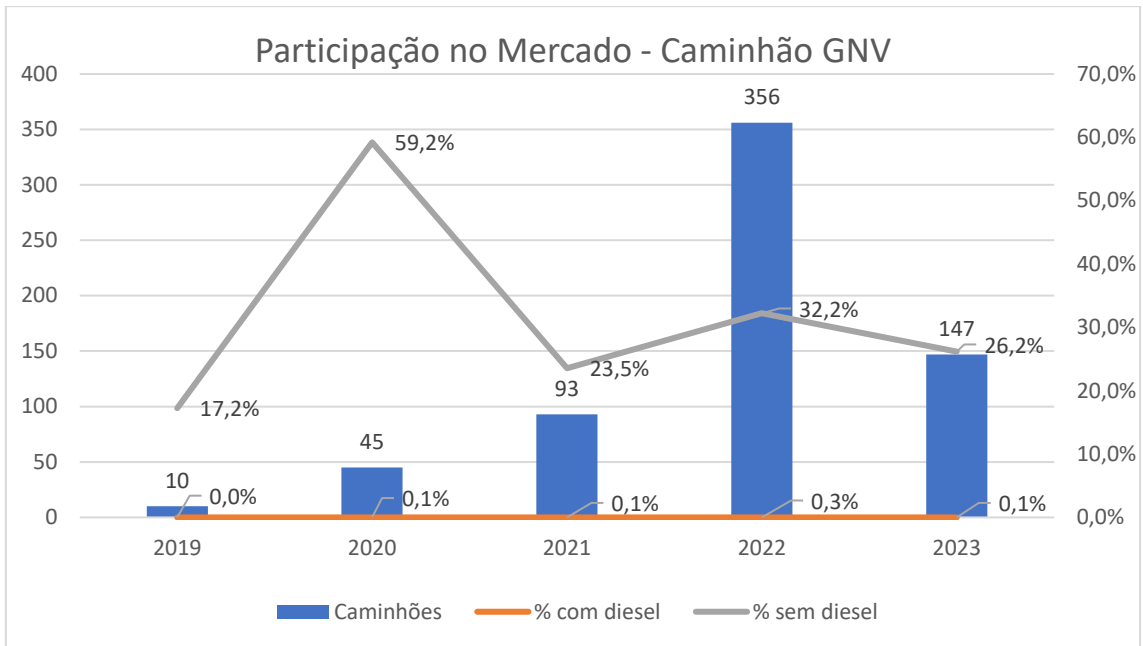


Figura 59 Participação no Mercado – Caminhões GNV

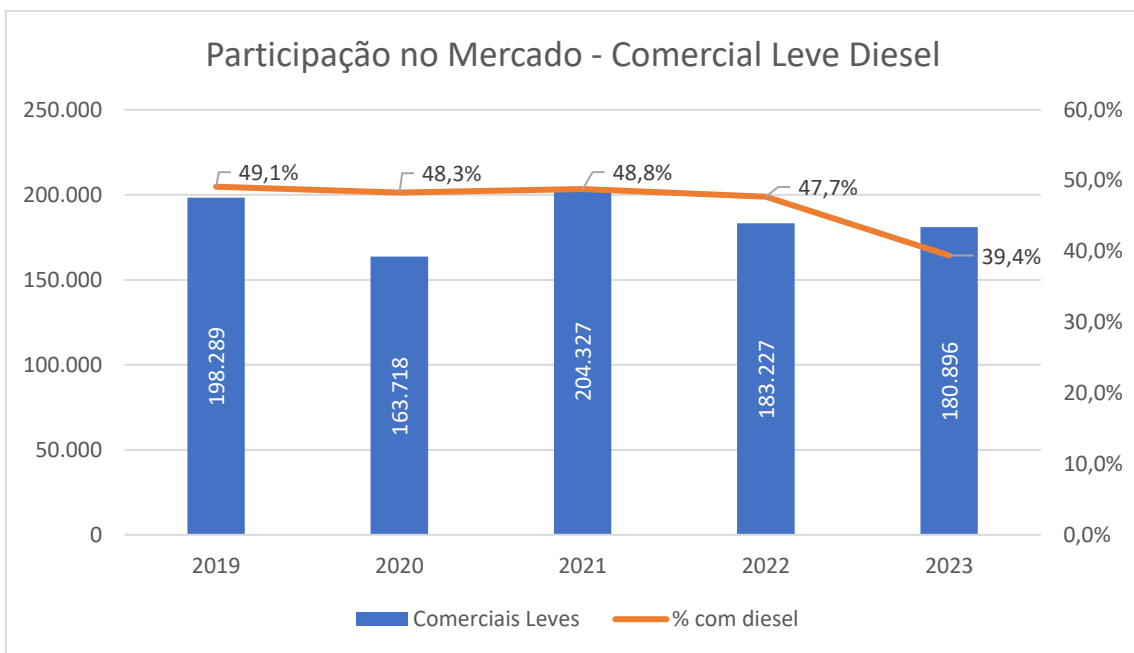


Figura 60 Participação no Mercado – Comerciais leves a diesel

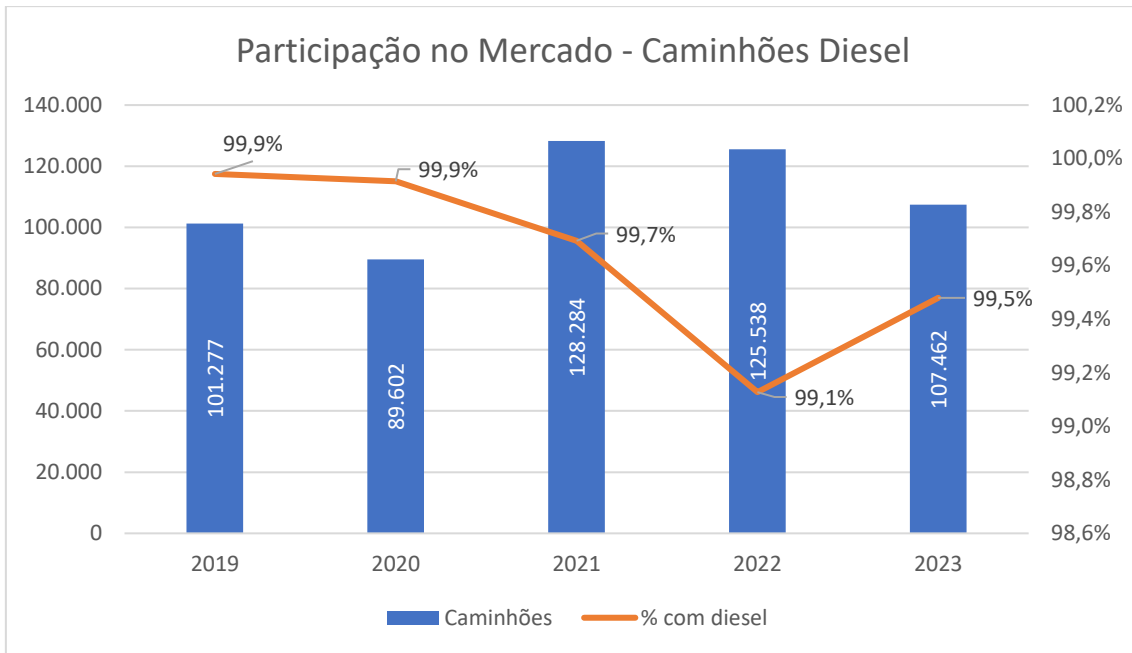


Figura 61 Participação no Mercado – Caminhões a diesel

As Figuras 62, 63 e 64 mostram a participação no mercado por tecnologia no ano de 2023, sendo comercial leve, caminhão com o diesel e caminhão sem o diesel.

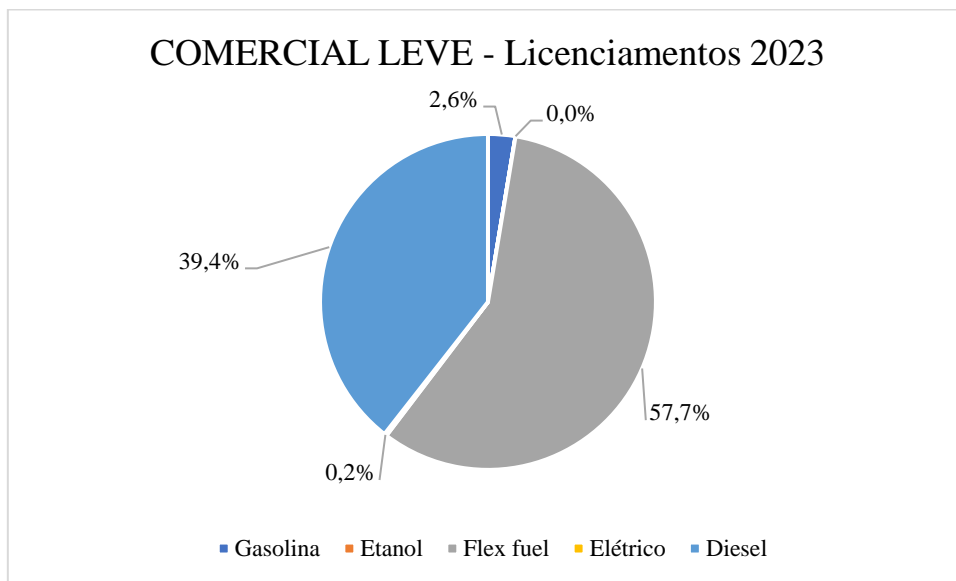


Figura 62 Participação no Mercado (2023) - Comerciais Leves

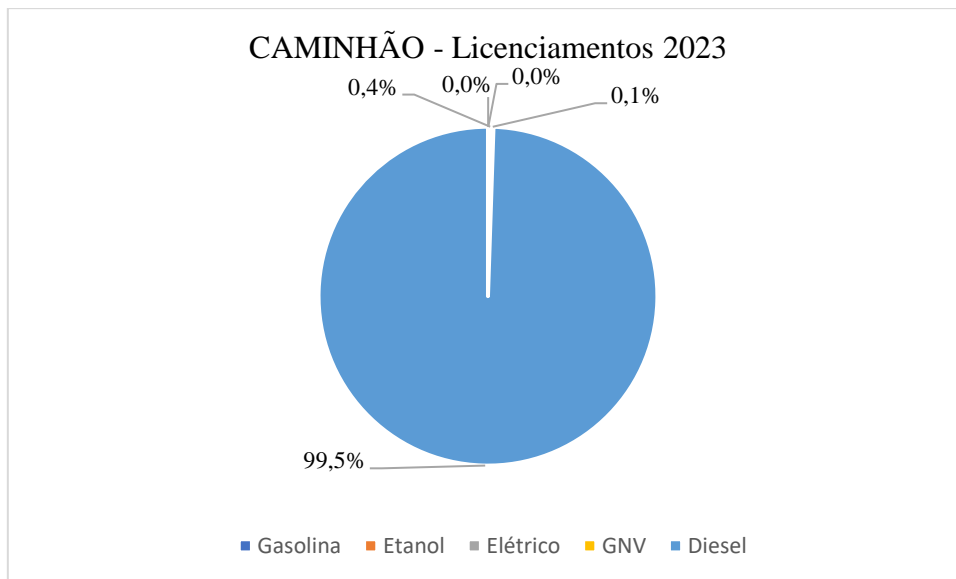


Figura 63 Participação no Mercado (2023) - Caminhão com diesel

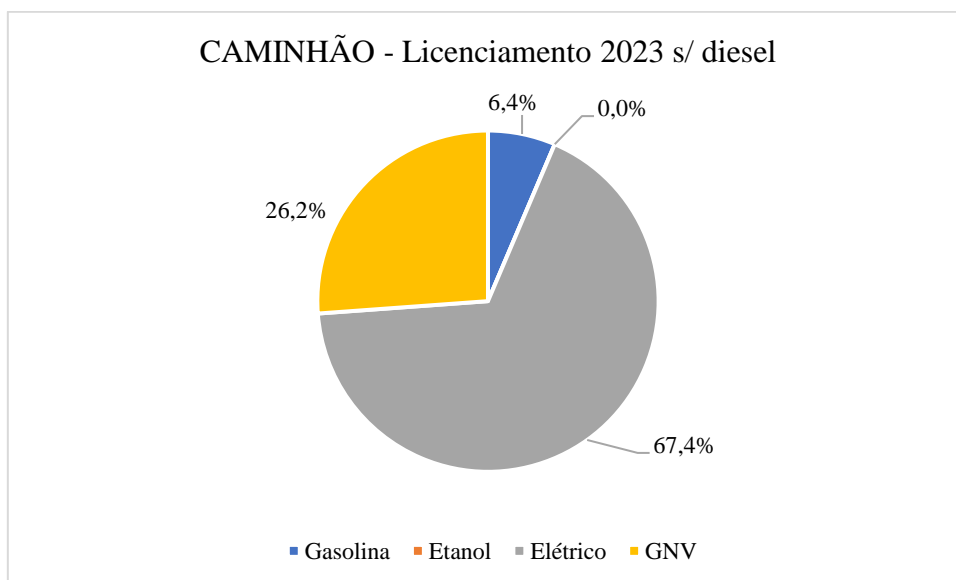


Figura 64 Participação no Mercado (2023) - Caminhão sem diesel

Os gráficos auxiliaram no desenvolvimento das Matrizes BCG, que foram divididas em comerciais leves e caminhões.

A matriz BCG do comercial leve (Figura 65) mostra que a tecnologia de propulsão elétrica vem tendo crescimento no mercado, mas ainda possui baixa participação no mercado, sendo classificado como “ponto de interrogação”. Os veículos movidos a diesel são as “vacas leiteiras”, pelo fato de estarem consolidados no mercado, possuem um baixo crescimento do mercado, mas mantêm alta participação do mercado. Nessa categoria, os veículos *flexfuels* possuem significativa participação no mercado. Não foram

identificados veículos movidos a hidrogênio ou GNV, por isso foram classificados como “abacaxi”, devido à baixa participação e crescimento do mercado.

Comercial Level

MATRIZ BCG		Participação no Mercado	
		Alto	Baixo
Crescimento do Mercado	Alto		<ul style="list-style-type: none"> Propulsão elétrica
	Baixo	<ul style="list-style-type: none"> Diesel 	<ul style="list-style-type: none"> GNV Hidrogênio

Figura 65 Matriz BCG Comercial Level

A Matriz BCG do Caminhão (Figura 66) mostra a propulsão elétrica duas vezes. Isso porque foram considerados dois cenários: um contemplando o diesel na participação no mercado e outro expurgando o diesel, por isso o item “propulsão elétrica (sem diesel)” e “propulsão elétrica” foram classificados como “ponto de interrogação” e “Estrela” respectivamente. A propulsão elétrica se mostrou uma tecnologia inovadora e emergente, com potencial significativo de crescimento. Outro item que entrou na classificação de “ponto de interrogação” foi o GNV, que mostrou significativo crescimento percentual nos últimos anos, mas ainda com baixa participação no mercado. Possivelmente aumentando os investimentos na infraestrutura para abastecimento do GNV, haverá crescimento do mercado e consequente aumento da participação no mercado. A tecnologia que utiliza o hidrogênio foi classificada como abacaxi, pois tem baixo crescimento e participação no mercado, motivado principalmente por questões de custo, falta de infraestrutura para utilização do combustível e aceitação no mercado. O diesel possui uma participação no mercado quase que total, e um baixo crescimento do mercado, por isso foi considerado como “vaca leiteira”.

MATRIZ BCG		Caminhão	
		Participação no Mercado	
		Alto	Baixo
Crescimento do Mercado	Alto	<ul style="list-style-type: none"> Propulsão elétrica (sem diesel) 	<ul style="list-style-type: none"> Propulsão elétrica GNV
	Baixo	<ul style="list-style-type: none"> Diesel 	<ul style="list-style-type: none"> Hidrogênio

Figura 66 Matriz BCG Caminhão

6. CONCLUSÃO

Conclui-se que é necessário maior incentivo governamental, por meio de políticas públicas (regulamentação específica para novas tecnologias e fontes de energia alternativa), investimento em infraestrutura e incentivos fiscais. Mostrou-se claro o potencial do Brasil para desempenhar um papel crucial na transição energética, no entanto, há necessidade de implementar reformas que melhorem o ambiente de negócios destinados ao desenvolvimento sustentável. Também foi destacado o excedente energético do Brasil como uma oportunidade de exportação, especialmente para países vizinhos.

No que tange às alternativas à utilização do diesel para redução na emissão de poluentes, destaca-se: (i) a tecnologia de propulsão elétrica tem como ponto forte a utilização em curtas distâncias levando cargas volumosas, não pesadas. (ii) O GNV para atingir uma maior eficiência na redução de emissões de carbono mais atraente que o diesel, deve ter uma perda não superior a 10%, onde preferencialmente a carga não deve ser pesada. É indicado que seja utilizado em operações de média distância (em média 400km). (iii) Os biocombustíveis podem ser utilizados em qualquer distância, desde a mais curta até em longa distância, no entanto, a relação percentual de mistura com o diesel pode indicar se será vantajoso ou não. (iv) O hidrogênio é uma tecnologia ainda pouco desenvolvida em comparação às demais citadas acima, e tem como dificultador o armazenamento e distribuição. Uma oportunidade para a disseminação deste combustível é o

desenvolvimento de tecnologias para médias e longas distâncias, devido principalmente a sua eficiência energética. A Tabela 32 resume as indicações mencionadas acima.

Tabela 31 Relação das tecnologias / fontes de energia com tipo de operação

TECNOLOGIA / COMBUSTÍVEL	TIPO DE OPERAÇÃO	OBS:
Propulsão Elétrica	Curta distância	Cargas volumosas, não pesadas.
GNV	Média distância	Cargas volumosas, não pesadas.
Biocombustível	Curta, média longa distância	Relação percentual de mistura com o diesel
Hidrogênio	Curta distância	Desenvolver tecnologia para média e longa distância

Fonte: Elaboração Própria

Com relação a crescimento do mercado e participação no mercado, a tecnologia de propulsão elétrica pode ser explorada com maior intensidade, aumentando os investimentos em infraestrutura e aprimoramento da tecnologia, principalmente para longas distância. Dessa forma, é possível ganhar participação no mercado. Da mesma forma que a tecnologia que utiliza o GNV, pode receber mais investimentos na infraestrutura para abastecimento, buscando assim aumentar sua participação no mercado. Quanto a utilização do hidrogênio, atualmente, sugere-se que não seja prioridade, pois é uma tecnologia de difícil manuseio e elevado custo.

Como sugestão para trabalhos futuros, propõe-se um estudo para identificar e qualificar as tecnologias e fontes de energia disponíveis em desenvolvimento e/ou em uso para veículos com zero e baixa emissão não abordadas no estudo desenvolvido, atrelando aos tipos de operação. Outra sugestão, é desenvolver um modelo de negócios baseado no TCO (*Total Cost of Ownership*) – Custo Total de Propriedade de um ativo, voltado para o caminhão elétrico, onde seja possível que as empresas tomem decisões mais assertivas

na aquisição e manutenção de uma frota de veículos, ao considerar na utilização dessa ferramenta, variáveis como o preço de compra do ativo, despesas com combustível e energia, manutenção, seguros, impostos, depreciação, treinamento de motoristas e outros custos operacionais ao longo da sua vida útil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, Victor Hugo Souza de. **Logística urbana [livro eletrônico] : tendências atuais, eletrificação do transporte urbano de carga e impacto da pandemia do COVID-19** / Victor Hugo Souza de Abreu ; organização Marcio de Almeida D'Agosto. -- 1. ed. -- Rio de Janeiro: IBTS, 2023.

ALMEIDA, S. C. A.; NIRENBERG, H.; BENCHIOR, C. R. P. **Adaptações no motor para operar com biogás**. VII Congresso Nacional de Engenharia Mecânica (CONEM), São Luís, Maranhão, 2012.

ANFAVEA – Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. **Anuário da Indústria Automobilística Brasileira 2021**. São Paulo: 2022. Disponível em <<https://www.anfavea.com.br>>. Acesso em: 10 mai. 2022

ANFAVEA – Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. **Anuário da Indústria Automobilística Brasileira 2023**. São Paulo: 2024. Disponível em <<https://www.anfavea.com.br>>. Acesso em: 13 fev. 2024

ANP. (2023). **RESOLUÇÃO ANP Nº 948, DE 5 DE OUTUBRO DE 2023 - DOU DE 09-10-2023**. Disponível em: <https://atosoficiais.com.br/anp/resolucao-n-948-2023-regulamenta-a-autorizacao-para-o-exercicio-da-atividade-de-revenda-varejista-de-combustiveis-automotivos?origin=instituicao>

ANSOFF H. I., KIPLEY D., LEWIS A.O., HELM-STEVENSON R., ANSOFF R., **Competitive posture analysis in turbulent environments, in: Implanting Strategic Management**, Palgrave Macmillan, Cham, 2019, pp. 127e181.

ARORA, S., ABKENAR, A. T., JAYASINGHE, S. G., & TAMMI, K. (2021). **Chapter 1—Heavy-duty Electric Vehicles and Society**. DOI: 10.1016/B978-0-12-818126-3.00002-6

BALLOU, Ronald H. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos / Logística Empresarial**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006

BELLOLI De Vargas, B., COSER, S. ;, DE SOUZA, T. ;, & ANTÔNIO, M. (2016). **Contabilidade Vista & Revista**. In *Contabilidade Vista & Revista* (Vol. 27, Issue 1). <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=197045799005>

BERA, T., INGLET, K. S., & WILKIE, A. C. (2020). **Biofuel: Concepts and Considerations**: SL475/SS688, 9/2020. EDIS, 2020(5).

BRENNAN, J. W. BARDER, T.E. **Battery Electric Vehicles vs. Internal Combustion Engine Vehicles**. Boston, USA: 2018. Disponível em: <<https://www.adlittle.com/en/insights/viewpoints/battery-electric-vehicles-vs-internal-combustion-engine-vehicles>>. Acesso em: 07 de maio de 2022.

BREUER, J. L., SAMSUN, R. C., STOLTEN, D., & PETERS, R. (2021). **How to reduce the greenhouse gas emissions and air pollution caused by light and heavy duty vehicles with battery-electric, fuel cell-electric and catenary trucks**. *Environment International*,

152. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106474>

ÇABUKOGLU, E., GEORGES, G., KÜNG, L., PARESCHI, G., & BOULOUCOS, K. (2019). *Fuel cell electric vehicles: An option to decarbonize heavy-duty transport? Results from a Swiss case-study*. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 70, 35–48. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.03.004>

CANDELO E., **Marketing progress: a never-ending story, in: Marketing Innovations in the Automotive Industry**, Springer, Cham, 2019, pp. 67e78

CHIAVENATO, Idalberto; SAPIRO; Arão. **Planejamento Estratégico: da intenção aos resultados**. 4ª ed. São Paulo: Atlas, 2020.

CNT. (2022) **Eletromobilidade: uma das soluções para alcançar a neutralidade de carbono**. – Brasília.

COOPER, J., HAWKES, A., & BALCOMBE, P. (2019). *Life cycle environmental impacts of natural gas drivetrains used in UK road freighting and impacts to UK emission targets*. *Science of the Total Environment*, 674, 482–493. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.091>

CÓPPOLA, G. **O que é first-mile, middle-mile e last-mile?**. São Paulo: 2021. Disponível em: < <https://rabbot.co/blog/last-mile/>>. Acesso em: 20 de maio de 2022.

CUNANAN C, TRAN M-K, LEE Y, KWOK S, LEUNG V, FOWLER M. **A Review of Heavy-Duty Vehicle Powertrain Technologies: Diesel Engine Vehicles, Battery Electric Vehicles, and Hydrogen Fuel Cell Electric Vehicles**. *Clean Technologies*. 2021; 3(2):474-489. <https://doi.org/10.3390/cleantechnol3020028>

D'AGOSTO, M; MARUJO, L. (2024). **Guia de excelência em sustentabilidade boas [livro eletrônico]: práticas para logística e transporte de carga**. 4. ed. -- Rio de Janeiro: IBTS.

D'AGOSTO, M. A., OLIVEIRA, C. M. (2018.a) **Logística Sustentável: vencendo o desafio contemporâneo da cadeia de suprimentos**. 1ª Ed. Rio de Janeiro: Elsevier.

D'AGOSTO, M. A., OLIVEIRA, C. M. (2018.b) **Programa de Logística Verde Brasil. Manual de Aplicação: Boas Práticas para o Transporte de Carga**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Transporte Sustentável.

D'AGOSTO, M. A. (2015). **Transporte, uso de energia e impactos ambientais: uma abordagem introdutiva**. 1ª Ed. Rio de Janeiro: Elsevier

DE OLIVEIRA, Rosana Cavalcante (2022). **Panorama do hidrogênio no Brasil**, Texto para Discussão, No. 2787, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), Brasília, <https://doi.org/10.38116/td2787>

DESS, G.G.; MCNAMARA, G.; EISNER, A.B. (2019) **Strategic Management: Text and Cases**, 9th ed.; McGraw-Hill Education: New York, NY, USA.

- DIAS, Marco Aurélio P. **Administração de Materiais**. São Paulo: Atlas, 1996
- DOBNI C. B., SAND C., **Strategy shift: integrating strategy and the firm's capability to innovate**, *Bus. Horiz.* 61 (5) (2018) 797e808.
- EMADI, A., WILLIAMSON, S.S.. (2004) **Fuel Cell Vehicles: Opportunities and Challenges**, *IEEE Power Engineering Society General Meeting*, 2004. IEEE.
- EERE. Energy Efficiency & Renewable Energy. (2022). **Hydrogen Delivery**. Disponível em: <<https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-delivery>>. Acesso em: 17 dez. 2023
- EPA. (2023). **Hydrogen in Transportation**. Disponível em: <<https://www.epa.gov/greenvehicles/hydrogen-transportation>>. Acesso em: 25 set. 2023
- EPE. (2023) **Estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia 2032 - Demanda energética do setor de Transportes**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-689/topico-640/Caderno%20de%20Demanda%20de%20Transportes_PDE%202032.pdf> Acesso em: 09 jan. 2024
- EPE, 2021a. **Transporte Rodoviário de Cargas, benchmarking internacional**. Disponível em: <[https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-626/IEA-EPE_Brazilian_Road_Freight_Transport_Benchmarking-2021.09.09%20\[PT\].pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-626/IEA-EPE_Brazilian_Road_Freight_Transport_Benchmarking-2021.09.09%20[PT].pdf)>. Acesso em: 23 fev. 2024
- FERNANDES, I. G. M.; H. M. FIGUEIREDO; H. L. da C. JUNIOR; S. G. SANCHES e A. Brasil (2013) **Planejamento estratégico: análise SWOT**. Disponível em: <<http://www.aems.edu.br/conexao/edicaoanterior/sumario/2013/downloads/2013/3/88.pdf>>. Acesso em: 20 mar. 2024.
- GINER, B. and LUQUE-VÍLCHEZ, M. (2022), "A commentary on the “new” institutional actors in sustainability reporting standard-setting: a European perspective", *Sustainability Accounting, Management and Policy Journal*, Vol. 13 No. 6, pp. 1284-1309. <https://doi.org/10.1108/SAMPJ-06-2021-0222>
- Global Commercial Vehicle Drive to Zero. (2024). **Zero-Emission Technology Inventory (Zeti)**. Disponível em: <<https://globaldrivetozero.org/tools/zeti/>>. Acesso em: 06 mar. 2024.
- GODET, M. (1993) **Manual for prospective Strategic**. Lisboa: Publications Don Quixote.
- HAASZ, T., VILCHEZ J.J.G., KUNZE, R., DEANE, P., FRABOULET, D., FAHL, U., Mulholland, E. (2018). **Perspectives on decarbonizing the transport sector in the EU-28**. *Energy Strategy Reviews*. . <https://doi.org/10.1016/j.esr.2017.12.007>
- IBTS. (2024). **Guia de excelência em sustentabilidade boas [livro eletrônico]: práticas para logística e transporte de carga / organizadores Márcio de Almeida**

D'Agosto, Lino Guimarães Marujo. -- 4. ed. -- Rio de Janeiro.

IEA, **Trucks and Buses**: Paris (2021) Disponível em: <https://www.iea.org/reports/trucks-and-buses>. Acesso em 24 abr. 2022.

IEA, 2021c. **Renewable Energy Market Update** <<https://www.iea.org/reports/renewable-energy-market-update-2021/transport-biofuels>> Acesso em: 4 abr. 2024

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **The future of hydrogen**. Paris: IEA, 2019. Disponível em: <<https://bit.ly/3OMZx0M>>. Acesso em: 25 out. 2023

ILOS. **Matriz de Transportes do Brasil à espera dos investimentos**. Rio de Janeiro, 2020. <<https://www.ilos.com.br/web/matriz-de-transportes-do-brasil-a-espera-dos-investimentos/>> Acesso em: 26 de abril de 2022

ITF - *International Transport Forum*: (2018) **Towards Road Freight Decarbonisation Trends Measures and Policies**, ITF Policy Papers, OECD Publishing, Paris.

KIJEWSKA, K., OLIVEIRA, L. K. de, SANTOS, O. R. dos, Bertoncini, B. V., Iwan, S., & Eidhammer, O. (2021). **Proposing a tool for assessing the level of maturity for the engagement of urban freight transport stakeholders: A comparison between Brazil, Norway, and Poland**. *Sustainable Cities and Society*, 72. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103047>

KLUSCHKE, P., GNANN, T., PLÖTZ, P., & WIETSCHER, M. (2019). **Market diffusion of alternative fuels and powertrains in heavy-duty vehicles: A literature review**. In *Energy Reports* (Vol. 5, pp. 1010–1024). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2019.07.017>

KNOWLEDGE C. **Inbound Logistics: Definition, Examples and Process**, 2023. Disponível em: <<https://www.inboundlogistics.com/articles/what-is-inbound-logistics/>>. Acesso em: 22 nov. 2023

KONTU A., KANTOLA J., VANHARANTA H., KONTU K., **Sustainable competitive advantages in the industrial service business**, in: International Conference on Intelligent Human Systems Integration, Springer, Cham, 2019, February, pp. 600e606.

KUMAR, N., SONTALIA, A., PALI, H.S., SIDHARTH, (2020) **Next-Generation Biofuels— Opportunities and Challenges**. *Green Energy and Technology*, pp. 171191. DOI: 10.1007/978-981-13-9012-8_8

LANDETA, J. . **El Delphi method**. Barcelona: Ariel, 1999

LEMO, M. L. F. (2008). **Um roteiro para análise da concorrência e da estratégia competitiva**. *Revista do BNDES*: Rio de Janeiro. V. 14 N. 29 P. 235-276

LIIMATAINEN, H., VAN Vliet, O., & APLYN, D. (2019). **The potential of electric trucks – An international commodity-level analysis**. *Applied Energy*, 236, 804–814. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.12.017>

LOPES, L.S., et al. (2020) **O contexto do hidrogênio no setor rodoviário brasileiro: uma revisão da literatura** *The hydrogen context in the Brazilian road sector: a literature review*. Capítulo XVI. Anais do EVEx 2020 - Energy Virtual Experience [livro eletrônico] / Energy Virtual Experience, 23-27 novembro 2020; coordenador Caio César Torres Cavalcanti - Lisboa: EVEx, 2021. 326 p.

LUECKE, Richard. **Estratégia – Harvard Business Essentials**. 3ed. Rio de Janeiro: Record, 2009

MÅNSSON, A., SANCHES-PEREIRA, A., & HERMANN, S. (2014). **Biofuels for road transport: Analysing evolving supply chains in Sweden from an energy security perspective**. *Applied Energy*, 123, 349–357. doi:10.1016/j.apenergy.2014.01.098

MECALUX. **A Gestão da Last Mile ou Última Milha logística começa no armazém. Brasil: 2020**. Disponível em: < <https://www.mecalux.com.br/blog/last-mile-logistica> >. Acesso em: 03 jun. 2022.

MENCHIK, Carlos Roberto. / **Gestão Estratégica de Transportes e Distribuição**. / Carlos Roberto Menchik. — Curitiba: IESDE Brasil S.A., 2010. 352 p.

MENDES, A. P. de A. M., et al. BNDES. (2021) **Gás para o desenvolvimento. Perspectivas de oferta e demanda no mercado de gás natural do Brasil**. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/20581/1/Relatorio_Gas_Desenvolvimento%20Final.pdf>. Acesso em 27 mar. 2024

MURTA, A. L. S. e FREITAS, M. A. V. (2018). **CO2 Emissions Avoided Through the use of Biodiesel in the Brazilian Road System**. *International Journal of Energy Economics and Policy*.

NACFE (*North America Council For Freight Efficiency*). **Electric Trucks: Where They Make Sense**. USA: 2021. Disponível em: < <https://nacfe.org/emerging-technology/electric-trucks/>>. Acesso em: 09 mai. 2022.

NAKAGAWA, M. **Ferramenta: Matriz BCG (Clássico)**. 2021. Disponível em: <https://sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/Anexos/ME_Matriz-BCG.PDF>. Acesso em: 24 mar. 2024.

OLIVEIRA, C. M. de, BANDEIRA, R. A. de M., GOES, G. V., SCHMITZ, D. N., & D'AGOSTO, M. D. A. (2018). **Alternativas sustentáveis para veículos utilizados na última milha do transporte urbano de carga: uma revisão bibliográfica sistemática**. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, 7(1), 181. <https://doi.org/10.19177/rgsa.v7e12018181-205>

OLSSON, J., HELLSTRÖM, D., & PÅLSSON, H. (2019). **Framework of last mile logistics research: A systematic review of the literature**. *Sustainability (Switzerland)*, 11(24), 1–25. <https://doi.org/10.3390/su11247131>

OMS. (2021). **Diretrizes globais de qualidade do ar da OMS: partículas inaláveis**

(MP_{2,5} e MP₁₀), ozônio, dióxido de nitrogênio, dióxido de enxofre e monóxido de carbono. Resumo executivo. Washington, D.C.: Organização Pan-Americana da Saúde. Licença: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. <https://doi.org/10.37774/9789275724613>.

OSML. Observatório de Sustentabilidade em Mobilidade e Logística. **Assimilando a mobilidade e a logística nacional a partir de dados de atividade, energia e emissões.** Disponível em: <<https://osml.eco.br/sistemas-de-propulsao/>>. Acesso em: 01 nov. 2023

PANOUSO, C., GERMER, S., KARKA, P., PAPADOKOSTANTAKIS, S., KROYAN, Y., WOJCIESZYK, M., MANIATIS, K., MARCHAND, P., & LANDALV, I. (2021). *Advanced biofuels to decarbonise European transport by 2030: Markets, challenges, and policies that impact their successful market uptake.* *Energy Strategy Reviews*, 34. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2021.100633>

PEREIRA, M. F. (2016) **Administração estratégica.** Florianópolis: Departamento de Ciências da Administração / UFSC; Brasília: CAPES: UAB, 2016. 168p.

PIGOZZO, L. (2021) **Transporte e Distribuição: operação e gerenciamento.** 2ª Ed. São Paulo: Érica.

PLVB - Programa de Logística Verde Brasil (2024). **Informativo Técnico 02/2024 - Uso de H2 em transporte.** Disponível em <<https://plvb.org.br/wp-content/uploads/2024/06/Informativo-Tecnico-002.pdf>>. Acesso em 26 jun. 2024.

Ranieri, L.; Digiesi, S.; Silvestri, B.; Roccotelli, M. (2018). **A Review of Last Mile Logistics Innovations in an Externalities Cost Reduction Vision.** *Sustainability*, 10, 782. <https://doi.org/10.3390/su10030782>

REDE BRASIL DO PACTO GLOBAL (2022). **Transporte Comercial Net Zero 2050: Caminhos para descarbonização do modal rodoviário no Brasil.** São Paulo

SATO, S., JIANG, Y. J., RUSSELL, R. L., MILLER, J. W., KARAVALAKIS, G., DURBIN, T. D., & JOHNSON, K. C. (2022). *Experimental driving performance evaluation of battery-powered medium and heavy duty all-electric vehicles.* *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 141. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2022.108100>

SILVA, A. A.; N. S. SILVA; V. A. BARBOSA; M. R. HENRIQUE e J. A. BAPTISTA (2011) **A Utilização da Matriz Swot como Ferramenta Estratégica.** Disponível em: <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/63505349/swot20200602-72500-2s0s5q-with-cover-page-v2.pdf> Acesso em: 20 mar. 2024.

SIVAK, M., & SCHOETTLE, B. (2018). *Relative costs of driving electric and gasoline vehicles in the individual U.S. States sustainable worldwide transportation.* Disponível em: <<http://www.umich.edu/~umtriswt>>. Acesso em: 29 out. 2022

TEOH, T. (2022). **Electric vehicle charging strategies for Urban freight transport: concept and typology.** *Transport Reviews*, 42(2), 157-180. DOI: 10.1080/01441647.2021.1950233

TIWAPAT, N.; POMSING, C.; JOMTHONG, P. (2018) **Last mile Delivery: Modes, Efficiencies, Sustainability, and Trends**. International Conference on Intellingent Transportation Engineering. Singapura. DOI: [10.1109/ICITE.2018.8492585](https://doi.org/10.1109/ICITE.2018.8492585)

U.S. DEPARTAMENT ENERGY. *Alternative Fuel Data Center*. USA: 2019. Disponível em: < https://afdc.energy.gov/fuels/emerging_dme.html>. Acesso em: 03 mai. 2022.

VALOIS, N. A. L. - **Requisitos para o modelo de operação ae cabotagem de cargas containerizadas no Brasil: a utilização de terminais rápidos**. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2014

VIEIRA, Y. E. M., FRANCISCO, F. D. R., BANDEIRA, R. A. D. M., SILVA, O. S. Da, D'Agosto, M. D. A., & Vieira, J. G. V. (2021). **Government measures for urban freight transport: Perceptions on Brazilian scenario**. *Urbe*, 13. <https://doi.org/10.1590/2175-3369.012.E20200034>

VIEIRA, T. A. M. VIEIRA & LEITE J. C., (2019). **Inbound Logistics: A Case Study**. *Business Management Dynamics*; London Vol. 8, Iss. 12, Pages: 13-21.

WANG, Y., CHEN, K. S., MISHLER, J., CHO, S. C., & ADROHER, X. C. (2011). **A review of polymer electrolyte membrane fuel cells: Technology, applications, and needs on fundamental research**. In *Applied Energy* (Vol. 88, Issue 4, pp. 981–1007). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.09.030>

WANG. Y., **A review of polymer electrolyte membrane fuel cells: technology, applications, and needs on fundamental research**, *Appl. Energy* 88 (4) (2011)

ANEXO I – QUESTIONÁRIO APLICADO NAS ENTREVISTAS COM EMPRESAS QUE JÁ ADOTAM NA FROTA, VEÍCULOS PARA O TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE CARGA COM BAIXA OU NULA EMISSÃO, OU FAZEM USO DE COMBUSTÍVEIS ALTERNATIVOS

Este questionário servirá de apoio para elaboração da Dissertação do aluno Anderson Costa Reis, no Programa de Engenharia de Transportes (PET), do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia (COPPE), da Universidade Federal do Rio de Janeiro. As informações solicitadas serão utilizadas somente para fins de pesquisa e não haverá identificação dos respondentes.

1. E-mail

PARTE 1 – INFORMAÇÕES SOBRE A EMPRESA

2. Tempo de mercado, segmento, serviços oferecidos, local / região de atuação etc.
3. Nome da Empresa
4. Segmento de atuação
5. Nome / Cargo (do respondente)
6. Número de funcionários
7. Faturamento Bruto
8. Qual tipo de carga transportada?

Marque todas que se aplicam.

- Carga geral - Carga geral de baixo valor agragado
- Carga geral - Carga geral de alto valor agragado
- Carga geral - Atacadistas
- Cargas sólidas a granel - Minério de ferro
- Cargas sólidas a granel - Minerais metálicos
- Cargas sólidas a granel - Minerais não metálicos
- Cargas sólidas a granel - Cana-de-açúcar
- Cargas sólidas a granel - Soja, milho e açúcar
- Cargas sólidas a granel - Outros produtos da lavoura
- Cargas perigosas
- Cargas especiais não perigosas - Frigoríficos
- Cargas especiais não perigosas - Líquidos
- Cargas de grande porte
- Outro: _____

9. Quanto o transporte representa em custos percentuais na cadeia logística da empresa?

até 25%

26% a 50%

51% a 75%

76% a 100%

PARTE 2 – CARACTERÍSTICAS DA FROTA E OPERAÇÃO

10. A empresa possui frota própria? Se sim, qual a quantidade de veículos por categoria, considerando:

Classificação por categoria

- Comercial leve = PBT < 3,5 t.

- Semileve = PBT ≥ 3,5 t. < 6 t.

- Leve = PBT ≥ 6 T. < 10 t.

- Médio = PBT ≥ 10 t. < 15 t.

- Semipesado (caminhão chassi) = PBT ≥ 15 t. e CMT ≤ 45 t.

- Semipesado (caminhão trator) = PBT ≥ 15 t. e PBTC > 40 t.

- Pesado (caminhão chassi) = PBT ≥ 15 t. e CMT > 45 t.

- Pesado (caminhão trator) = PBT ≥ 15 t. e PBTC ≥ 40 t.

PBT = Peso Bruto Total

PBTC = Peso Bruto Total Combinado

CMT = Capacidade Máxima de Tração

11. Quantidade de veículos próprios por categoria:

Marque todas que se aplicam.

	1 a 5	6 a 10	10 a 20	20 a 30	30 a 40	40 a 50	acima de 50	Não aplicável
Comercial Leve	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Semileve	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Leve	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Médio	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sempesado	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Pesado	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

12. Quantidade de veículos terceiros por categoria:

Marque todas que se aplicam.

	1 a 5	6 a 10	10 a 20	20 a 30	30 a 40	40 a 50	acima de 50	Não aplicável
Comercial	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Leve	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Semileve	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Leve	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Médio	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sempesado	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Pesado	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

13. A empresa possui algum programa associado à boas práticas na gestão sustentável, para descarbonização do setor de transportes? Se sim, qual(is)?

Marque todas que se aplicam.

- Implantação de centros de consolidação de carga em área urbana
- Implantação de centros de distribuição de carga próximos à fábrica
- Implantação de equipamento auxiliar de geração de energia para redução de consumo de combustível fóssil
- Implantação de equipamento de controle das emissões dos veículos
- Otimização da ocupação do veículo
- Otimização das rotas
- Realização de transferência do transporte de carga para modos mais limpos (transferência modal)
- Redução do peso dos veículos
- Renovação e modernização da frota
- Utilização de aditivos para melhorar a eficiência energética dos combustíveis
- Utilização de diferentes tipos de veículos para realização de entregas e coletas
- Utilização de fontes de energia mais limpas
- Utilização de sistemas de propulsão alternativos
- Utilização de veículos com maior eficiência energética
- Outro: _____

14. Quais tecnologias ou combustíveis alternativos estão disponíveis na frota?

Marque todas que se aplicam.

- Diesel
- Flex fuel com gasolina
- Flex fuel com etanol
- Flex fuel adaptado para GNV
- Híbrido elétrico
- Elétrico a bateria
- Hidrogênio
- Outro

15. Caso possua veículos com tecnologias alternativas, a empresa identificou melhoria na eficiência operacional comparada a veículos a combustão que usam diesel como combustível?
16. Caso possua veículos com tecnologias alternativas, houve variação de custos?
17. Quais os principais desafios de infraestrutura que a empresa encontrou para adotar os veículos com tecnologias de baixa ou nula emissão?
18. Qual critério de decisão para definir o tipo de veículos que fará o transporte?

Marque todas que se aplicam.

- Valor do investimento
- Custo operacional
- Sustentabilidade
- Obrigação contratual
- Outros

19. Qual distância média percorrida por dia por veículo?

Marcar apenas uma oval por linha.

	até 100km	de 101km a 200km	de 201km a 300km	de 301km a 400km	de 401km a 500km	Acima de 500km	Não aplicável
Comercial leve	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Caminhão semileve	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Caminhão leve	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Caminhão Médio	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Caminhão Semipesado	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Caminhão Pesado	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

20. A empresa pretende realizar novos investimentos em novas tecnologias? Se positivo, quais?
21. A empresa recebe algum incentivo do governo para renovação da frota?

22. Caso a resposta anterior seja negativa, a empresa poderia aumentar a frota de veículos com baixa ou nula emissão caso recebesse algum tipo de incentivo, como por exemplo incentivo fiscal?

Obrigado pela contribuição!