

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

TAÍS SOARES DE CARVALHO

**ESTRATÉGIAS PARA A DESCARBONIZAÇÃO NA CADEIA LOGÍSTICA
RODOVIÁRIA DE TRANSPORTES DE CARGAS PESADAS NO BRASIL**

PONTA GROSSA

2023

TAÍS SOARES DE CARVALHO

**ESTRATÉGIAS PARA A DESCARBONIZAÇÃO NA CADEIA LOGÍSTICA
RODOVIÁRIA DE TRANSPORTES DE CARGAS PESADAS NO BRASIL**

**STRATEGIES FOR DECARBONIZATION IN THE ROAD LOGISTICS CHAIN OF
HEAVY LOAD TRANSPORTATION IN BRAZIL**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestra em Engenharia de Produção, Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Câmpus Ponta Grossa.
Orientador: Prof. Dr. Cassiano Moro Piekarski
Coorientador: Prof. Dr. Antonio Carlos de Francisco

PONTA GROSSA

2023



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

TAIS SOARES DE CARVALHO

**ESTRATÉGIAS PARA A DESCARBONIZAÇÃO NA CADEIA LOGÍSTICA
RODOVIÁRIA DE TRANSPORTES DE CARGAS PESADAS NO BRASIL**

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestra Em Engenharia De Produção da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Gestão Industrial.

Data de aprovação: 28 de Junho de 2023

Dr. Cassiano Moro Piekarski, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Antonio Carlos De Francisco, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Fabio Neves Puglieri, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Marcio De Almeida Dagosto, Doutorado - Universidade Federal do Rio de Janeiro (Ufrj)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pela oportunidade de desenvolver o mestrado, pela iluminação proporcionada e pela resiliência e determinação em toda a jornada acadêmica.

Gostaria de expressar meu agradecimento especial ao meu orientador, o Professor Dr. Cassiano Moro Piekarski, principalmente pela paciência, pelos ensinamentos, orientações e pela disponibilidade que possibilitaram a conclusão deste trabalho. Agradeço também ao meu coorientador, o Professor Dr. Antonio Carlos de Francisco, e aos demais professores do Laboratório de Estudos em Sistemas Produtivos Sustentáveis (LESP), por toda a assistência fornecida durante esta jornada.

Aos meus familiares, ao meu noivo, e grandes amigos e colegas, eu gostaria de deixar meus eternos agradecimentos, por todo apoio e carinho, mesmo distantes durante a pandemia, se fizeram presentes e me incentivaram a nunca desistir dos meus sonhos.

Agradeço também às empresas que participaram desta pesquisa, fornecendo as informações necessárias para a conclusão deste estudo. Em especial, ao Programa de Logística Verde Brasil, que contribuiu para a obtenção dos resultados desta pesquisa.

Por fim, agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro na realização do mestrado e desta dissertação, por meio do "Código de Financiamento 001".

RESUMO

A logística está inserida como um processo fundamental na cadeia de suprimentos e é responsável pelo planejamento e controle dos fluxos de mercadorias. Com a expansão contínua do transporte rodoviário, principalmente com veículos de carga pesada dependentes de combustíveis fósseis, observa-se um aumento nas emissões de gases de efeito estufa (GEE). Por isso, metas internas estão sendo estabelecidas para promover a descarbonização, e as empresas sentem a necessidade de adotar estratégias em sua política organizacional com o intuito de reduzir as emissões de gases poluentes e operar de maneira mais eficiente. Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo diagnosticar as estratégias de descarbonização que estão sendo aplicadas na cadeia logística rodoviária de transporte de cargas pesadas no Brasil. Para atingir o objetivo proposto, inicialmente foi realizado um estudo da literatura por meio do método de revisão sistemática *Methodi Ordinatio* e a coleta de informações de organizações e instituições privadas e governamentais. Isso possibilitou a caracterização da cadeia logística rodoviária de transporte de cargas pesadas no Brasil, além da identificação das emissões associadas e das estratégias de descarbonização já existentes globalmente. Em seguida, por meio do envio de um formulário online, as empresas do setor de logística rodoviária brasileira foram caracterizadas e as estratégias de descarbonização que estão sendo aplicadas atualmente foram coletadas. Por fim, foi desenvolvido um mapeamento gráfico com a síntese das estratégias encontradas na literatura, em conjunto com as estratégias aplicadas pelas empresas e potenciais ações a serem adotadas no futuro. Como resultado, algumas estratégias de descarbonização encontradas na literatura coincidiram com as estratégias aplicadas pelas empresas participantes, como por exemplo: a aquisição de veículos mais eficientes em termos de consumo de combustível, realização de manutenção preventiva nos caminhões, renovação de frotas com modelos mais modernos e utilização de sistemas de informações para rastreamento e controle de rotas, entre outros. Além disso, foi possível verificar que as dificuldades das empresas em mensurar, aplicar e relatar as estratégias ocorrem devido a fatores como custos elevados, ausência de resultados econômicos, falta de mão de obra especializada e carência de fornecedores parceiros, entre outros. Para complementar, observou-se que as principais estratégias de descarbonização que as empresas tendem a adotar no futuro são: a aquisição de veículos mais ecoeficientes, capacitação dos profissionais que conduzem as frotas e melhoria na média de consumo de combustível. Com isso, pode-se concluir que foi possível definir os tipos de estratégias de descarbonização aplicadas nas empresas do setor de logística rodoviária brasileira.

Palavras-chave: descarbonização; estratégias; logística rodoviária; caminhão pesado.

ABSTRACT

Logistics is embedded as a fundamental process in the supply chain and is responsible for the planning and control of goods flows. With the continuous expansion of road transportation, especially with heavy-duty vehicles dependent on fossil fuels, an increase in greenhouse gas (GHG) emissions is being observed. Therefore, internal goals are being set to promote decarbonization, and companies feel the need to adopt strategies in their organizational policy with the aim of reducing pollutant gas emissions and operating more efficiently. In this context, this study aims to diagnose decarbonization strategies being implemented in the road logistics chain for heavy-duty transportation in Brazil. To achieve the proposed objective, a literature study was initially conducted using the systematic review method *Methodi Ordinatio*, along with the collection of information from private and governmental organizations and institutions. This enabled the characterization of the road logistics chain for heavy-duty transportation in Brazil, as well as the identification of associated emissions and existing decarbonization strategies globally. Subsequently, through the distribution of an online survey, companies in the Brazilian road logistics sector were characterized, and currently applied decarbonization strategies were collected. Finally, a graphical mapping was developed, synthesizing the strategies found in the literature alongside strategies employed by companies and potential actions to be adopted in the future. As a result, some decarbonization strategies found in the literature aligned with strategies employed by participating companies. For example, the acquisition of more fuel-efficient vehicles, preventive maintenance on trucks, fleet renewal with newer models, and the use of information systems for route tracking and control were common strategies. Additionally, it was evident that companies face difficulties in measuring, implementing, and reporting strategies due to factors such as high costs, absence of economic results, lack of specialized workforce, and a shortage of partner suppliers, among others. Furthermore, it was observed that the primary decarbonization strategies companies are likely to adopt in the future include the acquisition of more eco-efficient vehicles, training for fleet drivers, and improvement in average fuel consumption. As a conclusion, it was possible to define the types of decarbonization strategies applied in companies within the Brazilian road logistics sector.

Keywords: decarbonization; strategies; road logistic; heavy-duty truck

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACV	Análise de Ciclo de Vida
AFV	Combustíveis Alternativos
API	Matrix Application Programming Interface
ASG	Ambiental, social e governança
BET	Veículos elétricos a baterias
BID	Bidding Process
CNT	Confederação Nacional do Transporte
EGR	Recirculação dos Gases de Escape
ETS	Comércio de Emissões de Carbono
ETW	EcoTransIT World
FGVces	Centro de Estudos em Sustentabilidade da Fundação Getúlio Vargas
GEE	Gases do Efeito Estufa
GLEC	Global Logistics Emissions Council
GNC	Gás Natural Comprimido
GNL	Gás Natural Liquefeito
GNV	Gás Natural Veicular
GVRPs	Problemas de Roteamento de Veículos Verdes
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LPI	Desempenho Logístico
NTM	Network for Transport Measures
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
OR	Operation Research
PLVB	Programa de Logística Verde Brasil
PNL	Plano Nacional da Logística
PRPs	Problemas de Roteamento de Poluição
SCR	Redução Catalítica Seletiva
TTW	Tank-to-Wheel
UE	União Europeia
UNFCC	Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas
VRP	Problema de Roteamento de Veículos
WBCSD	World Business Council
WRI	World Resource Institute
WTW	Well-to-Wheels

LISTA DE ACRÔNIMOS

COP 21	Conferência do Clima
EPA	Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos
FCET	Veículo elétrico com célula de combustível
ISO	Organização Internacional de Normalização
ONU	Organizações das Nações Unidas
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
Proconve	Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Estrutura da qualificação.....	18
Figura 2- Fluxograma desenvolvimento do formulário	25
Figura 3 - Emissões de gases do efeito estufa	48
Figura 4 - Conceitos abrangentes da logística.....	49
Figura 5- Cargos dos Representantes da Pesquisa	63
Figura 6- Regiões de atuação	64
Figura 7- Frota e Segmento dos caminhões.....	65
Figura 8 - Empresas que atuam com estratégias de descarbonização	66
Figura 9- Percentual das estratégias de descarbonização aplicadas	67
Figura 10- Fatores que influenciam a aplicação de estratégias	70
Figura 11 – Benefícios adquiridos pelas empresas em um determinado tempo	71
Figura 12- Metodologias aplicadas pelas empresas	73
Figura 13- Tipos de levantamentos de dados pelas empresas.....	74
Figura 14- Indicadores utilizados pelas empresas	75
Figura 15- Empresas que tendem a aplicar estratégias de descarbonização ...	76
Figura 16- Compromissos futuros com a descarbonização	77
Figura 17 - Influenciadores nas estratégias de descarbonização	78
Figura 18- Prazos das estratégias aplicadas.....	79
Figura 19- Desafios para incorporação de estratégias	80
Figura 20- Tendência de publicar relatório	82
Figura 21 - Sinterização das estratégias encontradas	83

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Procedimentos metodológicos	20
Quadro 2 - Quantidades de links compartilhados	24
Quadro 3 - ODS relacionados às estratégias logísticas	30
Quadro 4 - Dentições e definições de cada caminhão	32
Quadro 5 - Caminhões e suas composições	33
Quadro 6 - Classificações e exemplos dos escopos 1, 2 e 3	39
Quadro 7- Sistemas de Limites NTM	44
Quadro 8 - Metas de descarbonização	61

LISTA DE SÍMBOLOS

CO ₂	Dióxido de Carbono
CH ₄	Metano
CO	Monóxido de Carbono
CO ₂ e	Dióxido de Carbono Equivalente
dm ³	Decímetro Cúbico
g	Gramas
HC	Hidrocarbonetos
HFCs	Hidrofluorcarbonos
Kg	Quilogramas
Km	Quilômetros
KWh	Quilowatt-hora
L	Litros
m	Metro
Mg	Miligramas
Min	Minutos
MP	Material Particulado
MtCO ₂	Milhões de Toneladas de Dióxido de Carbono Equivalente
N ₂ O	Óxido Nitroso
NH ₃	Amônia
NMHC	Hidrocarbonetos não Metano
NO _x	Óxidos de Nitrogênio
PFCs	Perfluorcarbonos
PPM	Partes por Milhões
SF ₆	Enxofre-hexafluoreto
T	Toneladas
THC	Hidrocarboneto Total

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultado da busca nas bases de dados	22
Tabela 2- Classificação de caminhões do GHG Protocol	32
Tabela 3- Limites de emissão em g/kWh das fases P5, P6 e P7	35
Tabela 4- Meta de descarbonização.....	62

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivos	15
1.1.1	Objetivo geral	15
1.1.2	Objetivo específicos.....	16
1.2	Justificativa	16
1.3	Estrutura da dissertação	17
2	METODOLOGIA	20
2.1	Procedimentos metodológicos	20
2.1.1	Estado da Arte	21
2.1.2	Caracterização e diagnóstico da cadeia logística rodoviária	23
2.1.3	Desenvolvimento de estratégias	26
3	REVISÃO DA LITERATURA	28
3.1	Logística Rodoviária	27
3.1.1	Logística rodoviária de transporte de cargas no Brasil	29
3.1.2	Classificações caminhões	31
3.2	Regulamentação e padrões tecnológicos	33
3.2.1	Programa de controle de emissões veiculares	34
3.3	Metodologias para mensurar e relatar GEE	36
3.3.1	Programa GHG Protocol.....	38
3.3.2	Global Logistics Emissions Council (GLEC)	40
3.3.3	Transport EcoTransIT (EWI).....	42
3.3.4	Network for Transport Measures (NTM).....	43
3.3.5	SmartWay.....	44
3.3.6	IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas)	45
3.4	Descarbonização	47
3.4.1	Rotas ótimas e sustentáveis.....	54
3.4.2	Gás natural veicular (GNV).....	55
3.4.3	Caminhões Elétricos	56
3.4.4	Combustíveis.....	58
3.5	Fatores de emissão	46
3.6	Metas de emissão	61
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	63
4.1	Caracterização da empresa	63

4.2	Aplicação de estratégias de descarbonização	66
4.2.1	Benefícios adquiridos pelas organizações.....	71
4.2.2	Mensuração para o inventário de carbono.....	72
4.2.3	Tendências para descarbonizar	76
4.2.4	Realização gráfica das estratégias de descarbonização	82
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	85
5.1	Limitação do estudo	87
5.2	Sugestões para estudos futuros.....	88
	REFERÊNCIAS	89
	APÊNDICE A - Portfólio dos artigos.....	103
	APÊNDICE B - Perguntas formulário	108

1 INTRODUÇÃO

A logística abrange diferentes métodos e se utiliza de diversos recursos para organizar e entregar produtos nos locais apropriados e no tempo correto (FGV, 2020). As operações logísticas são consideradas essenciais em todas as cadeias de abastecimento (SMART FREIGHT CENTRE & WBCSD, 2023). Elas se iniciam por meio do planejamento, seguido pela realização e pelo controle dos fluxos de mercadorias, e abrangem o processo desde a origem da produção até o local de consumo final (CNT, 2021^b).

A logística está associada principalmente à atividade de transportar mercadorias por meio de diversos modais, incluindo o modal rodoviário (ALI et al., 2022). No Brasil, durante o período colonial, o transporte de cargas pelo modal rodoviário era utilizado apenas para exportar produtos primários. Desde então, esse setor vem se expandindo e, em 2022, cerca de 65% das mercadorias foram movidas por caminhões (TACLA; BOTTER, 2017; SINDIPEÇAS, 2022). As rodovias conseqüentemente tornaram-se mais amplas. Atualmente, a rede de rodovias nacional possui 1,7 milhão de quilômetros, dos quais 65.686 km são rodovias federais e o restante são vias estaduais, municipais ou em processo de transição (CNT, 2022^b).

Os caminhões pesados responsáveis pelo transporte das cargas nessas rodovias estão direcionados para diversos setores, como o agronegócio, indústria, eletrônicos, alimentos, e-commerce, cargas fracionadas, entre outros (EPL, 2020). No ano de 2022, um total de 80.707 caminhões pesados foram produzidos no Brasil, e até o mês de fevereiro de 2023, fabricaram-se 5.765 unidades (ANFAVEA, 2023).

O Brasil tem sido atrativo para os prestadores de serviços logísticos, que se adaptam ao mercado em constante mudança (TACLA; BOTTER, 2017). Através de estratégias eficientes, a logística impulsiona a globalização e, ao mesmo tempo, aumenta o poder econômico da nação (FGV, 2020). O modal rodoviário, por sua vez, oferece grandes benefícios, como serviço porta-a-porta, agendamento flexível e integração fácil (GEDIK; USLU; LAV, 2022).

Porém, apesar das vantagens proporcionadas, a movimentação de mercadorias nas rodovias resulta na emissão de gases de efeito estufa e causa impactos problemáticos no ar e na água, principalmente quando os veículos dependem de combustíveis fósseis (JOEL MAKOWER, 2022). Atualmente, o processo logístico é responsável por cerca de 60% das emissões, o que se torna uma

preocupação, pois além dos efeitos citados acima, a combustão contribui com a mudança climática, acidificação dos oceanos e outras deteriorações ambientais (GEDIK; USLU; LAV, 2022, KIRSCHSTEIN; MEISEL, 2015, YANG; WONG; SZETO, 2018, DHL TREND RESEARCH, 2022).

Por isso, políticas organizacionais e legislações governamentais estão exigindo a implementação de estratégias sustentáveis para produtos e serviços logísticos. Além disso, existem outros dois fatores que influenciam a aplicação de ideias sustentáveis: o impulsionamento do mercado e a volatilidade dos preços dos combustíveis (TACKEN; RODRIGUES; MASON, 2014).

Uma das tendências é a descarbonização, que consiste na redução da quantidade de dióxido de carbono equivalente (CO_{2e}) na atmosfera. Isso significa reduzir as emissões provenientes da queima de combustíveis, buscando atingir a neutralidade de carbono e, posteriormente, remover ativamente o CO_{2e} já existente no meio ambiente (DHL TREND RESEARCH, 2022).

Existem inúmeros projetos que incentivam a responsabilidade ética e moral com o meio ambiente e a sociedade, os quais podem ser aplicados na descarbonização do transporte rodoviário, como o uso de combustíveis sustentáveis, programas de renovação de frotas, retrofit de motores e projetos de eficiência (SMART FREIGHT CENTRE; DPDHL GROUP, 2020; TACKEN; RODRIGUES; MASON, 2014).

As iniciativas de redução de carbono contribuem para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos pela Organização das Nações Unidas (ONU), atingir as metas do Acordo de Paris, cumprir os objetivos climáticos corporativos e auxiliar nas melhorias estruturais dos ativos e da infraestrutura logística, gerando soluções no curto, médio e longo prazo (SMART FREIGHT CENTRE; DPDHL GROUP, 2020; JOEL MAKOWER, 2022).

Para gerenciar as ações de descarbonização, é necessário que as empresas calculem, monitorem e relatem as emissões provenientes das operações logísticas (SMART FREIGHT CENTRE; WBCSD, 2023).

Métodos para quantificar a emissão de carbono já foram desenvolvidos ou estão em desenvolvimento. Atualmente, existem sistemas que gerenciam e auxiliam na realização desses cálculos (IACOB et al., 2013). Dessa forma, é importante conhecer as principais variáveis que influenciam no cálculo das emissões de gases no transporte de caminhões, como a distância percorrida, as características da

estrada e o comportamento de condução (IACOB et al., 2013; LAJEVARDI; AXSEN; CRAWFORD, 2018).

Ao realizar os cálculos, as organizações podem usar esses dados para relatar suas emissões totais em um determinado período, seja em toda a organização ou apenas em partes da cadeia de suprimentos (SMART FREIGHT CENTRE, 2023). Com o cálculo e o relato dos potenciais de emissões de gases de efeito estufa, é possível identificar medidas mais eficazes para a descarbonização dos transportes rodoviários de mercadorias e fornecer suporte para as tomadas de decisões políticas, tanto em nível macro quanto corporativo (MCKINNON, 2016). No entanto, muitas empresas encontram dificuldades para implementar essas estratégias devido à falta de conhecimento e à ausência de dados detalhados e consistentes das operações logísticas (SMART FREIGHT CENTRE; WBCSD, 2023; ITF, 2018).

Mesmo diante de grandes desafios para a verificação, aplicação e divulgação das emissões, as empresas já estão implementando estratégias de descarbonização na cadeia logística. Em um informativo de sustentabilidade da logística realizado em 2021, apontou-se que aproximadamente 68% dos participantes estão integrando sustentabilidade nos objetivos estratégicos do negócio (IBTS, 2021). Além disso, na pesquisa de caminhões da SAE BRASIL (2022), foi demonstrado que os participantes da indústria avaliam ser muito importante direcionar suas atenções para atender às normas da legislação brasileira de emissões de poluentes e de CO₂.

Com isso, este trabalho busca responder à seguinte lacuna no setor: Quais tipos de estratégias de descarbonização estão sendo aplicadas e relatadas por empresas de transporte rodoviário de carga, que fazem parte da logística brasileira?

Este estudo visa contribuir para o desenvolvimento de atividades mais sustentáveis no âmbito da logística rodoviária brasileira, tendo como foco o transporte de cargas por caminhões pesados.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Apresentar estratégias de descarbonização que estão sendo aplicadas na cadeia logística rodoviária de transporte de cargas pesadas no Brasil.

1.1.2 Objetivo específicos

- a) Caracterizar a cadeia logística rodoviária de transportes de cargas pesadas no Brasil e emissões associadas;
- b) Identificar estratégias de descarbonização logísticas já existentes globalmente;
- c) Caracterizar empresas que atuam na logística rodoviária brasileira;
- d) Levantar as estratégias aplicadas nas empresas de logística brasileira;
- e) Representar a sintaxe das estratégias de descarbonização de forma gráfica.

1.2 Justificativa

O Brasil se destaca no setor logístico devido à sua abrangência na matriz de transporte (TACLA; BOTTER, 2017). No ano de 2018, o Brasil foi classificado em 56º lugar na categoria de Desempenho Logístico (LPI) do Banco Mundial, entre 167 países. Avaliaram-se fatores como infraestrutura, alfândega e competitividade logística (ARVIS et al., 2018). Em 2020, o país registrou o maior número de exportações e importações de cargas no transporte rodoviário nos últimos 3 anos, sendo, respectivamente, 6,2 e 6,4 milhões de toneladas em toda a América do Sul (EPL, 2020).

Com a rápida expansão do transporte rodoviário, principalmente com veículos de carga dependentes de combustíveis fósseis, têm-se gerado efeitos ambientais indesejáveis (GEDIK; USLU; LAV, 2022). O Brasil emitiu, em 2021, um total de 554,07 MtCO₂ de emissões e tem previsão de atingir 673 MtCO₂ até 2030 (WRI, 2022). Além disso, pode-se afirmar que os caminhões pesados e ônibus representam um total de 55,3% das emissões (BRASIL, 2021b).

As organizações globais reconhecem que há a necessidade de considerar a sustentabilidade como parte da organização, uma vez que sobrecarrega as bases de recursos naturais (REDDY, et al., 2020). Por isso, é necessário tomar decisões para definir o equilíbrio climático no planeta. O Brasil ratificou em dezembro de 2020 o compromisso com a agenda climática, determinando o comprometimento em reduzir as emissões de GEE em 37% até 2025 e 43% até 2030 (WRI, 2022).

Entretanto, o setor de logística é considerado entre os mais complexos de reduzir as emissões. A dificuldade de descarbonização está relacionada com tecnologias de motores de combustão maduras e econômicas, baixos custos de petróleo e limitações em alternativas de combustíveis.

Ainda, há uma complexidade das empresas em saber quais são as estratégias iniciais para começar a aplicar e como financiar as soluções, principalmente para transportadoras que possuem frotas maiores. As grandes transportadoras sentem a necessidade de incentivos, premiações ou normas governamentais para implementar estratégias de baixo carbono (DAVYDENKO, *et al.*, 2022, ITF, 2018).

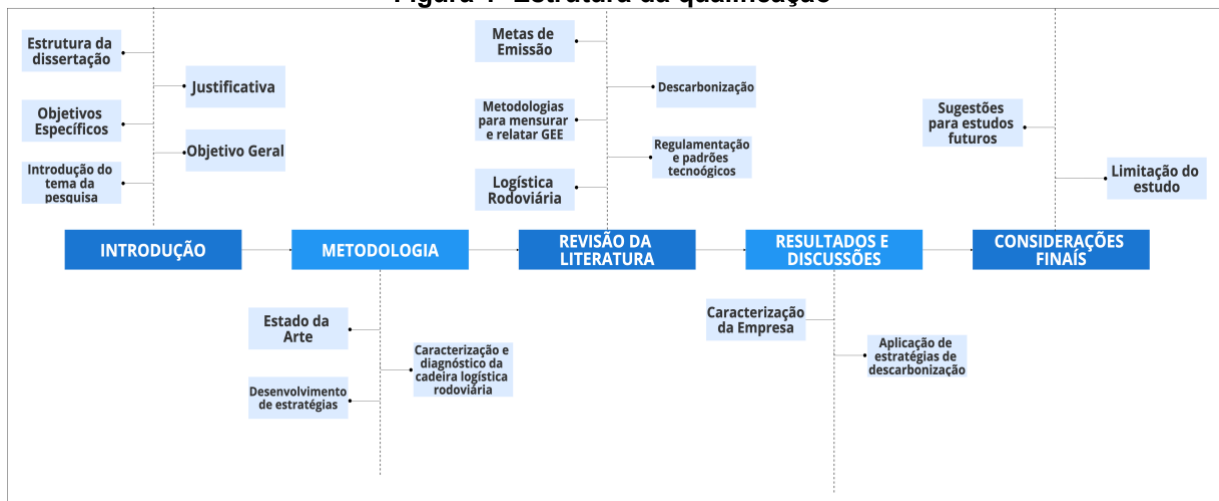
Além das ações de descarbonização, as empresas tendem a relatar o seu desempenho em relação às mudanças climáticas. No entanto, existem diversos caminhos para a construção de um documento de descarbonização e isso pode resultar em informações de emissões distintas e não comparáveis entre as organizações, limitando assim a avaliação precisa das diferenças dos desempenhos referentes aos impactos ambientais (LIESEN, *et al.*, 2015).

Com isso, este trabalho se justifica pela necessidade de mitigar as mudanças climáticas, melhorar a eficiência operacional das empresas, auxiliar as organizações a atenderem os requisitos regulatórios governamentais e permitir que as empresas do setor da logística rodoviária possam se preparar para um futuro mais sustentável e competitivo, conseqüentemente fortalecendo sua posição no mercado.

1.3 Estrutura da dissertação

O texto da dissertação de mestrado está estruturado em cinco seções, apresentadas de forma sequencial, conforme ilustrado na Figura 1, com o intuito de alcançar os objetivos.

Figura 1- Estrutura da qualificação



Fonte: Autoria Própria (2023)

A primeira seção contém a introdução do tema pesquisado, com elementos que auxiliam na compreensão do contexto de aplicação. Além disso, descreve o objetivo geral e os objetivos específicos propostos. Por fim, encontra-se a justificativa para a realização desta pesquisa.

Na seção seguinte, são explicados os métodos utilizados para a realização deste trabalho, sendo subdivididos em: 1) Procedimentos metodológicos; 2) Estado da arte; 3) Caracterização e diagnóstico da cadeia logística; 4) Coleta das estratégias aplicadas nas empresas de logística brasileira; e 5) Desenvolvimento de estratégias.

Na terceira seção, apresenta-se a fundamentação teórica desta pesquisa, baseada nas vertentes deste trabalho, que são a logística rodoviária, regulamentações e padrões tecnológicos, metodologias para mensurar e relatar GEE, descarbonização, fatores de emissão e, por fim, as metas de emissões.

Na quarta seção, na qual estão presentes os resultados e as discussões, iniciou-se com a caracterização das empresas do setor logístico rodoviário que participaram da pesquisa e, em seguida, evidenciaram-se os resultados propostos nos objetivos. Inicialmente, discutiu-se o conhecimento das organizações referente à descarbonização da cadeia logística e como elas estão desenvolvendo essas estratégias. Além disso, verificou-se as maiores dificuldades das empresas para a aplicação e propôs-se soluções de acordo com a literatura. Por fim, foram analisadas as tendências das empresas em aplicar novas soluções para a redução de gases de efeito estufa e para relatar as potenciais melhorias.

Na última seção, estão presentes a conclusão obtida neste estudo, juntamente com sugestões para perspectivas futuras e as limitações encontradas na execução da dissertação.

2 METODOLOGIA

Nesta seção, a metodologia descreve os procedimentos metodológicos e as ferramentas utilizadas para desenvolver os objetivos propostos.

2.1 Procedimentos metodológicos

Os procedimentos metodológicos estão apresentados no Quadro 1 e foram definidos para alcançar os objetivos específicos mencionados na seção anterior.

Quadro 1 – Procedimentos metodológicos

ETAPAS	OBJETIVO ESPECÍFICO ASSOCIADO	COMO FOI REALIZADO	RESULTADO
ESTADO DA ARTE	Caracterização da cadeia logística rodoviária de transportes de cargas pesadas no Brasil e emissões associadas	Por meio do método de revisão sistemática <i>Methodi Ordinatio</i> (PAGANI; KOVALESKI; RESENDE, 2015). Para selecionar artigos relevantes nas bases de dados <i>Science Direct</i> (2023), <i>Scopus</i> (2023) e <i>Web of Science</i> (2023). Além da busca por informações em organizações e instituições privadas e governamentais para o desenvolvimento desta temática.	Realização do Capítulo 3.1 e 3.2 do referencial teórico.
	Identificar estratégias de descarbonização logísticas já existentes globalmente		Realização do Capítulo 3.3, 3.4 do referencial teórico.
CARACTERIZAÇÃO E DIAGNOSTICO DA CADEIA LOGÍSTICA RODOVIÁRIA	Caracterizar empresas que atuam na logística rodoviária brasileira	Realizada a partir da coleta e análise de dados por meio de um formulário enviado online para empresas da logística rodoviária.	Realização do Capítulo 4.1 e 4.2 dos resultados
	Coletar as estratégias aplicadas nas empresas de logística brasileira		Realização do Capítulo 4.2 dos resultados
DESENVOLVIMENTO DE ESTRATÉGIAS	Realizar uma representação gráfica que sintetizam as estratégias de descarbonização	Desenvolvido através de um <i>roadmap</i>	Realização do Capítulo 4.2.4 dos resultados

Fonte: Autoria Própria (2022)

Inicialmente, foi realizado o estudo da arte através da construção do portfólio bibliográfico para a revisão da literatura. Em seguida, analisaram-se os dados para

caracterizar e diagnosticar as estratégias de descarbonização, para que, posteriormente, fossem mapeadas as estratégias de descarbonização na logística rodoviária brasileira.

2.1.1 Estado da Arte

Na primeira etapa, buscou-se analisar a caracterização da cadeia logística rodoviária de transportes de cargas pesadas no Brasil e as emissões associadas, além de identificar estratégias de descarbonização já existentes na logística globalmente. Isso foi realizado por meio do método de revisão sistemática *Methodi Ordinatio* (PAGANI; KOVALESKI; RESENDE, 2015). As três primeiras etapas da *Methodi Ordinatio* correspondem a estabelecer a intenção das pesquisas e realizar uma busca exploratória preliminar em bases de dados.

Neste trabalho, foram realizadas duas buscas. Inicialmente, as palavras-chave definidas para a pesquisa incluíram: (“Caminhões Pesados” ou “Logística Rodoviária” ou “Logística” ou “Tendências Logísticas”) e (“Descarbonização” ou “Pegada de Carbono”) e (“Fatores de Emissão” ou “GHG Protocol” ou “Gases do Efeito Estufa”). Na segunda pesquisa, as palavras aplicadas foram: (“Caminhões Pesados” ou “Logística Rodoviária” ou “Logística” ou “Tendências Logísticas”) e (“Descarbonização” ou “Calculadora de Descarbonização”) e (“Aplicação” ou “Estratégia”). Em ambas as pesquisas, utilizaram-se operadores booleanos *AND* e *OR* para facilitar as combinações dos termos na língua inglesa.

Na quarta etapa do método, foram utilizadas três bases de dados: *Science Direct* (2023), *Scopus* (2023) e *Web of Science* (2023). Foi determinado a mesma *query* para as três bases, sendo para a primeira pesquisa: (“*Heavy Trucks*” *OR* “*Road Logistics*” *OR* *Logistic* *OR* “*Logistics Trends*”) *AND* (“*Decarbonization*” *OR* “*Carbon Footprint*”) *AND* (“*Emission Factors*” *OR* “*GHG Protocol*” *OR* “*Greenhouse gases*”)) e para segunda pesquisa: (“*Heavy Trucks*” *OR* “*Road Logistics*” *OR* *Logistic* *OR* “*Logistics Trends*”) *AND* (“*Decarbonization*” *OR* “*Decarbonisation calculator*”) *AND* (“*application*” *OR* “*strategy*”)).

Considerou-se um limite atemporal para os trabalhos já publicados, abrangendo todo o período de contagem para obter as melhores respostas. Assim, foi encontrado um total de 298 trabalhos no resultado da primeira pesquisa e 67 trabalhos na segunda pesquisa, conforme pode ser visto na Tabela 1.

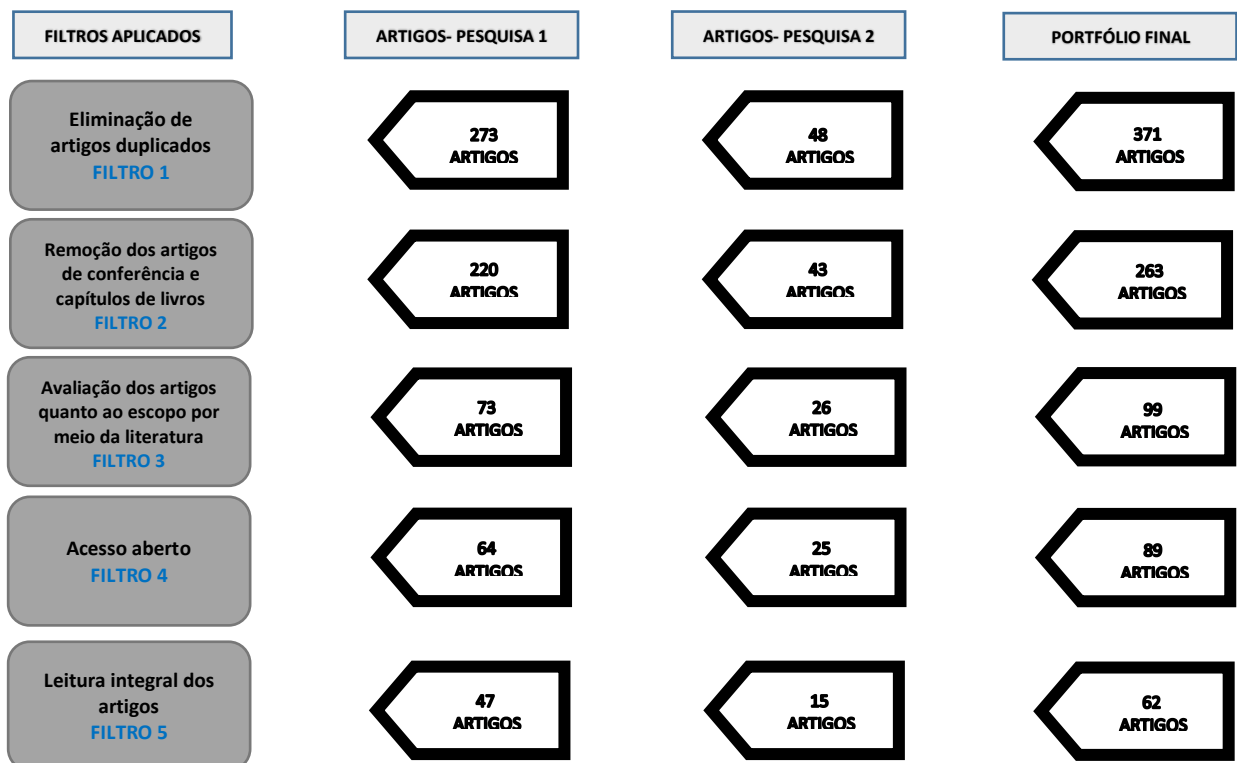
Tabela 1 - Resultado da busca nas bases de dados

Palavras Chaves	Science Direct	Web of Science	Scopus	Total
("Heavy Trucks" OR "Road Logistics" OR Logistic OR "Logistics Trends") AND ("Decarbonization" OR "Carbon Footprint") AND "Emission Factors" OR "GHG Protocol" OR "Greenhouse gases"))	34	147	108	289
("Heavy Trucks" OR "Road Logistics" OR Logistic OR "Logistics Trends") AND (Decarbonization OR "Decarbonization calculator") AND (application OR strategy))	9	27	31	67

Fonte: Aatoria Própria (2023)

Ao selecionar os artigos iniciais, realizou-se a quinta etapa da metodologia, que envolveu a aplicação de filtros para localizar os trabalhos mais relevantes para a temática. Esses trabalhos relevantes são apresentados na Figura 3.

Figura 3- Filtros aplicados para construção do portfólio



Fonte: Aatoria Própria (2023)

No primeiro filtro, os documentos duplicados encontrados nas três bases de dados foram removidos por meio de um *software* de referências, resultando em 371 artigos nas duas pesquisas. A partir dos artigos selecionados, foi aplicado o segundo filtro, que consiste na eliminação de trabalhos que não correspondem a artigos ou

artigos de revisão, resultando em 254 artigos. No filtro seguinte, verificou-se a relevância dos artigos em relação à temática por meio do título, resumo e conteúdo. Assim, definiu-se que 90 artigos seriam avaliados nos próximos filtros.

O quarto filtro consistiu na identificação da disponibilidade dos artigos, resultando em 80 artigos de acesso aberto. Desta maneira, foi possível ler os artigos na íntegra e aplicar o último filtro, que analisa a relevância em relação ao tema, resultando em um portfólio de 54 artigos. O portfólio dos artigos finais, contendo informações como autor, título, ano e periódico de publicação, está presente no Apêndice A.

Além da revisão literária apresentada acima, foi necessária a busca por informações em organizações e instituições privadas e governamentais para o desenvolvimento desta temática. Dessa forma, os resultados encontrados nas revisões de artigos e relatórios foram utilizados para compor o conteúdo desta pesquisa.

2.1.2 Caracterização e diagnóstico da cadeia logística rodoviária

Para caracterizar a logística rodoviária de transportes de cargas pesadas no Brasil, foi realizada a coleta de dados nas empresas por meio do desenvolvimento de um questionário online, disponível no Apêndice B. O objetivo desse questionário era caracterizar as empresas que atuam na logística rodoviária, avaliar se essas organizações estão aplicando estratégias para a descarbonização da cadeia logística, identificar as principais dificuldades para a implementação dessas estratégias, e verificar se estão calculando e relatando inventários de emissão.

A pesquisa foi conduzida utilizando uma ferramenta digital, o questionário online no *Google Forms*®, que permitiu disponibilizar um *link* para as empresas logísticas nacionais de forma remota. Foram contatadas pessoas que ocupam cargos de liderança em empresas do setor de logística rodoviária brasileira, como CEO's, supervisores, gerentes, encarregados, analistas, entre outros. Não houve restrições em relação ao porte da empresa ou ao tempo de atuação no mercado.

O envio do formulário para as transportadoras ocorreu por meio de três canais. O primeiro canal foi o *LinkedIn*, onde inicialmente foi realizada uma pesquisa na própria rede social para encontrar empresas que atuam na área de logística rodoviária. O segundo método foi o envio direto do *link* do formulário para empresas que já eram conhecidas pela autora. O terceiro canal de divulgação foi uma reunião

com os coordenadores do programa de Logística Verde Brasil® (PLVB, 2023), durante a qual os formulários foram encaminhados para as empresas parceiras do programa. A quantidade de *links* enviados pelo autor foi contabilizada, como apresentado no Quadro 2.

Quadro 2 - Quantidades de links compartilhados

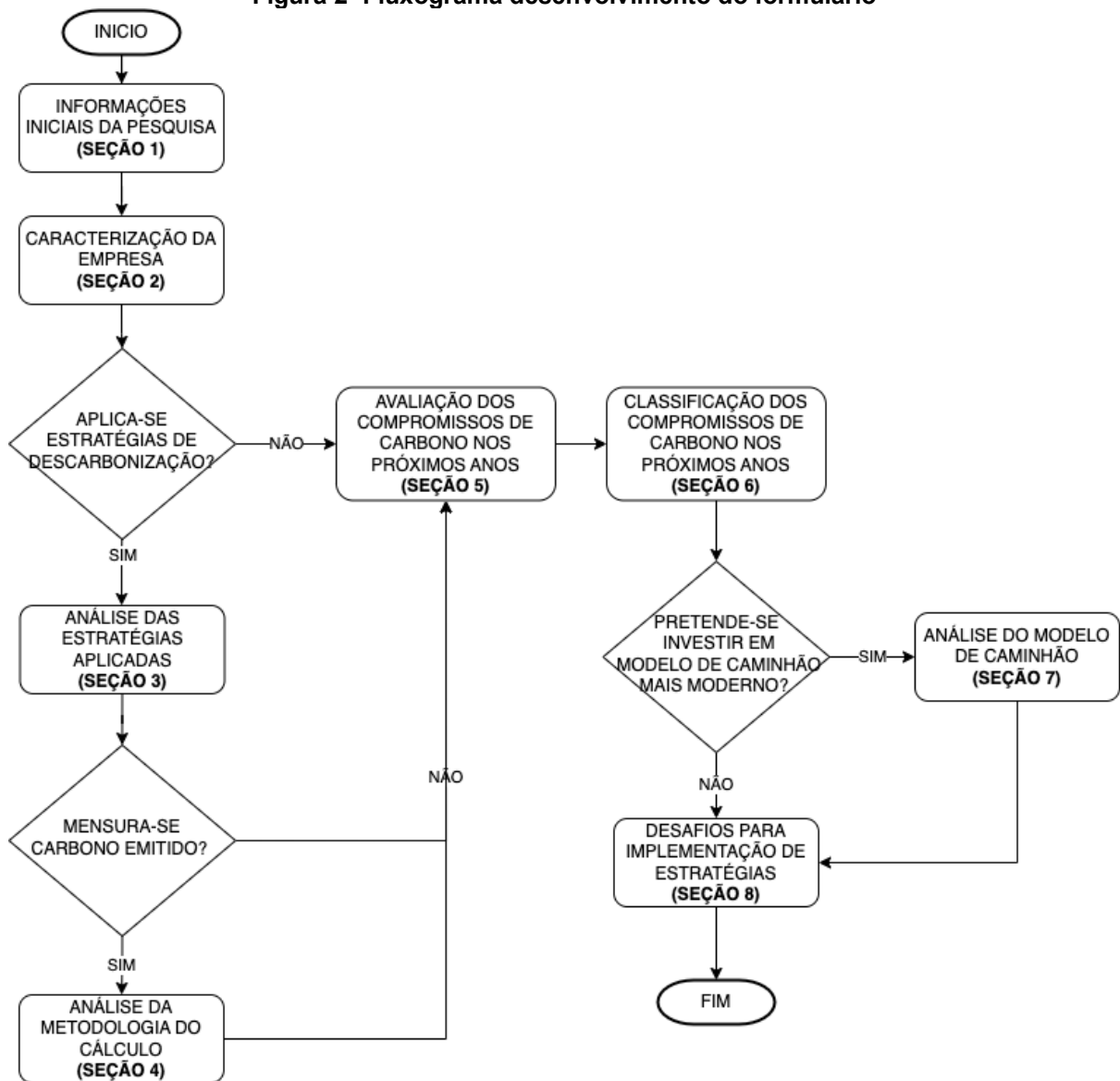
Ferramentas	Quantidade de links compartilhados
LinkedIn	164
Contato direto (telefone, aplicativo de mensagem ou e-mail)	40

Fonte: Autoria Própria (2023)

A coleta de dados por meio dos formulários ocorreu no período de janeiro a abril de 2023, e foram obtidas 42 respostas. O formulário consistia em oito partes. A seção inicial incluía a apresentação do projeto, seguida pela descrição dos objetivos da pesquisa e pela solicitação do consentimento com os termos da pesquisa. Todos os 42 respondentes concordaram com o termo de responsabilidade.

A segunda parte tinha o propósito de caracterizar as empresas. Foram analisados o perfil do representante, a descrição da frota (tamanho, tipo e região de operação), os segmentos nos quais as empresas atuam e se elas aplicam ações de descarbonização. Após essa seção, o questionário se dividia em duas partes: uma direcionada às empresas que aplicam estratégias de descarbonização e outra para aquelas que não realizam nenhuma ação nesse sentido. O fluxograma do desenvolvimento do formulário é apresentado na Figura 2.

Figura 2- Fluxograma desenvolvimento do formulário



Fonte: Autoria Própria (2023)

Se a empresa aplicasse estratégias de descarbonização, o representante era direcionado para a seção número três, que analisava as ações implementadas. As opções de múltipla escolha foram elaboradas com base em informações obtidas na revisão literária, bem como em dados provenientes de organizações e instituições privadas e governamentais. Além de definir as estratégias adotadas, procurava-se entender os motivos que levaram a essas escolhas e a duração das implementações. Também era questionado se a empresa já havia participado de processos de licitação de transporte (*Bidding Process*) com foco em sustentabilidade ou emissões, além de investigar os benefícios alcançados pela empresa. Para encerrar a seção, indagava-se sobre a avaliação do potencial de emissão de carbono.

Caso a organização mensurasse a quantidade de carbono (inventário), a empresa era encaminhada para a seção 4, que avaliava a metodologia do cálculo. Nessa parte, inicialmente verificava-se se a empresa utilizava ferramentas para a medição e quais tipos de dados eram empregados. Também era verificado o escopo considerado no cálculo das emissões de carbono da operação logística, além de questionar se a empresa utilizava algum indicador de desempenho para avaliar a quantidade de carbono.

Após a conclusão das respostas, as organizações passavam para a seção 5. Nessa parte, também retornavam as empresas que não aplicam estratégias de descarbonização e as que não relatam. O objetivo dessa seção era avaliar se as transportadoras tinham compromissos para os anos seguintes e se tinham a intenção de publicar um relatório sobre as estratégias futuras.

Na seção 6, procurava-se verificar quem eram os responsáveis por influenciar a potencial integração das estratégias nas empresas. Pedia-se também que as organizações definissem seus compromissos futuros em curto, médio e longo prazo para a implementação das estratégias. Por fim, questionava-se se as empresas tinham intenção de adquirir veículos (caminhões) mais modernos, ou seja, que não fossem movidos apenas a diesel. Caso a resposta fosse afirmativa, os respondentes eram direcionados para a seção 7, com o objetivo de identificar a marca e o modelo do veículo. Se a resposta fosse negativa, os representantes eram encaminhados para a seção 8.

Na última seção, abordava-se os principais desafios na incorporação de estratégias para a descarbonização da operação logística nas transportadoras. Também se questionava se as empresas tinham capacidade de lidar com esse tema internamente ou se necessitavam de recursos externos. Após a coleta de dados, foram realizadas análises qualitativas e quantitativas com base nas respostas obtidas, como detalhado na Seção 4.

2.1.3 Desenvolvimento de estratégias

Com a análise das respostas dos questionários, foi possível compreender a realidade das transportadoras e avaliar se as empresas do ramo de logística estão calculando as emissões, aplicando e relatando as estratégias de descarbonização. As análises quantitativas foram desenvolvidas utilizando o Microsoft Excel® para o tratamento de dados. Em seguida, foram construídos gráficos e diagramas utilizando

também o Microsoft Excel®, a ferramenta web Flourish® e o software Cacao® na versão gratuita. Isso possibilitou visualizar de forma ampla os resultados. Para a análise qualitativa, desenvolveu-se um *roadmap*, no qual foi realizado um aprofundamento dos dados sobre as estratégias mais conhecidas e as tendências coletadas.

O *roadmap* deste trabalho foi gerado por meio de uma abordagem que envolve levantamento teórico e consulta a especialistas. Isso permitiu que grupos criassem de forma compartilhada visões e perspectivas sobre a logística rodoviária de transportes de carga. O *roadmap*, também conhecido como mapas de caminho, foi elaborado a partir de uma representação gráfica simplificada que compartilham de maneira eficaz um conjunto de estratégias com um horizonte temporal de curto, médio e longo prazo.

A construção do *roadmap* sintetizou-se por meio de uma dinâmica com três etapas. O momento inicial consistiu na análise da situação atual da logística, encontrada no portfólio bibliográfico pesquisado e nas bases de dados, além da reflexão sobre a construção de perspectivas futuras que remetem às transformações do presente.

A segunda etapa demonstra as ideias dos especialistas referentes às estratégias que estão sendo aplicadas para alcançar a descarbonização logística. A última etapa consiste na construção de cenários que quantificam os potenciais de redução a curto, médio e longo prazo no setor de logística rodoviária brasileiro.

3 REVISÃO DA LITERATURA

Na seção de revisão da literatura, o objetivo consistiu em apresentar de forma concisa os resultados obtidos a partir do portfólio bibliográfico, publicações externas e dados de instituições. Nas subseções, será apresentada a base teórica sobre os seguintes tópicos: logística rodoviária, regulamentações e padrões tecnológicos, descarbonização, fatores e metas de emissão.

3.1 Logística rodoviária

O transporte é fundamental no desenvolvimento do comércio mundial. Ao final da fabricação dos produtos, as mercadorias geralmente precisam ser transportadas das fábricas para os centros de distribuição ou lojas varejistas, muitas vezes localizados em diferentes áreas geográficas (TO, 2015).

Por essa razão, a infraestrutura rodoviária e os transportes por estrada têm a função de aprimorar a eficiência logística para garantir o correto encaminhamento das mercadorias (ENGSTRÖM, 2016). Os caminhões são o meio de transporte de carga mais utilizado, representando mais de 70% do transporte rodoviário de carga. Embora sejam considerados veículos econômicos e flexíveis, os caminhões também apresentam algumas desvantagens, como a contribuição para congestionamentos e limitações em relação à capacidade de carga (ENGSTRÖM, 2016; KHANNA, *et al.*, 2021).

Além disso, o transporte rodoviário de carga é um dos maiores emissores de carbono, sendo responsável por cerca de 40% das emissões de CO₂ (dióxido de carbono) de todos os setores, o que tem impactos negativos significativos no meio ambiente (KHANNA, *et al.*, 2021; PADDEU, DENBY, 2022).

Diante desse cenário, é crucial que as atividades logísticas sejam realizadas de maneira eficiente, utilizando estratégias que visem reduzir os tempos de carga e descarga de mercadorias, otimizar custos e minimizar os impactos ambientais. Para implementar tais estratégias, é fundamental levar em consideração diversos fatores, como o modo de transporte escolhido, os pontos de transbordo e armazenamento de carga (CNT, 2021^a). Isso também inclui abordagens sustentáveis, como a análise da geografia do transporte logístico, a distribuição de cargas e o movimento de frete (INGRAO, *et al.*, 2021).

3.1.1 Logística rodoviária de transporte de cargas no Brasil

No final do ano de 2022, o boletim estatístico da CNT (Confederação Nacional do Transporte) destacou que a malha rodoviária federal brasileira possui 65.686,00 quilômetros de extensão e apenas 30,8% dessas rodovias federais são pavimentadas. Além disso, há uma extensão total de 147.814,00 quilômetros de rodovias estaduais, estaduais transitórias e municipais, com cerca de 69,2% delas pavimentadas. Adicionalmente, há planos em andamento para a construção de 157.309,00 quilômetros de novas rodovias (CNT, 2022^b).

No mesmo ano, aproximadamente 3.022.315 caminhões percorreram essas rodovias, sendo responsáveis pelo transporte de cerca de 65% das cargas movimentadas (IBGE, 2022, CNT, 2022^b).

No ano de 2021, o Registro Nacional de Transportadores Rodoviários de Cargas apontou uma frota de caminhões totalizando 2.987.618 veículos. Já em 2022, aproximadamente 291.000 caminhões pertenciam a empresas privadas, 556 veículos eram de corporativas e 917.742 eram registrados como pertencentes a profissionais autônomos (CNT, 2022^b).

O crescimento da frota brasileira, combinado com a baixa densidade de malha pavimentada e a qualidade inferior da infraestrutura rodoviária, impacta as transportadoras em aspectos econômicos, como consumo de combustíveis e tempo de deslocamento, além de gerar emissões de poluentes (CNT, 2022^a).

Os principais combustíveis utilizados no transporte rodoviário são o óleo diesel e a gasolina, cuja queima gera emissões de gases de efeito estufa. No Brasil, no ano de 2022, os caminhões foram responsáveis por 41,7% das emissões nas rodovias. Além disso, quando trafegam em rotas de má qualidade, as emissões são aproximadamente 11,0% maiores em comparação com rodovias bem estruturadas (CNT, 2022^b).

Para o ano de 2030, prevê-se um aumento de aproximadamente 70% no volume de frete, tornando essencial que o setor de mobilidade desenvolva novas estratégias para reduzir os impactos negativos (SDGK, 2016). O desenvolvimento sustentável, abordando as dimensões econômica, social e ambiental, é uma ação para lidar com as consequências do aumento do transporte, delineando objetivos que

englobam proteção ambiental, sustentabilidade econômica e justiça social (CARVALHO, *et al.*, 2015).

No âmbito ambiental, o mercado da cadeia logística tem adotado estratégias sustentáveis (CNT, 2021^a). Ao longo das últimas décadas, por meio de conferências e tratados internacionais, organizações e empresas assumiram compromissos para garantir um desenvolvimento sustentável no setor de transporte. Na 21^a Conferência do Clima (COP 21), mais de 70% dos países e 260 empresas do setor de transporte se comprometeram a reduzir as emissões globais de GEE e combater as mudanças climáticas (REDDY, *et al.*, 2020; SDGK, 2016).

A inclusão de diretrizes sustentáveis na logística tem se expandido com a publicação dos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) propostos pela ONU (MARTINS, *et al.*, 2019). No Quadro 3, é possível analisar as metas dos ODS relacionadas diretamente com as estratégias logísticas.

Quadro 3 – Metas dos ODS relacionados às estratégias logísticas

ODS	ESTRATÉGIAS
7.2	Até 2030, aumentar substancialmente a participação de energias renováveis na matriz energética global.
7.3	Até 2030, dobrar a taxa global de melhoria da eficiência energética.
7.b	Até 2030, expandir a infraestrutura e modernizar a tecnologia para o fornecimento de serviços de energia modernos e sustentáveis para todos nos países em desenvolvimento, particularmente nos países menos desenvolvidos, nos pequenos Estados insulares em desenvolvimento e nos países em desenvolvimento sem litoral, de acordo com seus respectivos programas de apoio.
9.1	Desenvolver infraestrutura de qualidade, confiável, sustentável e resiliente, incluindo infraestrutura regional e transfronteiriça, para apoiar o desenvolvimento econômico e o bem-estar humano, com foco no acesso equitativo e a preços acessíveis para todos.
11.2	Até 2030, proporcionar o acesso a sistemas de transporte seguros, acessíveis, sustentáveis e a preço acessível para todos, melhorando a segurança rodoviária por meio da expansão dos transportes públicos, com especial atenção para as necessidades das pessoas em situação de vulnerabilidade, mulheres, crianças, pessoas com deficiência e idosos.
12.2	Até 2030, alcançar a gestão sustentável e o uso eficiente dos recursos naturais.
12.6	Incentivar as empresas, especialmente as empresas grandes e transnacionais, a adotar práticas sustentáveis e a integrar informações de sustentabilidade em seu ciclo de relatórios.
12.a.1	Capacidade instalada de geração de energia renovável nos países em desenvolvimento (em watts per capita)
13.1	Reforçar a resiliência e a capacidade de adaptação a riscos relacionados ao clima e às catástrofes naturais em todos os países
13.2	Integrar medidas da mudança do clima nas políticas, estratégias e planejamentos nacionais

Fonte: Adaptado IBGE (2022)

Além dos objetivos diretamente interligados a logística, muitos ODS relacionam o transporte de forma indireta. O transporte é utilizado para cumprir metas

no desenvolvimento econômico, social e em estratégias ambientalmente sustentáveis (UNITED NATION, 2015).

Para planejar e implementar ações visando o desenvolvimento de estratégias sustentáveis na logística brasileira, foi estabelecido o Plano Nacional de Logística (PNL), um dos principais instrumentos do governo destinados ao planejamento de longo prazo da infraestrutura de transportes (EPL, 2018). O PNL tem como objetivo identificar e propor soluções para melhorar o desenvolvimento da logística no Brasil, buscando reduzir custos, aumentar a eficiência dos modais utilizados para o transporte de cargas e diminuir a emissão de poluentes (EPL, 2022).

As empresas privadas também têm desenvolvido iniciativas voltadas para responsabilidade socioambiental, uma delas é o Programa de Logística Verde Brasil (PLVB), que tem como propósito capturar, integrar e aplicar conhecimentos para reduzir a intensidade das emissões de gases de efeito estufa geradas pelo transporte (PLVB, 2023). As empresas que fazem parte deste programa estabeleceram como objetivo reduzir em 50% a emissão de gases poluentes até 2030. Além disso, uma meta ambiciosa foi traçada: alcançar um saldo positivo de carbono até 2030, ou seja, captar 100% das energias totais por meio de fontes renováveis (CINTIA MACHADO DE OLIVEIRA, 2017).

3.1.2 Classificações caminhões

Veículos automotores de carga podem ser classificados como caminhão leve, caminhão simples, caminhão semipesado, caminhão pesado, *bi truck*, caminhonete, furgão, caminhão trator e caminhão trator especial, conforme definido pela Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT, 2021).

Além disso, existem os implementos rodoviários, como reboques e semirreboques (ANTT, 2021). As diferentes distinções de peso e as definições para cada tipo de caminhão, de acordo com a agência nacional de transportes terrestres, estão descritas no Quadro 4.

Quadro 4 - Dentições e definições de cada caminhão

CLASSIFICAÇÃO	PESO BRUTO TOTAL (toneladas kg)	DEFINIÇÃO
Caminhões Leves	3,5 a 7,99	Veículos de carga com comprimento inferior ou igual a 14 metros.
Toco ou Caminhão Semipesado	12 a 16	Caminhão básico com eixo dianteiro simples e um traseiro que pode ser simples (uma roda de cada lado) ou duplo (levando um par de rodas cada lado)
<i>Truck</i> ou Caminhão Pesado	19,5 a 23	Possui um eixo dianteiro simples e um conjunto de dois eixos traseiros. O conjunto traseiro pode ser misto, no qual um é simples e o outro é duplo, ou ambos os eixos duplos, aguentando 23 toneladas.
<i>Bi-truck</i>	25,5 e 29	Caminhão com dois eixos dianteiros simples e dois eixos traseiros mistos ou duplos.
Caminhão Trator	Máx: 33	Formado pela cabine, o motor e o conjunto de tração, podendo ter dois eixos, um simples dianteiro e um duplo traseiro, três eixos (Truckado), sendo dois traseiros, ou quatro, na forma de um Bi-truck.

Fonte: ANTT (2021)

Alguns programas, como o GHG Protocol, utilizam a classificação do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) para a aplicação de suas ferramentas, como é mostrado na Tabela 2 (FGV, 2022^b).

Tabela 2- Classificação de caminhões do CONAMA

Classificação Caminhões	Peso (kg)
Semi-leve	3.500 a 5.999
Leve	6.000 a 9.999
Médio	10.000 a 15.999
Semi-pesado	16.000 a 40.000
Pesado	> 40.000

Fonte: Adaptada (YIN, *et al.*, 2021).

Um veículo completo pode ser composto por até quatro partes. Pode haver a junção de semirreboques, reboques e eixos; essas combinações podem aumentar o peso bruto total, dependendo do tipo de eixo e tração. No Quadro 5, é possível analisar quais são os caminhões e suas respectivas composições e peso bruto (ANTT, 2021).

O rodotrem é um exemplo de caminhão com composição, pois é um caminhão-trator com dois semirreboques, junto com uma carroceria e um dolly, que é um semirreboque sem carroceria.

Quadro 5 - Caminhões e suas composições

CAMINHÃO E COMPOSIÇÃO	PESO BRUTO (toneladas kg)	DEFINIÇÃO
Caminhão semirreboque (Carreta com dois eixos)	36	Formado por um Caminhão Trator de dois eixos e um Semirreboque de dois eixos. Possui comprimento máximo de 18,6 metros.
Caminhão Truck (Carreta com três eixos ou treminhão)	53	Semirreboque possui três eixos, simples ou duplos
Bitrem Articulado	57	Conjunto formado por um Caminhão Trator Truckado e dois Semirreboques acoplados, contendo 7 eixos. Com comprimento de até 19,8 metros.
Rodotrem	74	Composição em que um Caminhão Trator Truckado leva dois Semirreboques, sendo que a junção entre eles é feita sobre um veículo auxiliar chamado Dolly.

Fonte: ANTT (2021)

O Brasil possui os caminhões mais pesados do mundo, como os rodotrens brasileiros, que têm um peso bruto estimado de 74 toneladas, podendo ter 9 eixos e um comprimento de 25 a 30 metros. Em 2016, foram aprovados caminhões com peso de até 91 toneladas, mediante autorizações especiais (EPA, 2019)

No país, há uma distinção significativa no panorama do transporte rodoviário, mas a predominância é de veículos a diesel (ANTT, 2021). Até setembro de 2022, foi registrado um total de 142.333 caminhões pesados e ônibus movidos a diesel (ANFAVEA, 2022).

3.2 Regulamentação e padrões tecnológicos

O CONAMA regulamenta a redução de emissões veiculares no Brasil. O conselho é responsável por regular as emissões de veículos comerciais, leves e pesados, através do Programa de Controle de Emissões Veiculares (Proconve) (MAES, *et al.*, 2019).

O programa é atualizado continuamente e tem como objetivo garantir que os veículos novos tenham um desempenho melhor do que os veículos antigos. Cada atualização, denominada por fases, possui um prazo de implementação e metas definidas (MAES, *et al.*, 2019).

No início, as normas brasileiras possuíam restrições menos rigorosas do que as regulamentações da União Europeia (UE), conhecidas como série Euro. A série Euro visa reduzir simultaneamente as emissões de partículas e óxidos de nitrogênio (NOx) emitidos por motores de caminhões pesados a diesel, a fim de manter diretrizes de qualidade do ar (TADANO, *et al.*, 2014).

Embora nos últimos anos tenha havido melhorias na eficiência do consumo de combustível dentro da UE, o número de emissões está aumentando devido ao aumento do tráfego rodoviário de cargas. Portanto, os regulamentos da série Euro incluem mecanismos para incentivar a adoção de veículos de emissão zero ou reduzida por meio de tecnologias neutras (EUROPEAN COMMISSION, 2022).

Existem algumas associações entre os programas do Proconve e a série EURO. A fase P5 do Proconve equivale ao padrão Euro 3, que limita a emissão de material particulado (MP) a 0,1 g/kWh (GONDIM, *et al.*, 2021). Atualmente, o Proconve está na fase P8, que corresponde às normas da EURO 6. Neste programa, o limite máximo de emissão de poluentes em veículos pesados de uso rodoviário é de 0,01 g/kWh de MP (TSAI, *et al.*, 2020; GONDIM, *et al.*, 2021). Desde 2014, a Europa adota o Padrão Euro 6 (BRASIL, 2018; TSAI, *et al.*, 2020).

3.2.1 Programa de controle de emissões veiculares

O Programa de Controle de Emissões Veiculares, criado pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente em 1986, tem o intuito de reduzir os níveis de emissão de gases poluentes atmosféricos no transporte rodoviário, por meio de desenvolvimentos tecnológicos e conscientização daqueles que produzem e utilizam veículos automotores (IBAMA, 2016).

Este programa impôs uma política de estabelecimento de limites de emissões veiculares desde o primeiro ano (CARVALHO, *et al.*, 2015). O Proconve regula dois poluentes: NO_x e o MP (TSAI *et al.*, 2020). Outra medida do programa, implementada desde 2012, é a redução de enxofre nos combustíveis, como o diesel (CARVALHO, *et al.*, 2015).

O Proconve classifica os veículos conforme o seu peso bruto total, sendo caracterizadas por “L” para veículos leves e “P” para veículos pesados (massa total maior que 3.865 kg ou massa do veículo em ordem de marcha maior que 2.720 kg para transporte de passageiro e/ou carga) (IBAMA, 2016).

O programa para caminhões pesados é dividido em 8 fases. A primeira fase, P1, foi criada em 1990, seguida pela segunda fase, P2, que ocorreu entre 1991 e 1994. No entanto, essas duas primeiras fases não contribuíram significativamente para a redução dos níveis de emissão, devido aos valores-limites pouco restritivos (MAES, *et al.*, 2019; PACHECO, *et al.*, 2017). A terceira fase, P3, foi implementada entre 1995 e 1997, com limites rígidos para os gases monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC) e NOx, resultando em veículos com maior autonomia e potência (MAES, *et al.*, 2019).

Nos anos de 1998 a 2000 atuou na fase P4 do programa, seguidos pelas fases P5, P6 e P7 nos anos 2004, 2009 e 2012, respectivamente (PACHECO, *et al.*, 2017). Os limites de emissão das fases P5, P6 e P7 estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3- Limites de emissão em g/kWh das fases P5, P6 e P7

Limites de Emissões de Veículos pesados	Monóxido de Carbono (CO em g/kWh)	Hidrocarbonetos não Metano (NMHC em g/kWh)	Óxidos de Nitrogênio (NO _x em g/kWh)	Material Particulado (MP em g/kWh)	Observação sobre Material Particulado
Fase P5	5,45	0,78	5,0	0,16 ou 0,21	Aplicável somente a motores de cilindrada unitária inferior a 0,75 dm ³ e rotação à potência nominal superior a 3000 min ⁻¹ ;
Fase P6	4	0,55	3,5	0,03	Aplicável a todos os motores
Fase P7	1,5	0,55	2	0,03	Aplicável a todos os motores
Fase P8	1,5	-	0,4	0,01	Aplicável a todos os motores

Fonte: Pacheco, *et al.* (2017), CONAMA (2018)

No Brasil permaneceu na fase P7 até 31 de dezembro de 2022. Esta fase impõe limites de gases poluentes, tais como: NOx, HC, CO, metano (CH₄), MP,

hidrocarbonetos não metano (NMHC) e amônia (NH₃). Para o material particulado, a fase P7 estabelece o limite de capacidade para veículos, parâmetros para mensuração, análise da fumaça e grau de poluição veicular (CNT, 2020).

No Programa P7, foi implementado um sistema de pós-tratamento dos gases de escapamento. A tecnologia utilizada é conhecida como Redução Catalítica Seletiva (SCR), que envolve o uso do Agente Redutor Líquido de NOx Automotivo (ARLA 32), ou a tecnologia de Recirculação dos Gases de Escape (EGR). Em ambos os casos, os veículos devem ser abastecidos com diesel de baixo teor de enxofre, contendo apenas 10 partes por milhão (ppm), ou seja, 10 miligramas por quilograma (mg/kg), comercialmente conhecido como diesel S-10 (CNT, 2020).

No início de 2023, foi implementada a nova fase P8 do Proconve para veículos pesados. Essa fase exige que todos os novos caminhões pesados e ônibus reduzam aproximadamente 80% das emissões de NOx (CETESB, 2020). Nessa fase, será utilizado combustível com adição de biodiesel, e há a obrigatoriedade de registro e declaração dos valores de emissão de CO₂ e consumo de combustível em unidades de g/kWh, através do método do balanço de carbono. Além disso, é necessário que o fabricante ou importador comprove o atendimento aos limites máximos de emissão de poluentes, os quais variam de acordo com a quilometragem e o tempo mínimo de uso (BRASIL, 2018).

3.3 Metodologias para mensurar e relatar GEE

Existem etapas básicas para divulgar as emissões de GEE na logística. Inicialmente, é necessário calcular a quantidade de gases emitidos desde o fornecedor inicial até o cliente final (SMART FREIGHT CENTRE e WBCSD, 2023). Para isso, existem diversos programas, ferramentas, estruturas e metodologias que quantificam as emissões dos GEE (WILD, 2021).

3.3.1 Análise de Ciclo de Vida (ACV)

Uma abordagem sistemática que avalia os danos ambientais de um produto, serviço ou sistema, incluindo o impacto de toda a cadeia de valor associada ao longo dos estágios da vida do produto, é a metodologia *Life Cycle Assessment*, em português “Análise de Ciclo de Vida”. Esta metodologia segue as normas da

Organização Internacional de Normalização (ISO) (KAUR, *et al.*, 2022, YACHAI, *et al.*, 2021).

Para efetuar a análise do ciclo total de combustível da cadeia de suprimentos de caminhões pesados, avalia-se a estrutura do poço à roda, também conhecido pelo termo em inglês "*Well-to-Wheels*" (WTW), o qual calcula as emissões relacionadas à etapa de extração, refino e transporte (RAVIGNÉ; DA COSTA, 2021; VENTURA *et al.*, 2017). Quando se consideram as emissões do poço à roda, deve-se quantificar também as emissões causadas pela produção e fornecimento de combustível ou energia para o veículo (HEINOLD; MEISEL, 2018). Geralmente, o consumo de energia e a quantidade de emissões de GEE não são contabilizados durante a fabricação do veículo, todavia contribuem e fazem parte do ciclo de vida (ELANGO VAN, *et al.*, 2021).

Outro estágio do poço à roda que deve ser contabilizado é o alcance das matérias-primas. O combustível ainda não processado é recuperado através de uma fonte natural; a partir do processamento, os materiais e as matérias-primas são convertidos em combustível utilizável e são transportados por meio de canais de distribuição (VENTURA, *et al.*, 2017).

Outra abordagem para calcular o nível de emissões é denominada "tanque à roda", em inglês "*Tank-to-Wheel*" (TTW). Este método considera somente as emissões reais de operação (HEINOLD; MEISEL, 2018). Essas são calculadas levando em consideração 1 litro de diesel ou 1 kg de gás, e não são consideradas as etapas de extração e refino dos combustíveis (RAVIGNÉ; DA COSTA, 2021).

Propõem-se duas formas para a estimativa da quantidade de emissões: a abordagem "de cima para baixo" ("*top-down*"), que se baseia no consumo ou na estimativa do consumo do combustível utilizado em um meio de transporte, além de definir fatores de emissão para o respectivo combustível; e a abordagem "de baixo para cima" ("*bottom-up*"), que explora parâmetros relevantes nas atividades realizadas no transporte e calcula diretamente o consumo de combustível de cada setor (HEINOLD; MEISEL, 2018; LU, *et al.*, 2017).

Algumas ferramentas se destacam para auxiliar no cálculo das emissões de Gases de Efeito Estufa e para o desenvolvimento de relatórios sustentáveis. Entre elas estão: o programa *SmartWay Transport*, realizado pelo *Environmental Protection Agency* (EPA) dos Estados Unidos; o *Greenhouse Gas Protocol*, um programa criado por empresas multissetoriais; o *GLEC Framework*, desenvolvido pelo *Smart Freight Center* em conjunto com um grupo de empresas associadas; e a iniciativa *EcoTransIT*

(EWI), que consiste em uma plataforma independente voltada para a indústria, transportadoras, expedidores e provedores de serviços logísticos (DU PLESSIS; VAN EEDEN; GOEDHALS-GERBER, 2022; WILD, 2021).

3.3.2 Programa GHG Protocol

O padrão mais reconhecido para medir as emissões de gases de efeito estufa é o *Greenhouse Gas Protocol* (NIEUWENHUISI; BERESFORD; CHOI, 2012). O *GHG Protocol* é uma iniciativa feita a partir de metodologias desenvolvidas por duas organizações globais, o *World Resource Institute* (WRI) e o *World Business Council* (WBCSD), além da versão brasileira administrada desde 2008 pelo Centro de Estudos em Sustentabilidade, da Fundação Getúlio Vargas (FGVces) (DINIZ, *et al.*, 2021).

O intuito do *GHG Protocol* no Brasil é promover ações corporativas para mensurar, divulgar e gerenciar voluntariamente as emissões dos gases do efeito estufa. Isso visa fornecer aos participantes ferramentas e padrões de qualidade internacional para contabilizar e compilar o inventário de GEE de forma precisa e eficiente (FGV, 2022^a).

Em um inventário do *GHG Protocol* é necessário a inclusão de todos os gases, internacionalmente reconhecidos pelo Protocolo de Kyoto, ou seja, CO₂, CH₄, óxido nitroso (N₂O), hidrofluorcarbonos (HFCs), perfluorcarbonos (PFCs) e enxofre-hexafluoreto (SF₆) (GIELEN, KRAM, 1998; FGV, 2022^a).

Para a realização de um inventário, é necessário que a instituição determine os limites organizacionais e operacionais. Os limites operacionais estão vinculados às atividades da empresa, podendo ser categorizadas como emissões diretas ou indiretas. (FGV, 2022^a).

As emissões diretas derivam de atividades controladas pelas empresas, como o uso de caldeiras, fornos, veículos, processos produtivos, equipamentos e outros. Por outro lado, as emissões indiretas resultam de atividades empresariais, mas são geradas por fontes externas à própria empresa (WANGSA, *et al.*, 2020). Adicionalmente, é necessário selecionar um escopo para a contabilização e elaboração do inventário, e existem três escopos distintos definidos como Escopo 1, 2 e 3. Suas classificações e exemplos são apresentados no Quadro 6 (FGV, 2022^a).

Quadro 6 - Classificações e exemplos dos escopos 1, 2 e 3

Escopo 1	
Classificações	Exemplos
Combustão estacionária	Caldeiras, fornos, queimadores, turbinas, aquecedores, incineradores, motores, geradores, explosivos, flares etc.
Combustão móvel	Carros, motocicletas, caminhões, ônibus, tratores, empilhadeiras, aviões, trens, navios, barcos etc.
Processos industriais	Produtos minerais: produção de cimento, cal, vidro, barrilha, magnésio, produtos da indústria siderúrgica etc. Indústria química: produção de amônia, ácido nítrico, ácido edípico, caprolactama, ácido fosfórico etc. Indústria metalúrgica: processo de redução do minério de ferro, na indústria do alumínio etc.
Resíduos sólidos e líquidos:	e Compostagem de resíduos alimentares (CO ₂ e CH ₄), manejo de dejetos de animais (CH ₄ , N ₂ O), tratamento de esgoto (CH ₄ e N ₂ O), resíduos aterrados (CH ₄), incineração de resíduos perigosos-(CO ₂ , CH ₄ e N ₂ O), etc.
Fugitivas	Extintores de incêndio (CO ₂); vazamento de equipamentos elétricos de alta capacidade (SF ₆); vazamento de equipamentos de refrigeração e ar-condicionado (HFC ou PFC); vazamento da tubulação do gás natural (CH ₄); entre outros.
Agrícolas	Fermentação entérica (CH ₄), cultivo de arroz (CH ₄), preparo do solo (CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O), emissões provenientes da utilização de fertilizantes nitrogenados (N ₂ O), entre outros.
Mudanças no uso do solo	Recuperação de pastagens em áreas de florestas, desmatamento de área florestal para construção de uma indústria etc.
Emissões de CO ₂ biogênico	Emissão de CO ₂ biogênico por conta da queima de biocombustíveis, pela supressão de vegetação plantada, pela decomposição de material orgânico, entre outros.
Remoções biogênicas de CO ₂	Vegetação plantada (silvicultura com objetivo comercial), aumento do estoque de carbono no solo, culturas sazonais (grãos, cana-de-açúcar), entre outros
Escopo 2	
Classificações	Exemplos
Aquisição de energia elétrica	Emissões relacionadas à aquisição de energia elétrica.
Aquisição de energia térmica	Emissões relacionadas ao consumo de energia térmica gerada por terceiros.
Perdas por transmissão e distribuição	Emissões relacionadas à parcela de energia elétrica perdida pelos sistemas de transmissão e distribuição, sendo aplicável somente a empresas que possuem tais sistemas em suas operações.
Escopo 3	
Classificações	Exemplos
Emissões Upstream	Emissões indiretas de GEE relacionadas a bens e serviços comprados ou adquiridos
Emissões Downstream	Emissões indiretas de GEE relacionadas bens e serviços que não foram comprados ou adquiridos

Fonte: Adaptado de FGV (2022^a)

Os escopos 1 e 2 são determinados antecipadamente. O Escopo 1 abrange as emissões diretas, enquanto o Escopo 2 abrange as emissões indiretas, ou seja, aquelas relacionadas à geração de eletricidade adquirida e consumida pelas organizações (NOVAES DAS VIRGENS; ANDRADE; HIDALGO, 2020, FGV, 2022^a).

Quando existem outras emissões indiretas provenientes de fontes que não são de propriedade nem controladas pela organização, mas que ainda estão relacionadas a ela, utiliza-se o Escopo 3. Geralmente, a avaliação do Escopo 3 é a mais desafiadora e complexa, uma vez que envolve estimativas mais detalhadas e abrangentes (NOVAES DAS VIRGENS; ANDRADE; HIDALGO, 2020).

No Brasil, o *GHG Protocol* considera o relato de emissões de GEE através de certificados (DINIZ, *et al.*, 2021). O programa também propõe a construção de uma plataforma nacional, na qual é possível publicar inventários de GEE corporativos e organizacionais (FGV, 2022a). Além disso, ele faz o reconhecimento das empresas que demonstram transparência e completude pelas informações publicadas sobre as emissões dos gases do efeito estufa através do “selo prata”, estimulando assim a competitividade (FROIO, BEZERRA, 2021).

3.3.3 Global Logistics Emissions Council (GLEC)

O *Global Logistics Emissions Council* (GLEC), em português Conselho Global de Emissões Logísticas, foi criado em 2014 para gerar cálculos e relatórios abrangentes de emissões logísticas de GEE (SMART FREIGHT CENTRE, 2023).

Em 2016, os membros da *Smart Freight Center* desenvolveram uma metodologia denominada *GLEC Framework*. Essa metodologia atua como um guia para embarcadores, transportadoras e provedores de serviços logísticos calcularem e relatarem as emissões de suas operações. Além disso, a metodologia está em conformidade com os requisitos estabelecidos pelo *GHG Protocol* (GHG, 2016). Em 2019, foi lançada a versão 2.0 do *framework*, e em 2021 houve a expansão para incluir a língua espanhola (SMART FREIGHT CENTER, 2021).

A metodologia GLEC é fundamentada em abordagens já estabelecidas, como a *European Standard-EN16258*, *SmartWay* e a plataforma *EcoTransIT*. No entanto, o *GLEC Framework* oferece um padrão inicial de construção harmonizado. É importante notar que a ISO tem a intenção de oficializar esse padrão por meio da norma ISO 14.083 (WILD, 2021).

Por meio da estrutura GLEC, é possível mapear a quantidade de carbono em uma distribuição, avaliar todos os veículos de transporte envolvidos, incluir armazenamento, refrigeração, além de sugerir fatores de intensidade para os modos de transporte e exemplificar aplicações de cenários no *framework* (DU PLESSIS; VAN EEDEN; GOEDHALS-GERBER, 2022).

Como o GLEC Framework se baseia nos princípios do GHG *Protocol*, para a realização do cálculo de GEE, é necessário seguir três passos iniciais: estabelecer limites e metas, ou seja, definir qual escopo será utilizado, conforme descrito na seção 3.3.1; definir os objetivos finais do cálculo; e determinar as fontes dos dados (SMART FREIGHT CENTRE, 2019).

Para a coleta de dados, é necessário que as empresas comecem por definir qual é o objetivo de divulgar as emissões. Isso pode ser necessário para a criação de relatórios exigidos por clientes, para tomadas de decisões empresariais ou até para otimização de processos de dados. Após estabelecer o objetivo, a empresa que elabora o relatório deve analisar qual nível de dados será coletado. Isso significa determinar se os dados serão extraídos das operações internas da empresa ou se serão utilizados dados genéricos presentes na cadeia de transporte (SMART FREIGHT CENTRE; WBCSD, 2023).

Os tipos de dados influenciam diretamente na precisão dos resultados, por isso é necessário coletar dados consistentes e de qualidade para auxiliar no cálculo. O programa GLEC estabeleceu quatro categorias (SMART FREIGHT CENTRE, 2019):

- a) Dados primários ou dados reais: são considerados os de melhor qualidade, quando a própria empresa quer calcular a quantidade de emissão do Escopo 1, esses dados são obtidos através de operadores locais de transporte ou logística. Se o objetivo for relatar no Escopo 3, ou seja, a empresa utiliza o serviço de transporte de forma indireta, deve-se buscar esses dados em transportadoras. Os dados primários constituem em receitas de combustíveis e valores agregados que refletem a intensidade de combustível ou emissão de um veículo.
- b) Dados de programas ecológicos: Os programas de fretes ecológicos geralmente possuem uma plataforma neutra para coletar e compartilhar dados confiáveis, esses dados auxiliam a identificar potenciais estratégias de economia de energia, custos e emissões.

- c) Dados modelados: Empresas e fornecedores de ferramentas modelam dados de utilização de combustíveis e de emissões de gases, através de informações disponíveis sobre tipos de mercadorias, tamanhos de remessa, origem e destino da jornada, e qualquer informação sobre veículos usados, fatores de cargas e outros. A relevância dos dados de saídas dependerá do nível de detalhe disponível sobre a operação de transporte, bem como dos algoritmos do modelo.
- d) Dados Padrão: Se não houver outro dado disponível, o último recurso é usar os dados padrões, esses são dados pré-definidos, considerados uma indicação geral de emissões.

Com a definição dos dados, é necessário escolher o fator de emissão, conforme explicado detalhadamente na Seção 3.5. A partir desse fator, será possível calcular as emissões totais e sua intensidade. É fundamental estabelecer métricas por meio de indicadores, tanto para avaliar a quantidade de gases emitidos quanto para mensurar a qualidade dos dados (SMART FREIGHT CENTRE; WBCSD, 2023).

Em novembro de 2021, as estratégias da GLEC foram revistas e atualizadas para o período de 2022 a 2024. O objetivo dessa atualização é medir as emissões para o Escopo 3, conforme definido no *GHG Protocol*. Dessa forma, os membros associados poderão utilizá-las para tomar decisões comerciais voltadas para compras ecologicamente conscientes, selecionar modos, rotas e transportadoras mais eficientes com vistas à redução de emissões CO₂e (SMART FREIGHT CENTER, 2021).

3.3.4 Transport EcoTransIT (EWI)

A EcoTransIT é uma iniciativa independente criada por meio de uma plataforma direcionada para a indústria, transportadoras, provedores de serviços logísticos e expedidores. Este programa tem a responsabilidade de desenvolver uma metodologia globalmente reconhecida para calcular a pegada de carbono, conhecida como calculadora EcoTransIT World (ETW). Além disso, a iniciativa avalia o impacto ambiental do setor de transporte de cargas (WILD, 2021).

A ETW é a primeira ferramenta de cálculo de emissão compatível com a estrutura global da GLEC Framework. Por isso, está alinhado com as emissões de GEE pelo método *Well-to-Wheel*, de acordo com os escopos do *GHG Protocol* (ETW, 2022).

A abordagem do programa EcoTransIT World determina as emissões por meio do método *bottom-up*, o qual estabelece a quantidade de gases emitidos em gCO₂e/TKm pelo produto do fator de emissão e pelo peso da carga em uma determinada distância percorrida. Essa abordagem simula toda a logística, desde o tipo de estrada, a classe e as propriedades do veículo até o combustível consumido (ETW, 2019).

O método se inicia por meio do roteamento interno para a determinação das rotas, e logo após é realizada a subdivisão de acordo com o tipo de caminhão. O terceiro passo consiste em determinar a energia necessária para o consumo de combustível e as emissões, e isso está relacionado com o tipo e a classe do veículo. Para a fórmula do cálculo de energia, são utilizados parâmetros como peso da carga, fator de carga, tipo e consumo de combustível, fatores de emissão e distância percorrida. Por fim, será realizada a soma e a saída dos resultados (ETW, 2019).

A calculadora permite avaliar o consumo de energia primária dos transportes de carga. Ao introduzir as características citadas acima, a ferramenta utilizará o banco de dados para entregar os dados de saída, ou seja, o consumo de energia, a quantidade de emissão de gases de efeito estufa, os poluentes do ar e as distâncias. Todavia, esse *software* possui dificuldades relacionadas à contabilização dos custos de infraestrutura do transporte e da sua fabricação (ETW, 2019, KOTIKOV; KRAVCHENKO, 2020).

3.3.5 Network for Transport Measures (NTM)

A NTM é uma organização sem fins lucrativos criada com o mesmo objetivo das outras metodologias já analisadas, a NTM atua com intuito de calcular emissões e avaliar os impactos ambientais do transporte, além de implementar de forma inicial estratégias de melhorias. Essa ferramenta é desenvolvida para compradores e fornecedores de serviços em transporte (PETRO; KONEČNÝ, 2017, NTM, 2023).

Sua metodologia é compatível com o European Standard EN16258 e com o GHG Protocol, e faz uso de dados padrão pré-determinados para calcular o consumo de combustível e as emissões de GEE e poluentes (NTM, 2023). A NTM classifica cinco sistemas de limites para auxiliar no cálculo das emissões de CO₂e relacionadas aos transportes, como mostrada no Quadro 7 (DEHDARI; WLCEK; FURMANS, 2023).

Quadro 7- Sistemas de Limites NTM

SISTEMAS DE LIMITE	DEFINIÇÃO
SISTEMA 5	- Funções administrativas, pessoal e outros.
SISTEMA 4	- Veículos: construção e sucateamento. - Infraestrutura de tráfego e infraestrutura de transporte. - Infraestrutura de serviço e manutenção.
SISTEMA 3	- Serviço e manutenção de veículos. - Infraestrutura de transportes (terminais).
SISTEMA 2	- Fornecimento de Energia (Well- to-tank/usina)
SISTEMA 1	Operações de trafico: Propulsão (motores/energia), evaporação e perdas de bateria, controle climático de cargas.

Fonte: Adaptado Dehdari, Wlcek, Furmans (2023)

Para definir o sistema de limites, é necessário estabelecer qual o objetivo da utilização dos dados. O Sistema 1 é considerado para as decisões operacionais, como o planejamento de rotas, enquanto o Sistema 2 é utilizado para decidir sobre os tipos de combustíveis a serem adquiridos. O Sistema 3 desempenha um papel nas decisões táticas, como hubs logísticos, transporte intermodal e outros pontos. Os últimos dois sistemas, 4 e 5, são utilizados para decisões estratégicas, como um projeto da rede de cadeia de suprimentos (DEHDARI; WLCEK; FURMANS, 2023).

Para avaliar as emissões das operações de transporte, o NTM desenvolveu uma ferramenta denominada NTM *Calc* 4.0 de 2020, que utiliza dados padrões de aproximadamente nove a doze fatores influentes, como, por exemplo, a velocidade, número de paradas, fretes vazios e especificações de cargas (DEHDARI; WLCEK; FURMANS, 2023). Além disso, o banco de dados do método contém informações como consumo de combustível e fatores de emissão. Através de um algoritmo em uma interface da *web*, é possível analisar os dados de entrada, calcular e obter os dados de saída (NTM, 2023).

3.3.6 SmartWay

As emissões indiretas geradas na cadeia de abastecimento geralmente representam a parte mais significativa da pegada total de uma empresa. As organizações costumam ter dificuldade em obter os dados necessários para relatar as emissões de transporte e, por isso, a *SmartWay* fornece os dados sobre emissões relacionados ao frete quando as próprias empresas associadas não os possuem (EPA, 2022b).

O programa *SmartWay* foi desenvolvido em 2004 em conjunto com o Programa Ambiental dos Estados Unidos (EPA) e *Charter Partners*, com o intuito de melhorar a eficiência de combustível e reduzir as emissões de gases de efeito estufa na cadeia de suprimentos de transporte (WILD, 2021).

Para isso, o programa estabeleceu diversas oportunidades de melhoria ambiental, dentre elas um conjunto de tecnologias que permitem verificar a contribuição relativa da economia de combustível e a capacidade de adaptação. Estabeleceu também valores de referência para alcançar metas de melhoria na economia e redução das emissões de CO₂, além de estabelecer protocolos e critérios de elegibilidade do termo "*SmartWay*" para a verificação dos caminhões de classe 8 e reboques grandes.

3.3.7 IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas)

O IPCC é considerado o órgão da ONU o qual avalia a ciência relacionada às mudanças climáticas. A metodologia atualizada do IPCC em 2019 auxilia os governos a estimar as emissões e criar estratégias para eliminar os gases de efeito estufa (IPCC, 2019^a).

O órgão criou diretrizes no ano de 2006 e foi atualizado em 2019 com a divulgação do relatório "*The 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines on National Greenhouse Gas Inventories*", o qual fornece uma metodologia a partir de uma base científica para estimar fontes que produzem emissões de GEE, além de abordar lacunas da ciência, novas tecnologias e processos de produção (IPCC, 2019^a).

O relatório proporciona, ainda, novas tecnologias e estratégias para a redução de carbono. A metodologia fornece valores padrão atualizados de fatores de emissão e outros parâmetros (IPCC, 2019^b).

A atualização realizada em 2019 segue as orientações metodológicas do relatório "*2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*". Para realizar o cálculo de GEE é necessário ter as variáveis que quantificam as emissões como, por exemplo, o consumo de combustível e os fatores de emissão. O relatório é composto por 5 capítulos que tratam temas como energia, processos industriais, agricultura e resíduos para auxiliar na avaliação (IPCC, 2006).

Além do cálculo, o programa fornece orientações para garantir a qualidade do inventário, desde a coleta de dados até a geração do relatório. Para isso, são seguidas algumas etapas em conjunto com indicadores, como a coleta de dados, avaliação de

incerteza para todas as categorias, consistência da série temporal, garantia e controle de qualidade, precursores e emissões indiretas, bem como a execução do relatório (IPCC, 2006).

3.4 Fatores de emissão

Um dos métodos mais eficientes para estimar as emissões de gases de efeito estufa é por meio da conversão dos valores de energia em emissões de gases. Isso é realizado através da utilização de fatores de emissão (KELLNER; IGL, 2015). O fator de emissão, também conhecido como coeficiente de emissão, é o valor que quantifica as taxas de emissão em quilogramas liberados para uma determinada unidade de energia ou distância percorrida. Com isso, é possível analisar e determinar uma rota mais ecológica (HEINOLD; MEISEL, 2018, RAVIGNÉ; DA COSTA, 2021).

Alguns fatores de emissão são de natureza geográfica e outros de natureza física, como a inclinação da rota, tamanho de veículo e velocidade média (HEINOLD, MEISEL, 2018). Existem métodos matemáticos que calculam a quantidade de CO₂e emitida, utilizando distintas variáveis (ELANGO VAN, *et al.*, 2021, VENTURA, *et al.*, 2017). Mesmo que os níveis de emissão dependam dos tipos de motor, das condições das estradas e do comportamento dos motoristas, sempre haverá uma relação geral entre o peso do veículo e as emissões (ELHEDHLI; MERRICK, 2012).

A quantidade de gases emitidos por tonelada-quilômetro (T-km) é a medida típica para calcular os impactos ambientais do transporte (HEINOLD; MEISEL, 2018). Quando se monitora a tonelagem-quilômetro (T-Km) de um caminhão, há a possibilidade de avaliar a eficiência energética com base em várias informações, incluindo o consumo de combustível e a carga total do transporte em toneladas-quilômetros. (LIIMATAINEN, *et al.*, 2012).

As avaliações das emissões dos gases de transportes exigem compreensão detalhada das tendências e dos fatores que impactam o movimento de mercadorias (CREUTZIG, 2014). Embora os gases de efeito estufa englobem diversas substâncias, como dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, hidrofluorcarbonos, perfluorcarbonos e hexafluoreto de enxofre, o cálculo para analisar o potencial de aquecimento global pode ser expresso em equivalentes de dióxido de carbono (CO₂e) (HEINOLD; MEISEL, 2018).

Como a combustão de um litro de combustível fóssil afeta quantidades específicas de gases do efeito estufa, a quantidade de CO₂e por litro de um

determinado combustível é fixa (KIRSCHSTEIN; MEISEL, 2015). A ferramenta GHG Protocol não utiliza dados nacionais para definir os fatores de emissão de transportes de cargas rodoviárias, o programa utiliza os fatores provenientes do governo do Reino Unido (FGV, 2022^a).

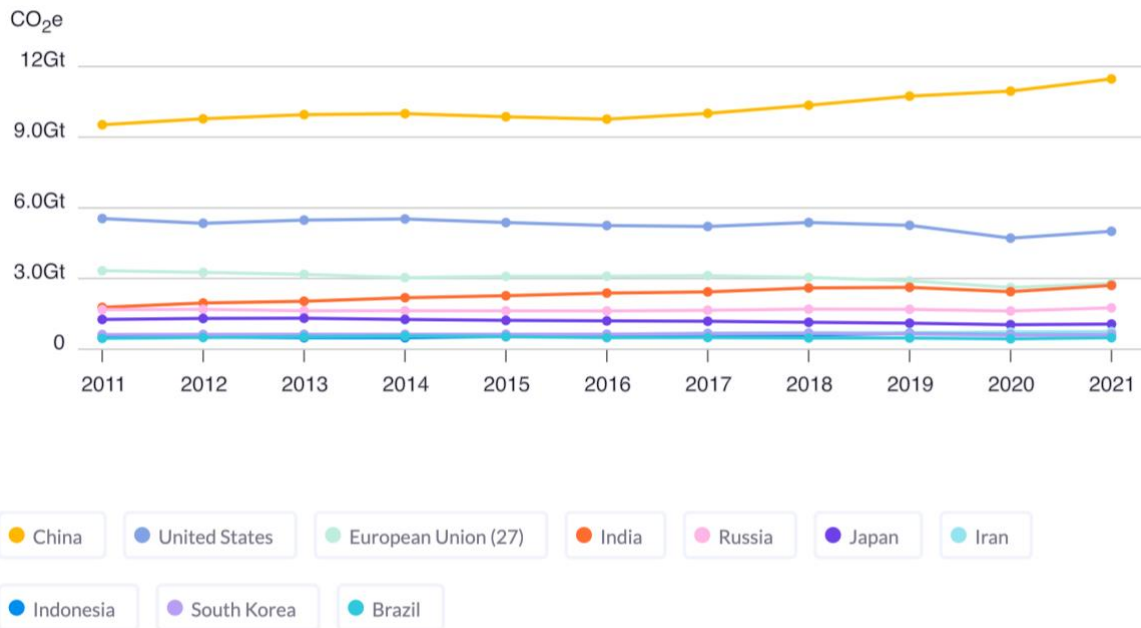
Com os coeficientes de emissão e a quantidade total de combustível consumida por veículo, seja caminhão, avião ou navio, as emissões totais resultantes são diretamente calculadas por meio de multiplicações (KIRSCHSTEIN; MEISEL, 2015).

Para veículos elétricos, a energia consumida no processo de transporte (WTW) precisa ser multiplicada por um coeficiente de emissão. Esse coeficiente expressa a quantidade GEE emitida através da eletricidade consumida. O coeficiente varia de acordo com o país, uma vez que depende da fonte da energia utilizada para produzir eletricidade (KIRSCHSTEIN; MEISEL, 2015).

Os autores Ventura, Kweon, *et al.* (2017) calcularam o consumo de emissão de um caminhão elétrico utilizando variáveis como a quilometragem, a eletricidade consumida e fatores como eficiência na transmissão de rede elétrica, carga útil e eficiência do caminhão. A eficiência do caminhão elétrico tem influência nas emissões e no consumo de energia. Com o avanço da tecnologia dos veículos elétricos e das baterias, o consumo de energia e as emissões de gases de efeito estufa reduzem significativamente (ELANGO VAN, *et al.*, 2021).

3.5 Descarbonização

As emissões de gases de efeito estufa são causadas pelo homem e impulsionam impactos ambientais adversos (INGRAO, *et al.*, 2021). Entre os anos de 2011 e 2021, os 10 maiores países emissores de CO₂ incluíam China, Estados Unidos, Índia, Rússia, Indonésia, Brasil, Japão, Irã e Coreia do Sul e os 27 membros da União Europeia. Esses países foram responsáveis por aproximadamente 60% das emissões de gases de efeito estufa, conforme mostrado na Figura 3.

Figura 3 - Emissões de gases do efeito estufa

Fonte: GLOBAL CARBON PROJECT, 2022

A China foi o país que mais emitiu GEE entre o período de 2011 a 2021, resultando em uma média anual de 1.022.083,82 MtCO₂e. Os Estados Unidos foi o segundo país que mais emitiu gases, com uma média anual de 528.181,91 MtCO₂e. O Brasil se encontra em última posição, emitindo uma média anual de 49.582,82 MtCO₂e. No ano de 2014, o país alcançou o maior valor de emissão, com 55.790 MtCO₂e. No entanto, no ano de 2021, houve uma queda de 12,3% nas emissões. (GLOBAL CARBON PROJECT, 2022).

O setor de transporte possui uma relevância global nas emissões de gases de efeito estufa dentro da cadeia de suprimentos, principalmente quando relacionado ao uso de energia fóssil (INGRAO, *et al.*, 2021). Devido à extensa utilização de combustíveis derivados do petróleo, o transporte de carga, incluindo os veículos pesados, é um dos principais contribuintes para as emissões mundiais de dióxido de carbono (CINTIA MACHADO DE OLIVEIRA, 2017).

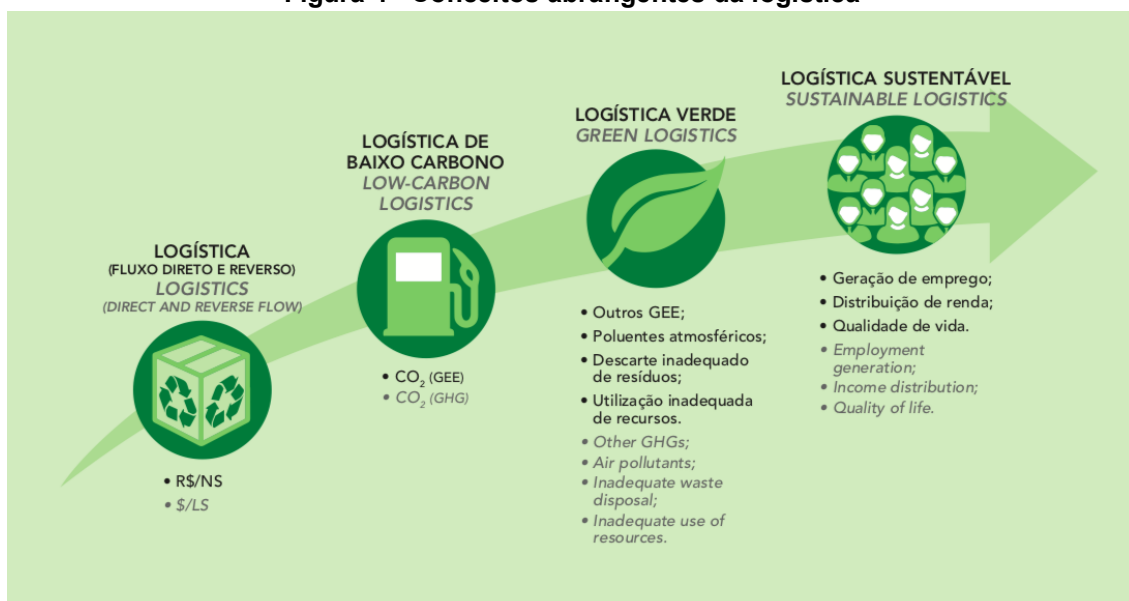
Por exemplo, nos Estados Unidos, o setor de transporte consome anualmente cerca de 5 bilhões de barris de petróleo por meio dos meios de transporte de pessoas e cargas, resultando em emissões significativas de gases (SULLIVAN; LEWIS; KEOLEIAN, 2018). Com isso, o transporte rodoviário mundial foi responsável pela maior parte das emissões. No ano de 2020, esse setor emitiu aproximadamente 74% de todos os gases de efeito estufa GEE (WORLD ECONOMIC FORUM, 2022).

No Brasil, no mesmo ano, aproximadamente 48% das emissões nacionais foram atribuídas ao transporte rodoviário, com 23% relacionados ao transporte de passageiros e 25% ao transporte de cargas (IEMA, 2020). Em uma análise de emissões realizada por Lobato, Rodrigues, Santos (2021), constatou-se que em 2019 havia 1.519.529 veículos licenciados, totalizando 99.320.725 toneladas de gases de efeito estufa. Dentro desse valor, 63% foram emitidos por veículos a diesel, e também foram registrados 19.963 caminhões pesados que geraram 8.811.750 toneladas de CO₂e(t).

Por isso, há um consenso global para desenvolver estratégias que visam a redução das emissões de carbono no setor logístico, com o objetivo de desacelerar e mitigar os impactos das mudanças climáticas. Essas ações são conhecidas como estratégias de descarbonização (MEYER, 2020). O Acordo de Paris, por exemplo, estabeleceu a meta de reduzir as emissões desses gases em 80% até 2050 (INGRAO, *et al.*, 2021).

Como resultado, as empresas precisam avaliar opções e mecanismos para cumprir suas obrigações legais e reduzir as emissões de carbono por meio de ações sustentáveis (CHAABANE; RAMUDHIN; PAQUET, 2011). Isso levou a uma expansão do conceito de logística, introduzindo termos como logística de baixo carbono, logística verde e sustentável. A Figura 4 apresenta uma visualização abrangente desses conceitos na logística (D'AGOSTO, *et al.*, 2018).

Figura 4 - Conceitos abrangentes da logística



Fonte: D'agosto et al. (2018)

A logística de baixo carbono tem como objetivo reduzir a utilização de combustíveis fósseis e as emissões de CO₂. Já a logística verde envolve a consideração de atributos ambientais, como emissões de poluentes atmosféricos, ruídos e vibrações, consumo de água e geração de resíduos. Por fim, a logística sustentável considera aspectos sociais para o desempenho logístico (D'AGOSTO *et al.*, 2018).

Soluções viáveis, como o desenvolvimento de um design e a gestão da cadeia de suprimentos, tornam o setor de transporte de carga mais ecológico. Isso contribui para a implementação de sistemas de logística verde e, conseqüentemente, reduz a emissão de carbono e a pegada energética na distribuição de mercadorias (ELHEDHLI; MERRICK, 2012, INGRAO, *et al.*, 2021).

A introdução de boas práticas envolve uma série de ações que guiam a busca por uma maior sustentabilidade neste setor. De acordo com D'Agosto *et al.* (2018), essas práticas podem ser definidas em quatro categorias:

- a) Redução da atividade do transporte de carga;
- b) Substituição modal, utilizando modais que possuem reduzem o consumo de energia e demanda uma infraestrutura;
- c) Utilização de veículo mais Energico-eficientes, capaz de reduzir a intensidade energética;
- d) Uso de fontes de energia que diminuam as emissões de CO₂, como energia elétrica de fontes renováveis e biocombustíveis.

Estima-se que a implementação de práticas de eficiência energética, como medidas táticas (veículos híbridos, aquisição de caminhões de baixo consumo e caminhões de reboques leves) e medidas operacionais (eco condução, limites de velocidade, caminhões e reboques aerodinâmicos e otimização do uso de pneus e óleos), pode resultar em uma redução de 21% no consumo de combustível por caminhão. Isso equivale a aproximadamente 13 milhões de litros e 34 mil toneladas de CO₂ economizados anualmente (LIIMATAINEN, *et al.*, 2012).

Outra alternativa é comparar uma viagem mais curta que utilize menos combustível. Essa ação parece logicamente levar a uma geração menor de emissões GEE e partículas. No entanto, é importante considerar outros fatores, como o tempo de partida, o método de condução e o consumo de combustível. Pode acontecer de

haver um gasto de energia maior em uma rota curta, devido a esses outros elementos (NG; LAM; SAMUEL, 2019).

Para auxiliar nas ações de descarbonização, existem algumas medidas mecânicas, como a redução do atrito entre o sistema e o ambiente, através da minimização da resistência ao rolamento e do arrasto aerodinâmico. Esses fatores têm um impacto direto nas emissões de carbono. Portanto, é importante enfatizar a importância das intervenções na fonte de energia, na transmissão e na massa do veículo (SULLIVAN; LEWIS; KEOLEIAN, 2018).

Outras ações, como evitar a marcha lenta, limitar a velocidade de condução e monitorar a calibragem dos pneus, também podem resultar em redução de emissões de gases (LIIMATAINEN, *et al.*, 2012). Os mesmos autores mencionam que melhorar os *backhauls* (cargas de retorno) e adotar o pré-aquecimento do motor durante o inverno são medidas que, quando implementadas, podem levar a uma economia de 5 a 15% nas emissões.

Os caminhões que adotam essas tecnologias mais modernas, juntamente com uma manutenção adequada do motor e dos pneus, podem melhorar de maneira significativa a economia e a eficiência dos combustíveis (CREUTZIG, 2014). A redução da resistência dos pneus e o uso de óleos que melhoram a eficiência energética são meios de reduzir desperdícios dentro das empresas (LIIMATAINEN, *et al.*, 2012).

Uma outra opção é reduzir a frequência de movimentação de transportes sem carga, permitindo uma utilização mais eficiente do veículo (WANGSA, *et al.*, 2020). De acordo com Kannan, *et al.* (2012), a carga carregada está diretamente relacionada com as emissões; a pegada de carbono é proporcional ao volume de mercadorias transportadas (WANGSA, *et al.*, 2020).

Nesse contexto, o fornecedor desempenha um papel fundamental na determinação da quantidade de mercadorias a serem carregadas pelos veículos, assim como na escolha do modelo de caminhão mais adequado, considerando seu fator de emissão de carbono. Isso ocorre porque há veículos com a mesma capacidade, porém com diferentes emissões de carbono (ANVAR; SADEGHEIH; ZAD, 2018).

Vale ressaltar que os caminhões vazios também geram emissões de gases de efeito estufa, e aproximadamente 35% das operações de caminhões de carga são executadas sem mercadorias (PEREZ-MARTINEZ, MIRANDA, ANDRADE, 2020). O

consumo de combustível quando os caminhões operam vazios é mais comum em setores que lidam com bens a granel e em indústrias que carregam grandes volumes com densidade e fluxos de mercadorias desequilibrados. Por isso, é importante analisar as diferenças entre setores para considerar a eficiência energética dos transportes (LIIMATAINEN, *et al.*, 2012).

Uma oportunidade interessante é a troca de mercadorias entre diferentes fabricantes, o que reduz os custos de transporte, impulsiona os lucros e contribui para a redução das emissões de carbono. Essa ideia se baseia no conceito de agrupamento na cadeia de suprimentos, que envolve a combinação de cargas associadas a uma mesma região (MANGINA, *et al.*, 2020).

A terceirização de operações de transporte, viagens de múltiplos destinos e plataformas de combinação de fretes tende a aumentar no futuro, impulsionada pela digitalização do setor. Com um sistema conectado por meio de plataformas e redes abertas, é possível alcançar reduções de até 45% nas emissões de gases de efeito estufa (GHISOLFI, *et al.*, 2022).

A substituição de veículos mais antigos por aqueles que atendem aos padrões governamentais mais recentes é considerada uma das políticas mais eficazes para a redução das emissões de CO₂. Em um estudo, observou-se uma redução de 5% a 10% nas emissões ao utilizar caminhões compatíveis com os padrões EURO 6 (GEDIK; USLU; LAVA, 2022).

Outra alternativa é realizar viagens em comboio (pelotão), o que significa que dois ou mais caminhões transitam juntos em linha. A redução da distância entre os veículos permite que os caminhões acelerem e freiem de maneira coordenada, resultando em menor emissão de gases e consumo de combustível. Além disso, essa prática tem um impacto positivo na segurança rodoviária (PADDEU, DENBY, 2022).

Além das modificações nas características dos caminhões, a transição de um modelo unimodal, que normalmente é utilizado exclusivamente por caminhões, para um modelo multimodal, contribui para a redução das emissões de gases de efeito estufa GEE e promove um melhor desempenho ambiental (INGRAO, *et al.*, 2021). No estudo de Kaack, *et al.* (2018), os autores descrevem que o transporte multimodal tem sido proposto como uma estratégia para alcançar a descarbonização do setor de transporte de cargas.

Os autores Ingrao, *et al.* (2021) conduziram uma comparação entre quatro cenários distintos, todos percorrendo a mesma rota. O primeiro cenário consistia

apenas no modelo unimodal, ou seja, o transporte era feito somente por caminhões de carga. Os três cenários subsequentes utilizaram o modelo multimodal, combinando diferentes modos de transporte: navio e caminhão; trem e caminhão; e navio, trem e caminhão. Dessa forma, foi possível constatar que o cenário baseado apenas no modal rodoviário apresentou o maior impacto socioambiental, considerando categorias como saúde humana, mudanças climáticas, recursos naturais e qualidade do ecossistema.

No estudo realizado por Heinold e Meisel (2018), foi realizada uma comparação entre o modal rodoviário (caminhões de carga) e o modal multimodal (uso de trens e caminhões de carga em combinação). A pesquisa foi conduzida considerando uma amostra de países europeus e levando em conta a infraestrutura de transporte de cada país. Os resultados indicaram que as rotas multimodais apresentaram emissões menores de gases de efeito estufa em comparação ao uso exclusivo do modal rodoviário, para mais de 90% dos embarques simulados.

Existem países, como a Suécia, que abrangem uma perspectiva holística para gerar benefícios à sociedade e controlar as emissões de gases de efeito estufa GEE e de gases poluentes. O país aplica taxas de infraestrutura e impostos no sistema de transporte, e o cálculo é feito em termos de volume de carga e valor monetário, incorporando fatores de emissões nacionais e custos externos para a União Europeia (VIERTH, *et al.*, 2019).

Outras opções existentes para a descarbonização dos veículos pesados incluem a melhoria na eficiência energética e a transição para combustíveis mais limpos, como gás natural, bateria elétrica e combustível de hidrogênio. A implementação de baterias elétricas e células de combustível poderia levar a uma redução das emissões de CO₂ a partir de 2050. Além disso, existem estratégias de curto prazo, como a adoção de gás natural, que poderiam reduzir pela metade o consumo de diesel e as emissões até 2050 (KHANNA, *et al.*, 2021).

Nas subseções sobre descarbonização, estão descritas técnicas para a eliminação de carbono ao longo da cadeia logística, incluindo métodos para a análise de rotas sustentáveis, a utilização de combustíveis alternativos e a adoção de caminhões elétricos.

3.5.1 Rotas ótimas e sustentáveis

Após a quantificação das emissões, existem métodos recomendados para auxiliar na identificação das rotas ideais por meio da análise de um conjunto de dados de entrada, visando a redução da quantidade de carbono liberada durante a combustão do combustível dos caminhões (ELANGO VAN, *et al.*, 2021; RAVIGNÉ; DA COSTA, 2021).

Ao determinar as rotas mais otimizadas e elaborar um modelo de design da rede de cadeia de suprimentos, é possível reduzir simultaneamente tanto os custos logísticos quanto os impactos ambientais relacionados às emissões de CO₂ (ANVAR; SADEGHEIH; ZAD, 2018, GOVINDAN, *et al.*, 2014). Rotas ótimas e sustentáveis são encontradas por meio de algoritmos, métodos, ferramentas e/ou programas computacionais (ANVAR; SADEGHEIH; ZAD, 2018, ELANGO VAN, *et al.*, 2021, GOVINDAN, *et al.*, 2014, HEINOLD; MEISEL, 2018, LENG, *et al.*, 2020, LO; SHIH, 2021, YACHAI, *et al.*, 2021).

Entre os métodos disponíveis, um que se destaca ao utilizar informações sobre a distância entre dois pontos é a interface de API do Google Distance Matrix. Além de calcular a distância, essa API fornece um conjunto de locais com seus endereços ou coordenadas de latitude e longitude (ELANGO VAN, *et al.*, 2021). Outra ferramenta útil é o ArcGIS, que também auxilia na determinação da melhor rota. Ele analisa a rede de transporte e busca minimizar os efeitos ambientais das emissões (YACHAI, *et al.*, 2021).

Os métodos de Problema de Roteamento de Veículos (VRP) são frequentemente aplicados (ELANGO VAN, *et al.*, 2021). Ao longo do tempo, diversos tipos de VRPs foram propostos, e entre eles, destacam-se os Problemas de Roteamento de Poluição (PRPs), que abrangem uma variedade de fatores, considerando não apenas a distância percorrida, mas também a quantidade de GEE emitidos, o consumo de combustível, o tempo e os custos de viagem. Além disso, há os Problemas de Roteamento de Veículos Verdes (GVRPs), que são focados em frotas de veículos movidos a combustíveis alternativos. Ambos os tipos de VRPs estão diretamente relacionados com os ODS (LO; SHIH, 2021).

3.5.2 Gás natural veicular (GNV)

O gás natural veicular é derivado do mesmo gás utilizado em atividades domésticas. No entanto, para ser empregado como combustível em veículos, é necessário aumentar a sua densidade energética. O gás natural pode ser comprimido (GNC) a uma pressão de 200 bars ou liquefeito (GNL) a uma temperatura de -162°C (RAVIGNÉ, DA COSTA, 2021).

As reservas globais de gás natural diminuíram em 2018, o que demanda investimentos em novas fontes para atender à demanda (HERRERA, et al., 2021). O gás natural pode ser originado de fontes fósseis ou biológicas. É possível encontrar opções como o bioGNC, que é 100% proveniente de fontes biológicas, ou o mixGNC, que consiste em uma mistura de 30% de biogás (RAVIGNÉ; DA COSTA, 2021). As usinas de biogás podem ser alimentadas por matérias-primas e subprodutos, incluindo resíduos agropecuários, industriais e domésticos (HERRERA, et al., 2021).

A forma como o gás é armazenado, seja por liquefação ou compressão, representa um dos principais pontos de incerteza no cálculo das emissões. Por exemplo, no processo de liquefação, o transporte do gás é realizado por meio de caminhões-tanque ou navios, o que pode resultar em emissões de poluentes em escala global ou local (RAVIGNÉ; DA COSTA, 2021).

O estudo realizado por Ravnigé e da Costa (2021) demonstra que a viabilidade econômica dos caminhões movidos a GNV em operações reais está sujeita às flutuações no preço global do petróleo. Além disso, devido ao maior custo associado ao gás de origem biológica, o número de operações viáveis economicamente é menor para o gás bio-GNC em comparação com os gases GNC e mixGNC.

Em uma análise geral do poço à roda, realizada por Ventura, et al. (2017), foi possível comparar a emissão de gases de um caminhão a diesel para um GNL. Os resultados indicaram uma redução de aproximadamente 5% nas emissões de CO_2 para um caminhão a gás liquefeito. No entanto, observou-se um aumento nas emissões de CH_4 (metano), levando em consideração as etapas de matéria-prima, processamento de combustível e liberação no tubo de escape.

3.5.3 Caminhões Elétricos

Visto que o setor de transporte é um dos setores com maior responsabilidade pelo aumento das emissões de gases do efeito estufa, a adoção de veículos elétricos representa uma oportunidade a curto prazo por meio de tecnologias híbridas e elétricas, visando a redução das emissões de dióxido de carbono e a economia de energia (KUMAR; GUHA; CHAKRABORTY, 2022; MAERZINGER, *et al.*, 2021; XUE, *et al.*, 2022).

Os veículos elétricos têm uma gama diversificada de modelos, incluindo veículos elétricos híbridos, veículos elétricos a baterias (BEV), veículos elétricos com célula de combustível (FCET) e outros (KUMAR; GUHA; CHAKRABORTY, 2022; MAERZINGER, *et al.*, 2021; XUE, *et al.*, 2022). Os caminhões elétricos com célula de combustível e bateria são reconhecidos como opções prioritárias devido à eficiência significativa na redução de emissões de todo o ciclo de vida (ZÄHRINGER, *et al.*, 2022).

Para explorar a aceitação dos caminhões elétricos no mercado, é necessário obter uma visão abrangente do processo e entender as tendências desses caminhões em se estabelecer nesse meio (KUMAR; GUHA; CHAKRABORTY, 2022). Os mesmos autores conduziram uma previsão por meio de um modelo de difusão (*Generalized Bass*) em 12 países: Austrália, Brasil, Chile, Canadá, Finlândia, Alemanha, Índia, México, Holanda, África do Sul, Coreia do Sul e Estados Unidos. Eles pressupõem um aumento nas vendas de veículos elétricos até 2030.

Com a crescente tendência de mercado em direção aos veículos elétricos, torna-se essencial avaliar o desempenho ambiental desses caminhões. Isso significa realizar uma análise do ciclo de vida para verificar de maneira precisa se a utilização desses veículos realmente resulta em uma redução efetiva das emissões de carbono (XIA; LI, 2022).

Os gases emitidos devem ser considerados nos aspectos de fabricação de um caminhão elétrico. Isso inclui a avaliação da energia utilizada na fabricação do veículo, produção da bateria de íon-lítio e dos equipamentos de fornecimento para veículos elétricos, processo de carregamento das baterias dos caminhões, bem como o consumo de energia necessário para a reciclagem dos veículos ao final de seu ciclo de vida (ELANGO VAN, *et al.*, 2021, MAERZINGER, *et al.*, 2021). O consumo de energia relacionado à extração, coleta, transporte e processamento de matérias-

primas também é levado em consideração na etapa de fabricação de caminhões elétricos (ELANGO VAN, *et al.*, 2021).

A redução de CO₂ de um caminhão elétrico com célula de combustível (BET) depende principalmente dos avanços na tecnologia da bateria. Uma solução é acelerar o desenvolvimento de redes de carregamento ultrarrápidas e de alta potência, aliviando a carga sobre as baterias e permitindo o uso de baterias menores. Além disso, outra alternativa é maximizar a carga útil para melhorar a eficiência do frete. Isso resulta em uma maior compensação da energia da bateria devido à distância de transporte percorrida (WANG, *et al.*, 2022).

Ao comparar os *powertrains*, o veículo elétrico com célula de combustível (BET) possui maior eficiência no ciclo de vida completo, reduzindo assim a quantidade de emissões de gases de efeito estufa. No entanto, quando são realizadas longas distâncias e se aumenta a capacidade de carga, também é necessário aumentar a capacidade da bateria, o que resulta em um aumento nos custos de investimento (ZÄHRINGER, *et al.*, 2022).

Quando um caminhão elétrico apresenta um aumento de eficiência de 90%, isso resulta em uma redução de 34% no consumo de energia e uma redução de 33% nas emissões de gases de efeito estufa GEE. No processo de fabricação de um caminhão elétrico, ocorre a emissão de aproximadamente 37% das emissões totais de GEE. Quando comparado o consumo entre caminhões a diesel e caminhões elétricos, percorrendo a mesma distância, os caminhões a diesel consomem, em média, cinco vezes mais energia do que os caminhões elétricos. Além disso, os caminhões elétricos geram, em média, metade das emissões de GEE em comparação com os caminhões a diesel, levando em consideração todo o ciclo de vida do produto (ELANGO VAN, *et al.*, 2021).

Em uma análise comparativa dos impactos entre caminhões elétricos e a diesel, abrangendo desde o processo de fabricação até a entrega do produto, foi constatado que em viagens diárias entre centros de distribuição e lojas comerciais, os caminhões a diesel consomem 300% a mais de energia e emitem 40% mais gases de efeito estufa do que os caminhões elétricos (ELANGO VAN, KANWHEN, *et al.*, 2021).

Portanto, a quantidade de emissões e o consumo de energia utilizando caminhões elétricos deve ser analisada de maneira particular, visto que em longas distâncias ainda se mostra inviável devido ao aumento da capacidade de bateria (ZÄHRINGER, *et al.*, 2022). No entanto, por meio de ferramentas robustas como a

Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), é possível analisar de forma precisa os processos, desde a fabricação até a reciclagem, reaproveitamento e remanufatura das baterias, como no estudo de Xia, Li (2022), o qual concluiu que ao longo de todo o ciclo de vida, os caminhões elétricos têm o potencial de mitigar as emissões de GEE e o consumo de energia fóssil, porém causam maiores impactos em termos de consumo de matérias-primas, minerais e potencial toxicidade humana.

3.5.4 Combustíveis

Uma solução potencial para reduzir as emissões de gases de efeito estufa é a utilização de veículos movidos a combustíveis alternativos (AFV) (ROSE, NEUMANN, 2020). Os combustíveis alternativos podem auxiliar no cumprimento de metas e oferecer possibilidades para o desenvolvimento social. Existem diversas opções de AFV, incluindo biocombustíveis como etanol hidratado, etanol anidro e óleo vegetal hidrotratado, além do biogás, gás natural, hidrogênio e outros (BREUER, *et al.*, 2021).

Uma oportunidade para promover um futuro promissor é a adoção de veículos movidos a hidrogênio, pois os avanços tecnológicos permitem a implementação de políticas, a construção de infraestrutura e a disponibilidade de postos de abastecimento para esse tipo de combustível (BERGER, 2021).

Estima-se que até 2030, mais de 50% do total de veículos em circulação no mundo serão movidos a hidrogênio, o que equivale a mais de 100.000 veículos, uma evolução significativa em relação a 2020, quando o mercado desse tipo de veículo era limitado (BERGER, 2021).

Embora não haja um acordo sobre as cores do nome do hidrogênio, o termo "hidrogênio verde" é dado porque sua produção é realizada a partir da água por eletrólise quando usado eletricidade de recursos renováveis, como energia eólica ou solar (DE LAS NIEVES CAMACHO; JURBURG; TANCO, 2022). Já o "hidrogênio cinza" é obtido por meio da reformulação do gás natural, e quando esse processo utiliza tecnologia de captura de carbono as emissões de CO₂ são mitigadas e é formado o "hidrogênio azul" (AJANOVIC; SAYER; HAAS, 2022, WANG, *et al.*, 2022).

Um caminho determinado pelas empresas automobilísticas renomadas mundialmente é a discussão da viabilidade dos caminhões pesados serem movidos a hidrogênio verde (YIN, *et al.*, 2021). As tecnologias de células de combustível e hidrogênio verde são consideradas uma opção pois seu rápido reabastecimento e

longo alcance dos veículos são constantes nos requisitos logísticos (ROSE; NEUMANN, 2020).

O “hidrogênio cinza”, por sua vez, pode substituir o gás natural puro (metano), pela mistura de CH₄ e H₂ resultando na redução de CO₂ durante a combustão do gás. Essa mudança não requer investimentos significativos em infraestrutura, podendo ser implementada em curto prazo com baixo valor financeiro (WASIAK, *et al.*, 2022).

Para o fornecimento seguro de hidrogênio em veículos pesados, vários detalhes devem ser considerados durante o tempo de carregamento, como o estado da carga, temperatura do tanque do veículo, a taxa de fluxo de hidrogênio, entre outros fatores (DE LAS NIEVES CAMACHO; JURBURG; TANCO; 2022).

O que dificulta a implementação dos caminhões movidos a hidrogênio é o custo comparado ao diesel, porém o consumo de energia de um caminhão pesado a hidrogênio é aproximadamente 88% mais barato que um caminhão movido a diesel (YIN, *et al.*, 2021). Outras barreiras detectadas são a autonomia e o tipo de veículo, além da infraestrutura de carregamento e o déficit de informação (DE LAS NIEVES CAMACHO; JURBURG; TANCO, 2022).

Outra alternativa são os biocombustíveis, que são considerados combustíveis biodegradáveis capazes de substituir o óleo diesel de forma parcial ou total. Eles são derivados de fontes renováveis e podem ser produzidos a partir de gordura animal ou óleos vegetais (MIRANDA; DA SILVA; TAMBOURGI, 2018).

Os biocombustíveis podem ser classificados como biocombustíveis de primeira, segunda e terceira geração. Considera-se a primeira geração quando a matéria-prima é comestível, por exemplo, na produção de lavouras. Na segunda geração, os biocombustíveis são produzidos a partir de lignocelulose e não comestíveis. Por fim, a terceira geração são realizados através de microalgas. Do ponto de vista ambiental e social, prefere-se o uso de matérias-primas não comestíveis, pois assim não há a degradação de terras destinadas à produção de alimentos. A produção de biodiesel a partir de algas ainda está em processo de pesquisa para tornar essa técnica viável financeiramente (MIKLAUTSCH; WOSCHANK, 2022). Podem ser citados alguns biocombustíveis como o etanol hidratado, etanol anidro, óleo vegetal hidrotratado e o biodiesel (BREUER, *et al.*, 2021).

O biodiesel é utilizado em motores automotivos, como caminhões, tratores e automóveis, e é isento de enxofre, o que contribui para a redução do aquecimento

global e das emissões de gases poluentes (MIRANDA; DA SILVA; TAMBOURGI, 2018). O mesmo autor conclui que é possível fabricar biodiesel a partir de óleos de cozinha coletados de residências, atendendo aos padrões estabelecidos pela legislação brasileira.

Atualmente, o teor de biodiesel no diesel fóssil é de 13% e deve aumentar para até 15% no ano de 2023 (BRASIL, 2021a). O etanol, outro biocombustível utilizado no Brasil, possui dois produtos distintos, o etanol anidro, também conhecido como etanol absoluto e o etanol hidratado. O etanol anidro, é considerado um etanol puro, ou seja, possui 99,6% de graduação alcoólica, o qual é misturado na gasolina para melhorar a octanagem e conseqüentemente reduzir a quantidade de poluentes, a proporção para realização desta mistura é realizada de acordo com a legislação de cada país (REIS, et al., 2023).

O etanol hidratado, por sua vez, possui uma composição entre 95,1% e 96% de etanol puro e o restante é composto por água. O etanol hidratado é comercializado nos postos de gasolinas, já o etanol puro é misturado na gasolina por indústrias químicas (REIS, et al., 2023).

Outra alternativa é a implementação de estratégias como o abastecimento de diesel com teor de enxofre reduzido, a qual vem sendo aplicada pelo Brasil e pelo mundo (CNT, 2022a). O e-diesel de baixo carbono tem o potencial de reduzir de 67% a 96% em comparação ao diesel convencional, dependendo dos processos de produção, matéria-prima e energia utilizada no processo das instalações. Estima-se que a intensidade média de emissão de gases de efeito estufa da análise "do poço à roda" realizada no estudo seja de 14,0 gCO₂-eq/MJ (XUE, et al., 2022).

O Brasil aderiu ao teor de enxofre de 500 ppm no diesel em 2009 e, em 2013, progrediu para o teor de 10 ppm. O Japão adota o diesel com 10 ppm de enxofre desde 2007, enquanto os países da União Europeia e a Austrália adotaram esse mesmo teor em 2009. Os Estados Unidos e o México adotaram o diesel com 15 ppm desde 2006 e 2018, respectivamente (CNT, 2022^a).

No país, existem programas como o RenovaBio, que incentivam o uso de biocombustíveis, visando à redução das emissões de gases de efeito estufa, além de promover uma expansão sustentável dos biocombustíveis na matriz energética (BRASIL, 2022).

3.6 Metas de emissão

Desde o Acordo de Paris, há a exigência de substituir uma economia baseada em combustíveis fósseis por um modo de produção de baixo carbono (EICKE; GOLDTHAU, 2021). O Acordo de Paris foi o primeiro acordo global sobre mudanças climáticas, adotado em 2015, estabelecendo uma estrutura para evitar e limitar o aquecimento global. Para isso, foi definida uma meta de que o aumento da temperatura do planeta deve ficar abaixo de 2°C, com esforços para limitá-lo a 1,5°C (EUROPEAN COMMISSION, 2023).

Assim, nos últimos anos, alguns países também estabeleceram metas internas para a realização da descarbonização, como mostra o Quadro 8.

Quadro 8 - Metas de descarbonização

País/região	Ano anunciado	Descrição
Estados Unidos	2021	O governo emitiu uma ordem executiva que exige que a EPA considere novos padrões de emissões e economia de combustível relacionados a caminhões pesados, bem como veículos leves e médios.
Estados Unidos	2020	As vendas de novos caminhões médios e pesados devem ter 30% de emissões zero até 2030 e 100% até 2050.
Irlanda	2021	Novas metas para 45% dos ônibus e 10% dos caminhões adquiridos por órgãos públicos serem de baixa ou zero emissões, subindo para 65% e 15% até 2030.
Áustria	2021	100% das novas matrículas de veículos pesados com menos de 18 toneladas terão emissões zero a partir de 2030, e para aqueles com mais de 18 toneladas, em 2035.
Cabo Verde	2019	Meta de vendas 100% elétricas para novos caminhões médios e pesados, bem como ônibus de transporte público até 2035. Todos os veículos nas estradas, incluindo caminhões, serão elétricos até 2050.
Paquistão	2019	30% dos novos caminhões pesados e 50% dos novos ônibus serão elétricos até 2030 e 90% até 2050.
Noruega	2017	Meta de vendas de 50% de emissão zero para novos caminhões pesados até 2030 e 75% para novos ônibus de longa distância.
Dinamarca	2016	Todos os transportes públicos em suas concessões terão 100% emissão zero até 2030, e todos os novos ônibus que entrarão em serviço a partir de 2025 terão emissões zero no início.
Estados Unidos e Califórnia	2019/2020	Todos os veículos médios e pesados em operação devem ter 100% de emissões zero até 2045, sempre que possível.

Fonte: IEA (2021)

A Europa possui o maior número de modelos de caminhões disponíveis com emissões zero, e os registros de caminhões elétricos pesados aumentaram 23% em

2020. Nos Estados Unidos, foi registrado um aumento de vendas de 240 caminhões elétricos pesados (IAE, 2021).

Durante a Conferência das Nações Unidas COP26, 15 países, incluindo governos e fabricantes de veículos, por meio do programa e campanha Drive to Zero, estabeleceram a meta de alcançar a venda de 100% de caminhões com emissões zero até 2040 (DRIVE TO ZERO, 2021).

A União Europeia definiu as primeiras normas de emissão de CO₂ para veículos pesados em 2019. As metas para a redução das emissões médias de caminhões novos devem ser implementadas entre os anos de 2025 a 2030 (EUROPEAN COMMISSION, 2022). O México planeja reduzir cerca de 60% das emissões de gases de efeito estufa até 2050, além de atingir os objetivos dos ODS (WANGSA, *et al.*, 2020). O Brasil também estabeleceu metas progressivas para o período de 2019 a 2029, visando a diminuição das emissões na matriz de combustíveis, conforme apresentado na Tabela 4 (BRASIL, 2019).

Tabela 4- Meta de descarbonização

ANO	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
Meta anual (milhões de unidades de Créditos de Descarbonização)	16,8	28,7	41	49,8	59,6	66,9	73,3	79,5	85,1	90,1	95,5

Fonte: Brasil (2019b)

As metas nacionais estabelecidas pelo Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) serão desdobradas em metas individuais anualmente para os distribuidores de combustíveis, de acordo com suas participações no mercado de combustível fóssil (BRASIL, 2022). A organização PLVB também definiu metas para desempenho e redução de 50% das emissões, visando minimizar os impactos dos gases de efeito estufa durante o ciclo de vida até 2030 (CINTIA MACHADO DE OLIVEIRA, 2017).

Ao mesmo tempo em que as nações estabelecem metas, os compromissos climáticos atuais ainda não são suficientes para evitar que o planeta ultrapasse o limite de 1,5°C de aquecimento. Portanto, é essencial incentivar e apoiar projetos que sejam construídos em prol do meio ambiente (WRI, 2022).

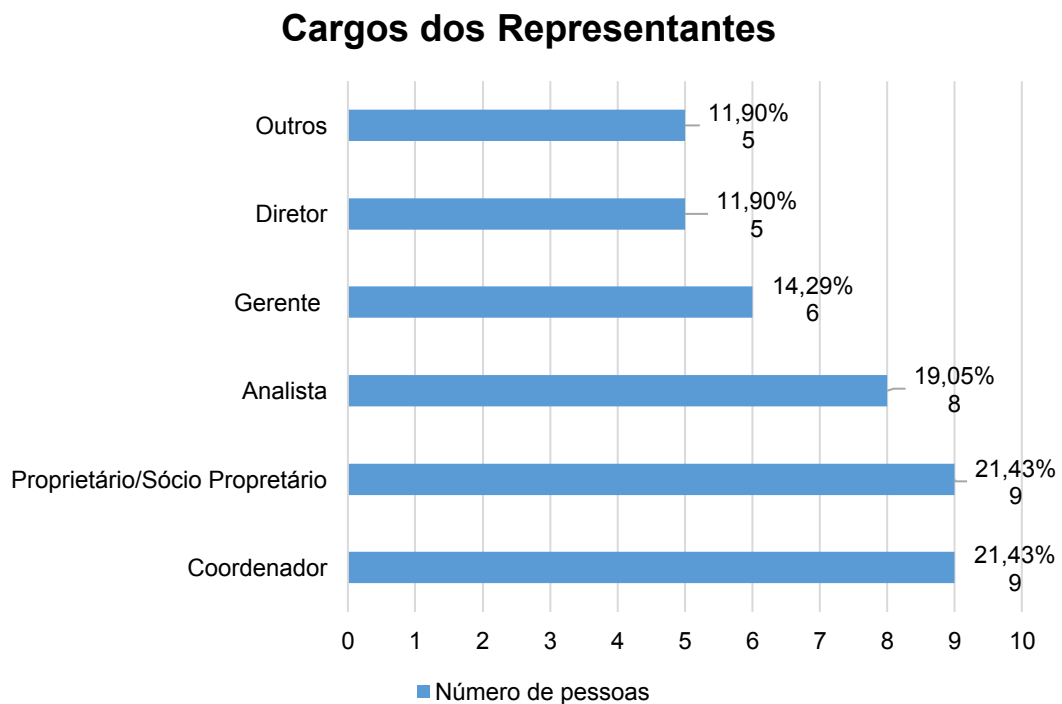
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção de resultados e discussão, serão apresentadas a caracterização das empresas que participaram da pesquisa e a análise das estratégias e tendências de descarbonização aplicadas por essas empresas. Além disso, serão abordadas as intenções de mensurar e realizar o inventário de carbono por parte das empresas.

4.1 Caracterização da empresa

Ao encaminhar o questionário para as empresas do setor logístico, procurou-se contatar com funcionários ocupando cargos de liderança nas empresas, a fim de obter as respostas necessárias. Foram analisados dez cargos distintos entre si, como será demonstrado na continuação deste estudo.

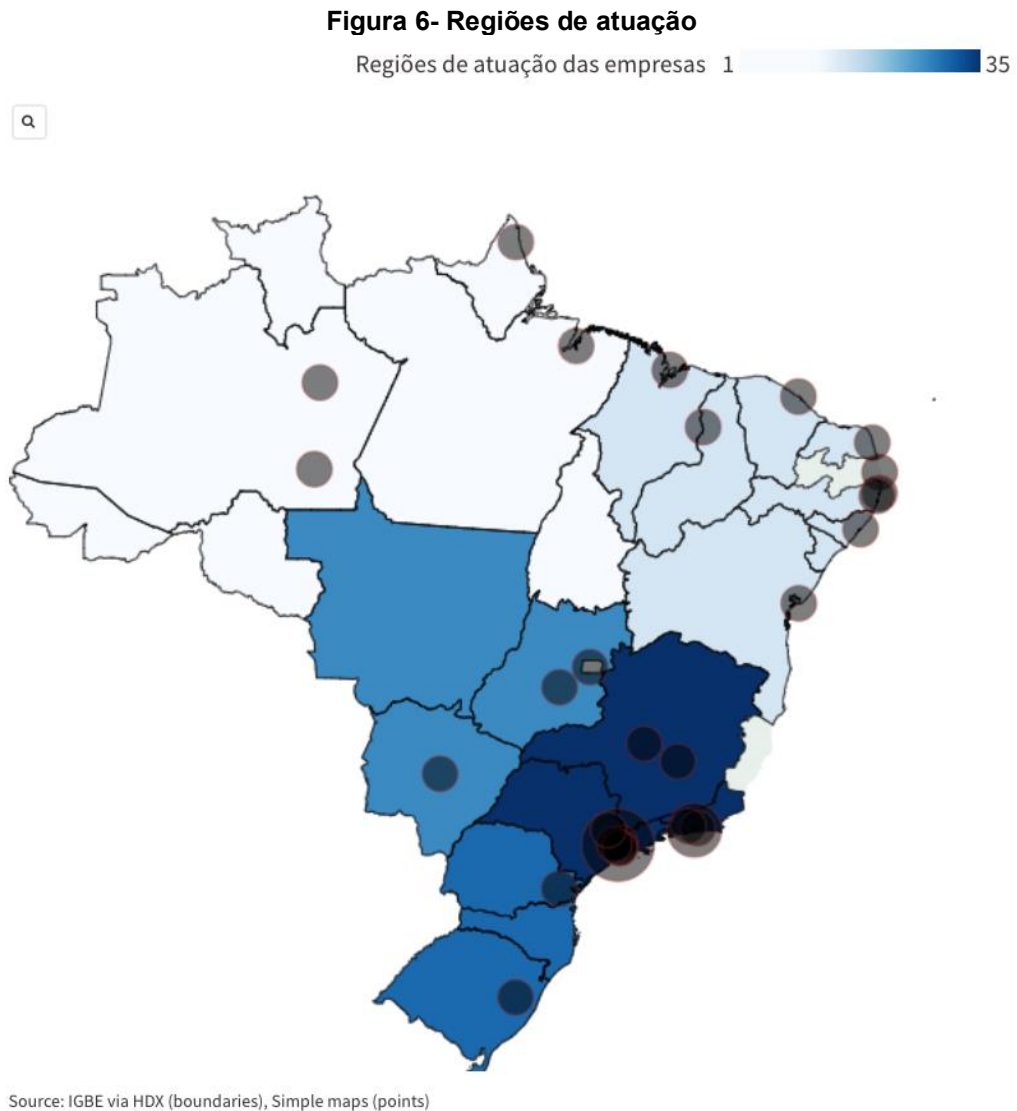
Figura 5- Cargos dos Representantes da Pesquisa



Fonte: Autoria Própria (2023)

Nas respostas obtidas, foi constatado que 88% dos participantes ocupam cargos de liderança. A maior representação foi de coordenadores, proprietários e sócios-proprietários, seguidos por analistas (8 pessoas), gerentes (6 pessoas) e diretores (5 pessoas). Os restantes 12% compreenderam cargos de assistentes, pesquisadores e encarregados. Ao analisar a origem dos respondentes, observou-se

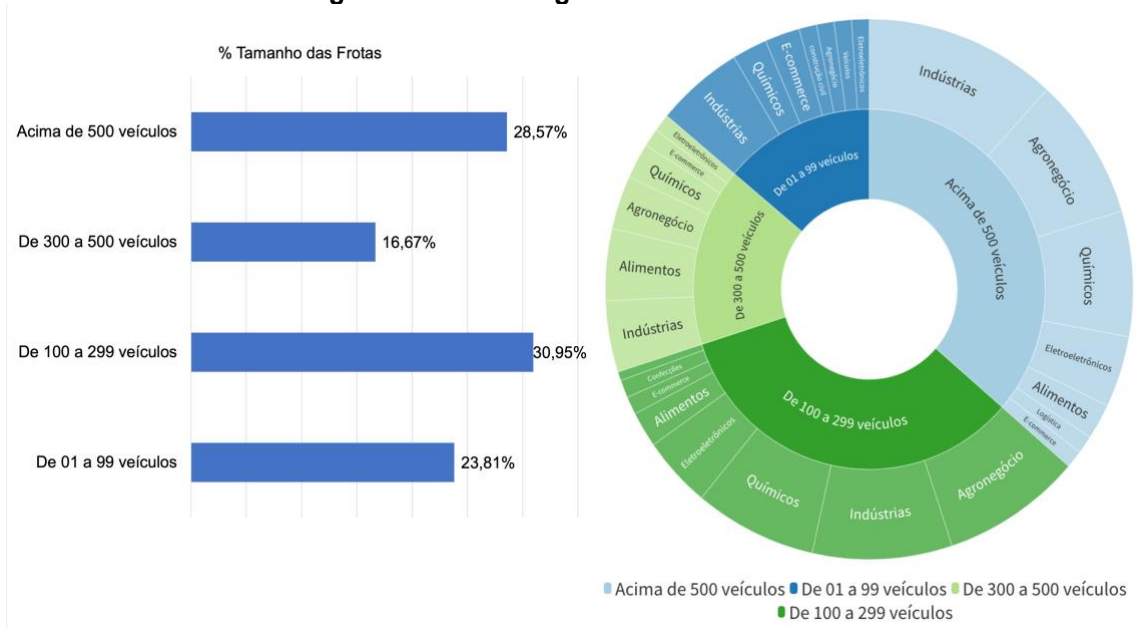
uma amostragem abrangente de todas as regiões do país, conforme apresentado na Figura 6.



Fonte: Autoria Própria (2023)

Observa-se que algumas empresas operam em mais de uma região. No entanto, a predominância de operações está na região Sudeste, com 36 empresas, enquanto a região Norte apresenta a menor concentração, com 12 empresas. Esses dados estão em consonância com os resultados do relatório da frota circulante (SINDIPEÇAS, 2022), no qual mais da metade das frotas concentra-se no Sudeste (51,59%), enquanto o Norte detém apenas 4,6% das frotas. No formulário, também foi possível classificar o tamanho dos caminhões em quatro diferentes portes, além de identificar treze segmentos de atuação, conforme demonstrado na Figura 7.

Figura 7- Frota e Segmento dos caminhões



Fonte: Autoria Própria (2023)

Das empresas analisadas, 28,6% são consideradas de grande porte, atuando com mais de 500 veículos, enquanto 47,7% possuem uma frota compreendida entre 100 a 499 caminhões. O restante dos participantes são empresas de pequeno porte, compostas por 01 a 99 veículos pesados. Além disso, foram identificadas treze áreas diferentes em que as empresas atuam. É importante lembrar que uma empresa pode pertencer a mais de um segmento. Destaca-se o ramo da indústria, com 29 empresas, seguido pelo agronegócio, com 21 transportadoras. Os setores alimentícios e químicos também se destacam, ambos com 19 empresas. Em seguida, encontram-se os segmentos de eletrônicos e e-commerce, com 14 e 10 organizações atuando, respectivamente. Os demais setores apontados contam com apenas uma empresa trabalhando em cada um.

Além das segmentações, as organizações descreveram a forma de operação dos veículos, nessa classificação também poderia haver mais de uma maneira de atuar. As três formas de distribuição mais utilizadas foram a lotação (26 empresas), quando o espaço do veículo é utilizado integralmente para deslocar um único produto e encaminhar para apenas um destino; as rotas dedicadas (22 empresas), quando há um único cliente contratante e o mesmo tem exclusividade no transporte, mesmo que a carga não ocupe todo o espaço do veículo; e caminhões com cargas fracionadas (22 empresas), quando há ocupação integral do veículo e vários destinatários. Além

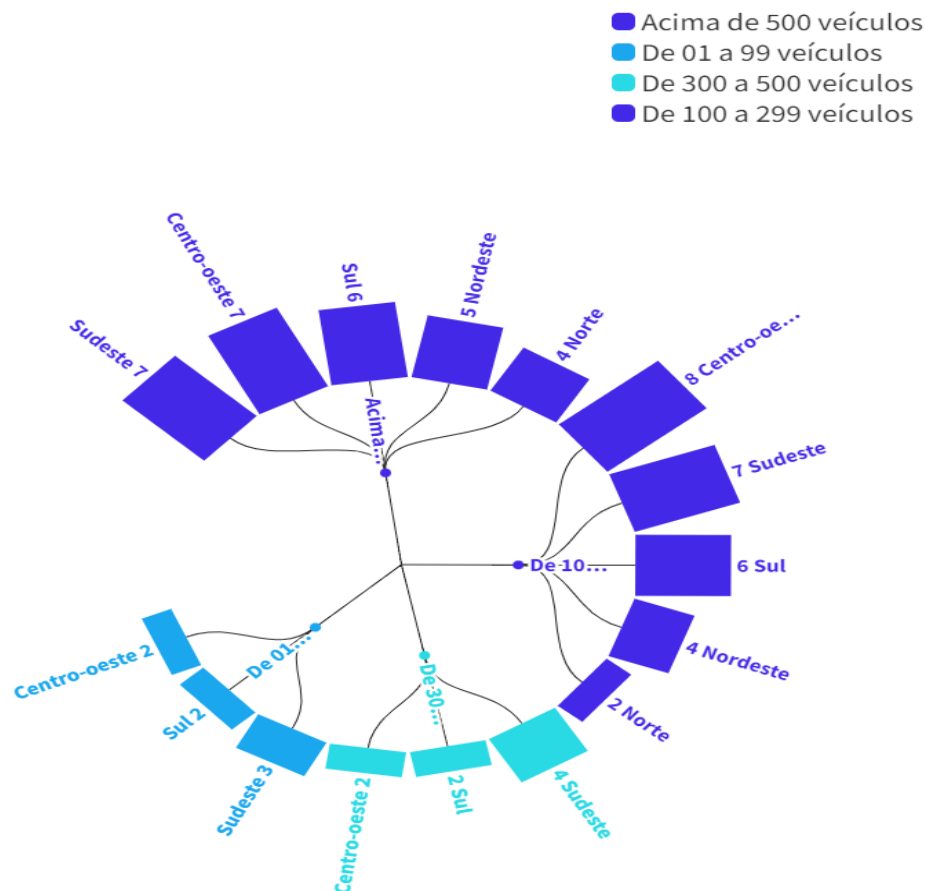
disso, foram apresentadas empresas que utilizam o serviço de *last mile* (5 empresas) e outras classificações que foram apontadas por apenas uma empresa.

Por fim, foram analisadas empresas que aplicam estratégias de descarbonização nas operações logísticas. As estratégias utilizadas pelas organizações serão discutidas no capítulo seguinte.

4.2 Aplicação de estratégias de descarbonização

Das 42 empresas participantes, foi constatado que 57% já realizam uma ou mais estratégias de descarbonização. Pode-se avaliar que as empresas que mais aplicam estratégias sustentáveis são aquelas que possuem uma frota entre 100 e 300 caminhões (38%), seguidas pelas empresas de grande porte que possuem acima de 500 veículos (33%). Em sequência, estão as empresas que atuam com uma frota de 300 a 500 veículos e as de pequeno porte com 01 a 99 caminhões, que constituem, respectivamente, 17% e 13% das organizações. Isso pode ser visto na Figura 8.

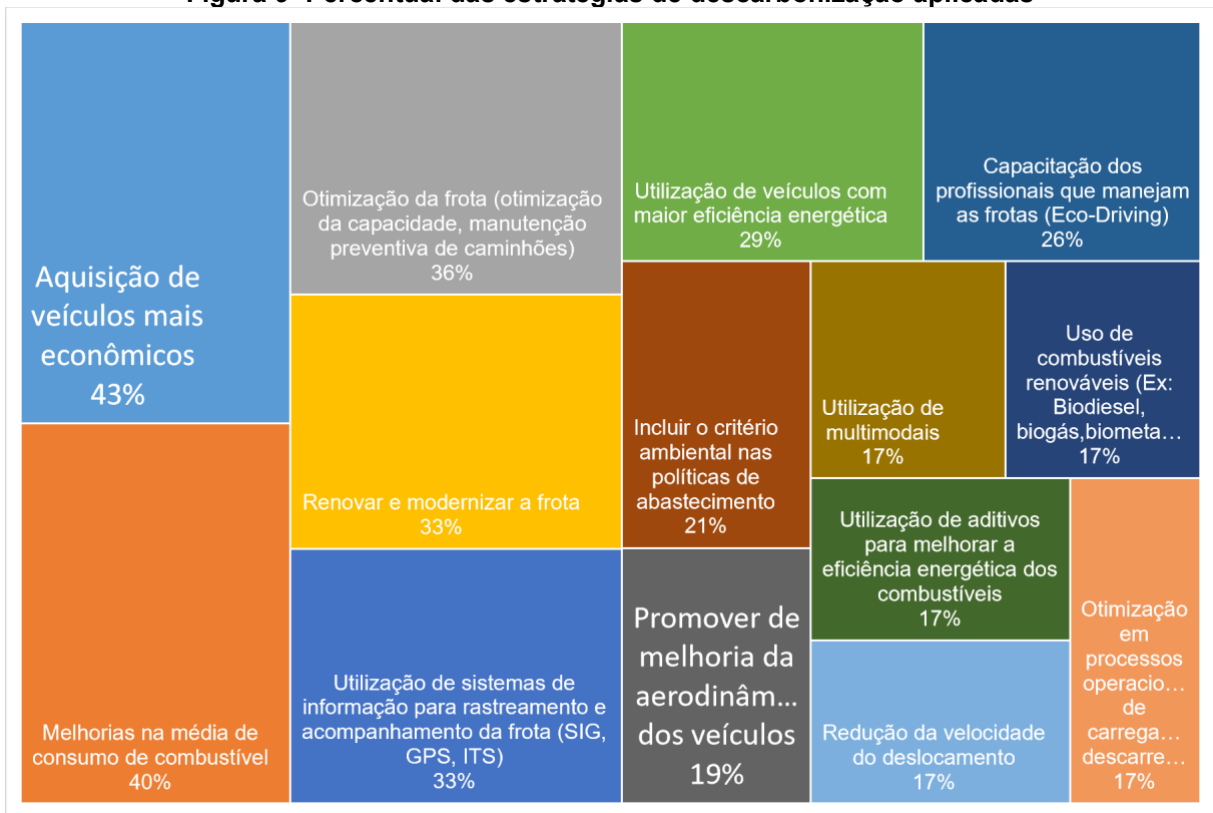
Figura 8 - Empresas que atuam com estratégias de descarbonização



Fonte: Autoria Própria (2023)

As empresas com 100 a 300 veículos possuem facilidade em aplicar estratégias de descarbonização, pois essa frota reduzida requer um investimento financeiro menor em tecnologias. Todavia, percebe-se que as empresas de maior porte (acima de 500 veículos) conseguem aplicar estratégias de redução de emissões de gases de efeito estufa na maioria das regiões do país. Ou seja, uma única empresa consegue impor ações sustentáveis de logística em mais de uma região. As estratégias aplicadas pelas empresas e a quantidade de organizações que se beneficiam delas são demonstradas na Figura 9.

Figura 9- Percentual das estratégias de descarbonização aplicadas



Fonte: Autoria Própria (2023)

Dentre as estratégias realizadas, a que possui o maior número de aplicações pelas empresas é a de aquisição de veículos com consumo mais econômico (42,9%). Relacionada a essa estratégia, 33% pretendem renovar e modernizar a frota (quinta estratégia mais utilizada). No entanto, ao questionar se a empresa faz projeções para adquirir caminhões mais modernos nos próximos doze anos, apenas 24% das empresas apontaram que sim. A substituição por veículos modernos que atendam aos padrões governamentais pode reduzir entre 5% a 10% as emissões de CO₂ (GEDIK, *et al.*, 2022).

A segunda estratégia mais utilizada são atividades para melhorar a média de consumo do combustível (40,47%). Essas ações podem ser realizadas através de medidas operacionais, como a ecocondução, ajuste na velocidade, calibragem dos pneus, utilização otimizada de óleos e pré-aquecimento do motor durante o inverno (LIIMATAINEN, *et al.*, 2012). Ações mecânicas também podem ser aplicadas, como a redução do atrito entre o sistema e o ambiente, ajustando a resistência ao rolamento e o arrasto aerodinâmico (SULLIVAN, *et al.*, 2018). Esses processos permitem que os caminhões consumam cerca de 21% a menos de combustível, o que equivale a 34 mil toneladas de CO₂ anualmente (LIIMATAINEN, STENHOLM, *et al.*, 2012).

A terceira estratégia, aplicada por aproximadamente 36% das empresas, é a otimização das frotas. Isso significa que as organizações utilizam toda a capacidade dos caminhões durante o transporte de uma carga. Esses dados podem ser comparados e justificados pelas características das operações das empresas que responderam ao formulário. Dos entrevistados, 61,9% utilizam frotas com operações de lotação, ou seja, quando o veículo é utilizado integralmente para transportar um único produto. Além disso, 52,4% das frotas utilizam cargas fracionadas, o que também envolve a ocupação integral do veículo, mas com vários produtos.

A redução de emissões de gases devido às frotas com cargas otimizadas ocorrerá devido ao menor número de caminhões necessários para realizar a distribuição de mercadorias. Essa otimização pode ocorrer através da criação de sistemas de redes e plataformas. Por meio destes, é possível diminuir em até 45% as emissões de gases de efeito estufa (GHISOLFI, *et al.*, 2022).

Todavia, o estudo de Wang, *et al.* (2021) observou que um caminhão semirreboque a diesel, quando totalmente carregado, emitiu taxas significativamente mais altas de CO₂, CO e hidrocarbonetos totais (THC) do que quando estava descarregado. No entanto, devido à influência de fatores como a temperatura de exaustão, as taxas de óxidos de nitrogênio de caminhões totalmente carregados foram menores em comparação com aqueles que estavam descarregados. É necessário analisar as condições de carga, os métodos e as variáveis que influenciam para comparar a quantidade de emissões em caminhões carregados e descarregados.

A quarta estratégia mais aplicada, em 33,3% empresas, é utilização de sistemas de informação para o rastreamento e acompanhamento da frota (SIG, GPS, ITS). Esses sistemas são utilizados para otimizar rotas, reduzir distâncias, emissões e atrasos na execução dos serviços, alguns exemplos são o roteamento de veículos,

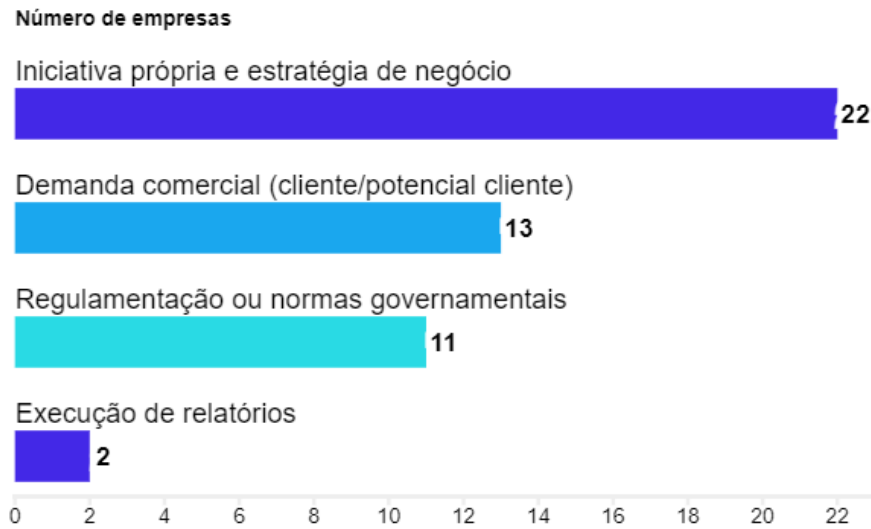
e os *softwares online* como: *Google Operation Research (OR)* e *Matrix Application Programming Interface* que significa programação de aplicativos (API) (YACHAI, *et al.*, 2021, ELANGO VAN, *et al* 2021).

A sexta estratégia é a otimização dos processos operacionais de carregamento e descarregamento, presente em 28,47% das empresas. Se esse processo não for otimizado, o consumo de combustível pode aumentar, pois os veículos ficam em funcionamento prolongado em marcha lenta, o que resulta na emissão de gases de efeito estufa.

Uma oportunidade é a utilização de sistemas de agendamento de caminhões, que permitem a definição de horários de chegada e, assim, evitam sobrecarga nos processos de carregamento e descarregamento. Consequentemente, isso reduz a quantidade de emissões (UNIÃO EUROPEIA, 2020).

Podem ser citadas as demais estratégias que são aplicadas nas empresas, tais como: a capacitação dos profissionais que manejam as frotas (11 empresas), inclusão de critérios ambientais nas políticas da empresa (9 empresas), promoção da melhoria da aerodinâmica dos veículos (8 empresas), utilização de multimodais (7 empresas), uso de combustíveis renováveis (7 empresas), utilização de aditivos para melhorar a eficiência energética dos combustíveis (7 empresas), redução da velocidade de deslocamento da frota (7 empresas), implementação de centros de distribuição de carga próximos à fábrica (4 empresas).

Além do desenvolvimento sustentável, existem outros fatores que influenciam as empresas a aplicarem estratégias de descarbonização, conforme é mostrado na Figura 10.

Figura 10- Fatores que influenciam a aplicação de estratégias

Fonte: Autoria Própria (2023)

A aplicação de práticas de descarbonização devido à estratégia de negócio própria da empresa é o fator que mais influencia as organizações aplicantes no presente trabalho (91,7%).

As empresas que estão comprometidas com ações sustentáveis em conjunto com a redução de GEE impulsionam seu mercado e possuem uma maior relação entre clientes e fornecedores, além de melhorar a reputação da marca. No questionamento se as empresas já participaram de um BID (*Bidding Process*) de transporte que envolve pré-requisitos sociais, ambientais e governamentais para realizar um acordo entre os participantes da cadeia produtiva, 66,7% já participaram e 16,7% eram ações mensuráveis. Concluindo assim que as estratégias sustentáveis são uma vantagem competitiva para a organização.

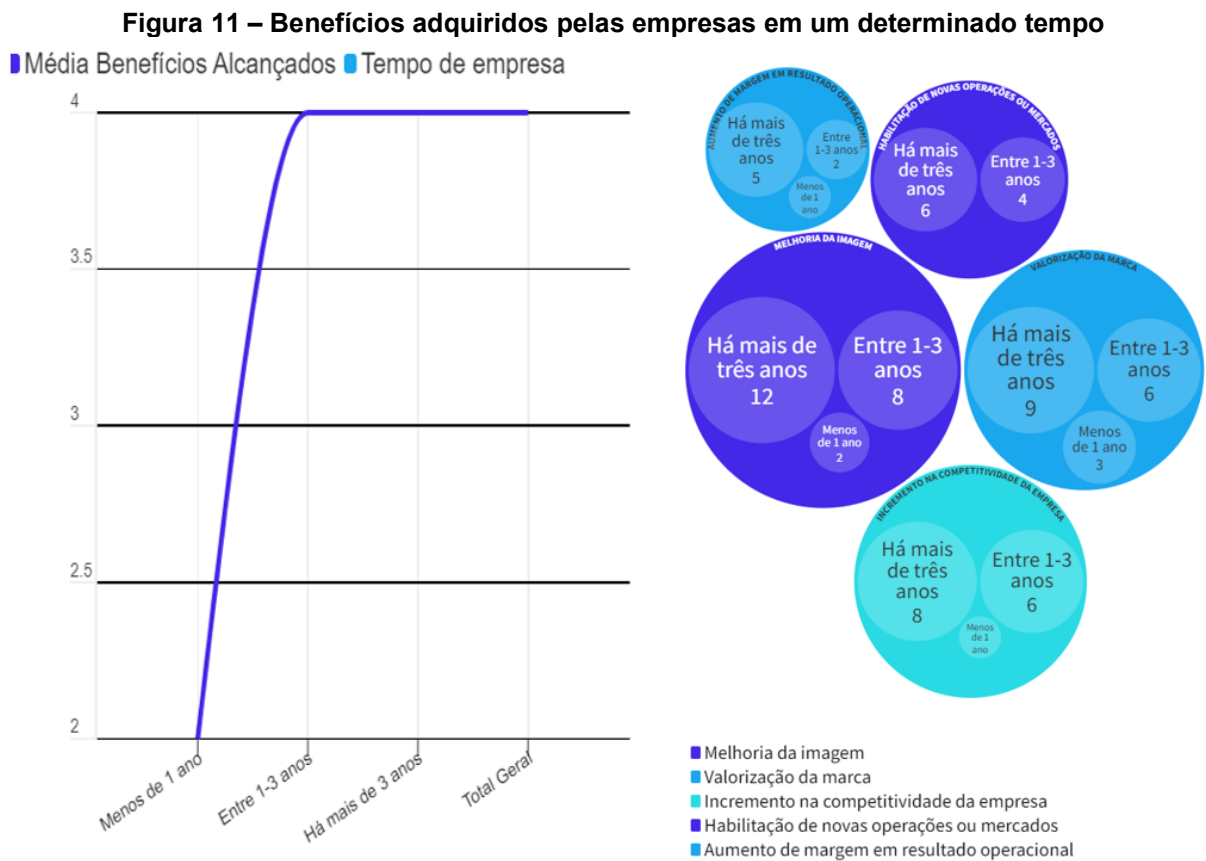
Assim como estratégia de mercado, a realização de projetos para captação de potenciais clientes é considerada um fator influenciável (54,2%). Na terceira posição encontra-se a regulamentação ou normas governamentais (45,8%). É através dessas que as empresas precisam adquirir veículos ou optar por rotas que reduzem a quantidade de emissão, como discutido na Seção 3.2.

E com o menor índice de influência, encontra-se a execução de relatórios (8,3%). Os relatórios podem ser exigidos por clientes e também servem para mostrar seu desenvolvimento sustentável. Para a execução do relatório é necessário o fornecimento de dados e o cálculo de emissões, como mostrado na Seção 3.3.

4.2.1 Benefícios adquiridos pelas organizações

As empresas que aplicam estratégias sustentáveis já estão obtendo benefícios dentro da organização. Aquelas que as aplicam há mais de um ano possuem uma média de 4 benefícios adquiridos, enquanto as empresas que estão implementando estratégias de descarbonização com menos de um ano possuem uma média de dois benefícios já obtidos.

A média que relaciona a quantidade de benefícios adquiridos com o tempo de aplicação, juntamente com os benefícios obtidos e a quantidade de empresas que implementaram estratégias em um determinado período de tempo, é mostrada na Figura 11.



Fonte: Autoria Própria (2023)

Entre os benefícios já alcançados pelas empresas, a melhoria da imagem foi o que se destacou nas organizações, com 22 empresas obtendo este benefício. Dessas, 12 possuem mais de 3 anos de aplicação de estratégias, 08 empresas têm aplicação entre 1 e 3 anos, e 02 empresas possuem menos de um ano de práticas sustentáveis. Em seguida, a valorização da marca se destacou com 18 empresas, sendo 09 com

mais de três anos, 06 entre 1 e 3 anos, e 03 empresas com menos de um ano de aplicação de estratégias sustentáveis.

A responsabilidade socioambiental proporciona a melhoria da imagem da empresa, juntamente com a valorização da marca, e permite o acesso a mercados e investimentos sustentáveis. Isso ocorre porque muitos stakeholders priorizam empresas e marcas comprometidas com a descarbonização.

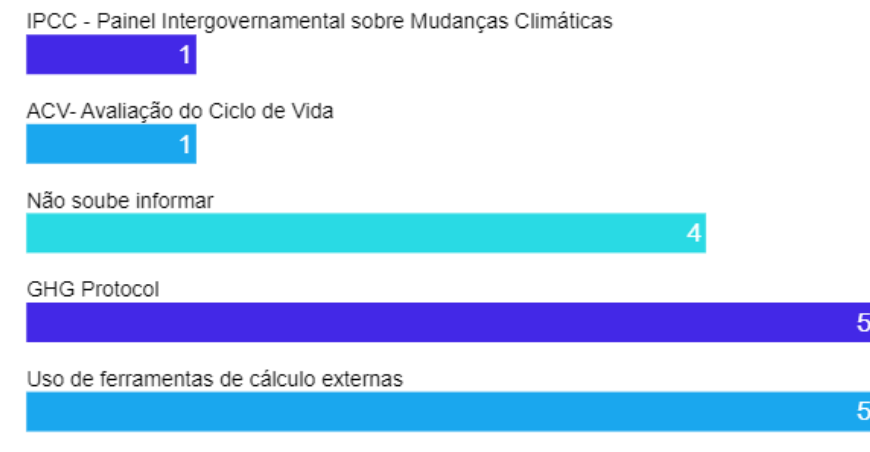
A terceira vantagem adquirida pelas organizações foi o incremento na competitividade da empresa (15 empresas). As empresas se tornam mais competitivas por possuírem maior eficiência operacional (08 empresas tiveram esse benefício) através da adoção de tecnologias e práticas mais eficientes, como a otimização dos recursos, redução do consumo de combustível, melhoria da eficiência energética, entre outros. Isso resulta em economia de custos no curto e longo prazo, o que impacta os concorrentes.

Continuando com os benefícios apontados, em 14 empresas, as estratégias de descarbonização auxiliaram na mitigação de riscos. Esses riscos podem estar associados a regulamentações ambientais mais rigorosas, imposições repentinas de consumidores e volatilidade dos preços de energia e combustíveis fósseis.

Além disso, 10 empresas obtiveram a habilitação de novas operações ou mercados. A obtenção de novas oportunidades de mercado é uma vantagem conquistada a longo prazo. Dessas, 06 empresas que a obtiveram investem há mais de 3 anos, e 04 delas investem entre 01 e 03 anos.

4.2.2 Mensuração para o inventário de carbono

Com base nos benefícios destacados no formulário, analisou-se se as transportadoras mensuram a quantidade de carbono reduzido por meio das estratégias aplicadas. Notou-se que apenas 50% das empresas que implementam ações de descarbonização realizavam essa quantificação. A partir disso, foram verificadas as metodologias utilizadas pelas organizações nesse processo, conforme é mostrado na Figura 12.

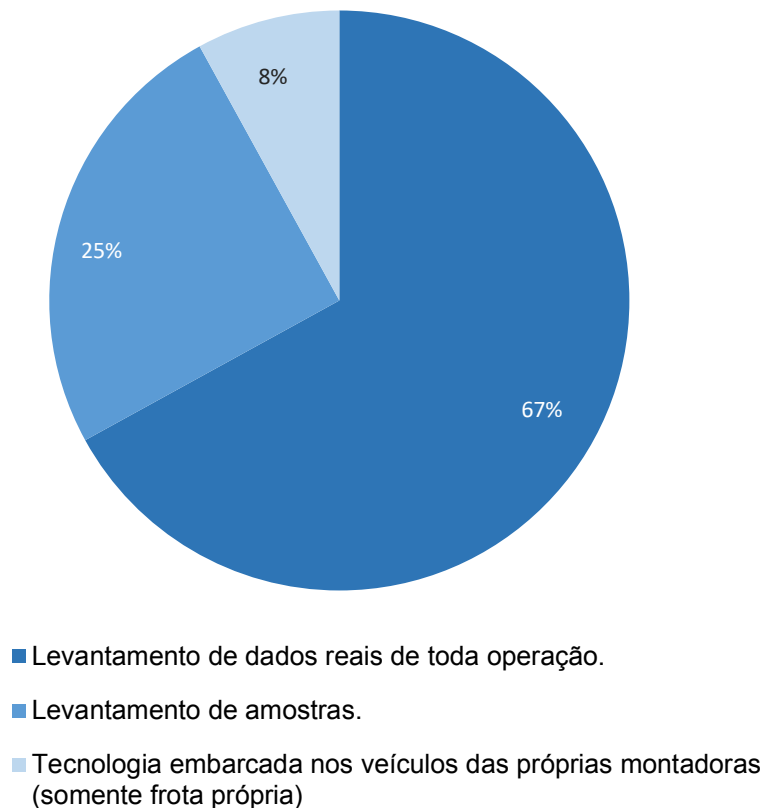
Figura 12- Metodologias aplicadas pelas empresas

Fonte: Autoria Própria (2023)

Nas respostas destacaram-se duas metodologias distintas (GHG Protocol e ACV), além da orientação da organização institucional IPCC e a aplicação de ferramentas não especificadas nos resultados. Cerca de 42% das empresas utilizam ferramentas externas, como SmartWay, Network for Transport Measures, EcoTransIT World, entre outras. Além disso, 42% das organizações calculam as emissões utilizando a metodologia do GHG Protocol, considerada uma das principais ferramentas globais para quantificar e relatar as emissões de GEE.

Somente uma empresa utiliza a metodologia de ACV, que é considerada complexa devido à coleta detalhada de dados sobre as atividades da cadeia logística. Por fim, apenas uma empresa utiliza as diretrizes da organização científica IPCC, também consideradas trabalhosas, pois abrangem uma ampla gama de fatores de emissões. Além disso, 33,3% dos participantes não souberam indicar as metodologias ou ferramentas que utilizam para calcular os GEE.

As metodologias e ferramentas auxiliam na quantificação das emissões de gases e, conseqüentemente, facilitam a análise de dados para propor novas práticas de descarbonização nas organizações. No entanto, é extremamente necessário contar com dados confiáveis e transparentes das empresas para obter resultados precisos. Das empresas analisadas, identificaram-se 4 formas de obtenção de dados, conforme mostrado na Figura 13.

Figura 13- Tipos de levantamentos de dados pelas empresas

Fonte: Autoria Própria (2023)

Cerca de 67% das empresas que calculam as emissões de gases de efeito estufa utilizam dados reais para a quantificação. Os dados primários podem incluir fatores como a velocidade dos veículos, o tamanho dos caminhões, o consumo de combustíveis e outros.

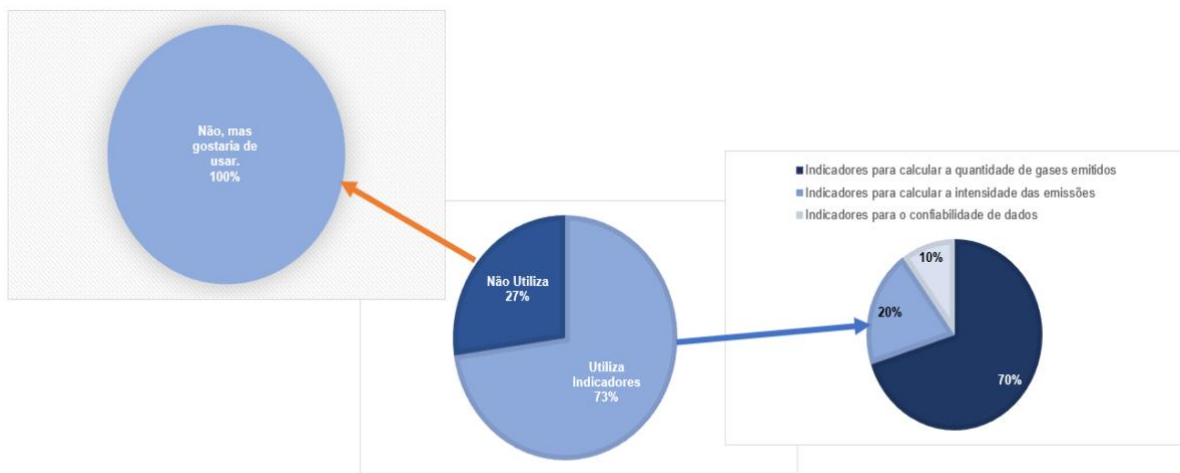
Os dados reais são considerados a melhor opção para obter resultados precisos, porém, é apontado como o mais difícil de obter na prática. Isso ocorre porque é necessário que haja parâmetros de variáveis consistentes em todas as partes da cadeia produtiva. No entanto, cada organização coleta os dados de maneira própria, dificultando a padronização dentro da cadeia logística. Além disso, existem diferentes variáveis de dados a serem compartilhadas. Por isso, outras alternativas incluem levantamentos de amostras ou dados modelados.

Os dados modelados são utilizados por 25% das empresas participantes na pesquisa. Esses dados são obtidos através de ferramentas de cálculo que consideram fatores que influenciam no consumo de combustível e nas emissões de gases. Por fim, apenas 8% das transportadoras utilizam dados fornecidos pelos próprios veículos.

Esses dados podem ser coletados por programas ecológicos ou dados padrões, que são pré-definidos e indicam a quantidade de GEE emitida com base no consumo do veículo.

Assim como a quantidade de gases emitidos na cadeia logística, os dados precisam de indicadores para avaliar sua confiabilidade. Algumas métricas são utilizadas para medir o desempenho das emissões e a qualidade dos dados. No formulário, foi questionada a adoção de indicadores para verificar a intensidade e a quantidade de gases, bem como para analisar a confiabilidade dos dados. Isso pode ser observado na Figura 14.

Figura 14- Indicadores utilizados pelas empresas



Fonte: Autoria Própria (2023)

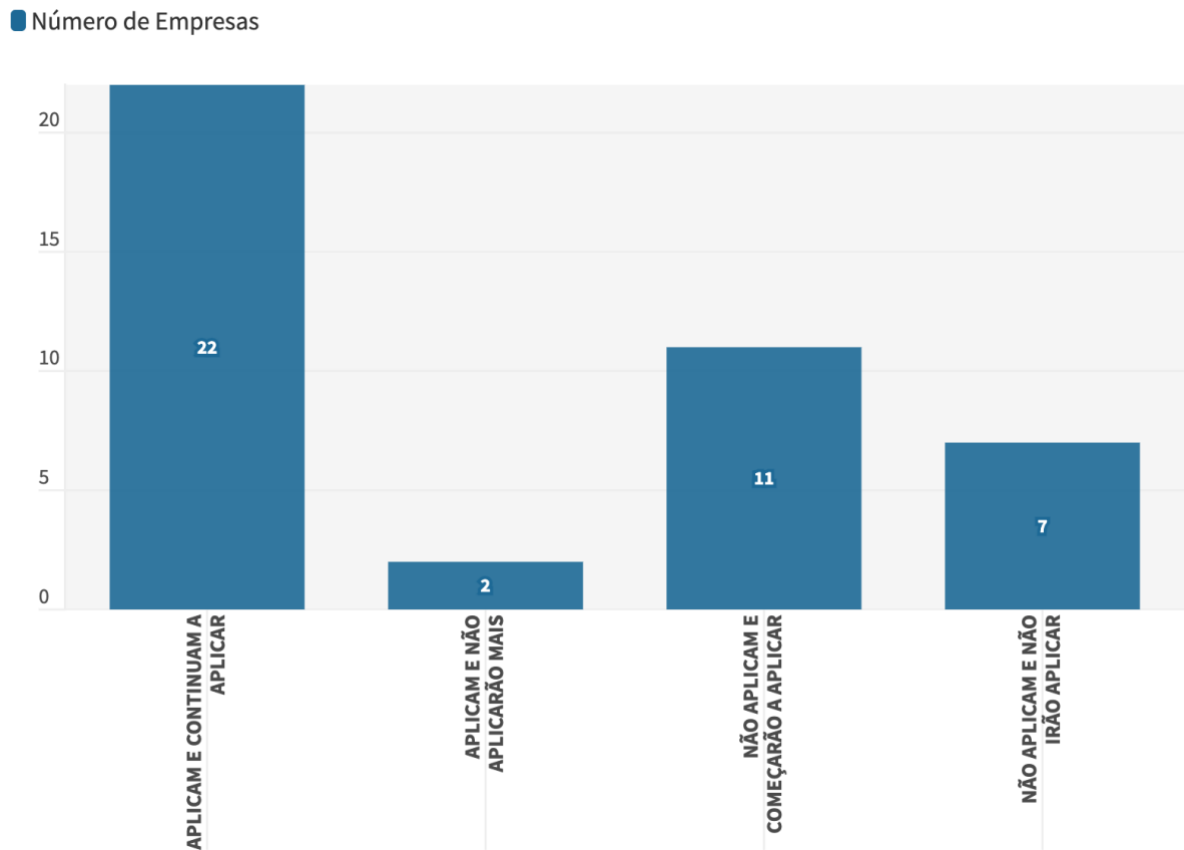
Das empresas participantes que mensuram a quantidade de gases emitidos na cadeia logística, apenas uma única organização utiliza os três indicadores simultaneamente; as demais usam apenas um indicador. Aproximadamente 70% das empresas utilizam métricas para medir a quantidade de emissões de GEE, enquanto 20% as utilizam para medir a intensidade de gases. No entanto, apenas 10% utilizam métricas para analisar a qualidade dos dados. Além disso, 27% das empresas ainda não possuem indicadores para mensurar as informações.

A utilização de indicadores é crucial para garantir a qualidade dos resultados e dos dados, permitindo que toda a cadeia produtiva possa avaliar até que ponto as informações refletem a realidade.

4.2.3 Tendências para descarbonizar

Para atingir o Acordo de Paris e limitar o aumento de temperatura de média global em até 2 graus Celsius, o setor de transporte deve reduzir aproximadamente 600 megatoneladas de CO₂ (ITC, 2018). Para isso, as empresas estão alterando suas políticas e tendem aplicar estratégias de descarbonização no futuro, como é mostrado na Figura 15.

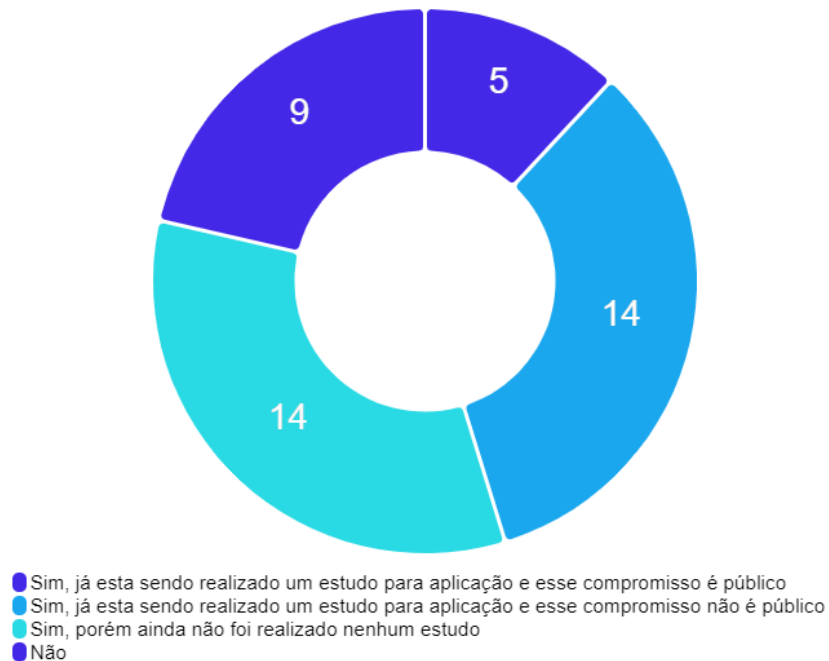
Figura 15- Empresas que tendem a aplicar estratégias de descarbonização



Fonte: Autoria Própria (2023)

Das empresas que já aplicam estratégias de descarbonização na cadeia logística, apenas duas organizações não pretendem continuar com esse compromisso. No entanto, dentre as 18 empresas que ainda não adotam práticas sustentáveis, 61% delas têm a intenção de incorporar tais práticas em sua cultura e implementar ações para reduzir as emissões de gases de efeito estufa. Alguns estudos já estão em andamento para viabilizar a implementação das estratégias de descarbonização, como é ilustrado na Figura 16.

Figura 16- Compromissos futuros com a descarbonização



Fonte: Autoria Própria (2023)

Mais de 78% das empresas participantes têm a intenção de aplicar estratégias de descarbonização na logística. No entanto, nem todas as organizações possuem projetos concretos para a execução dessas estratégias; apenas 42% realizam estudos para iniciar essas aplicações, e 33% não tornam público seu comprometimento. Além disso, 21% das empresas não têm intenção de implementar estratégias para a redução de gases de efeito estufa na logística.

Para alterar esse cenário, diversos *stakeholders*, como clientes, concorrentes e outros participantes da cadeia logística, influenciam as empresas a investirem em estudos e pesquisas para criar novas estratégias de descarbonização. Isso é ilustrado na Figura 17.

Figura 17 - Influenciadores nas estratégias de descarbonização

Fonte: Autoria Própria (2023)

A integração de novos clientes é o fator principal que influencia a criação de estratégias de descarbonização. Cerca de 76% das empresas participantes tendem a implementar práticas de redução de gases devido à expansão do mercado e à atração de potenciais clientes. Metade das empresas que aplicam essas estratégias possuem ideias provenientes do conselho administrativo em sua cultura, a serem implementadas na organização para avançar com os objetivos sustentáveis.

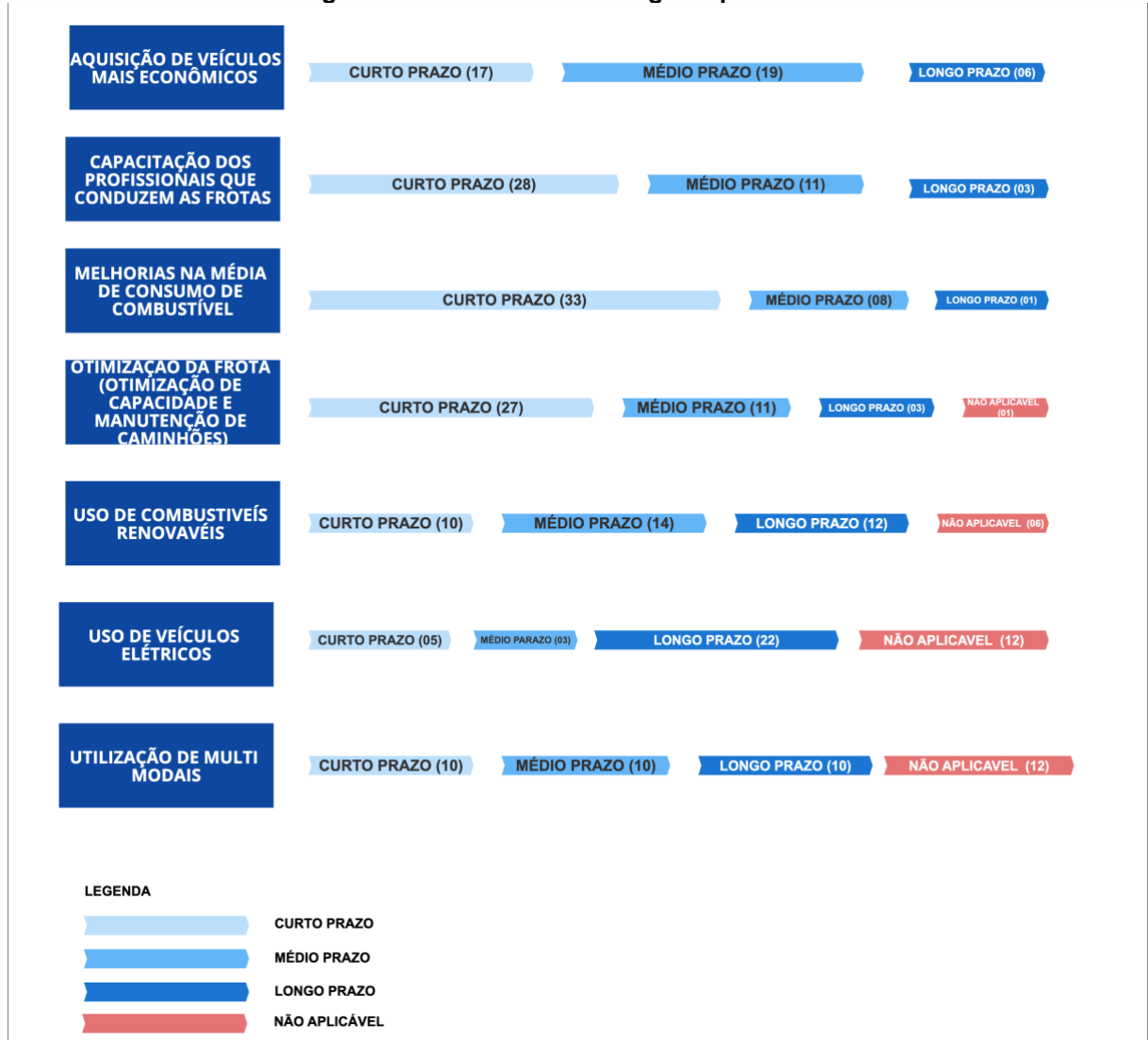
Os clientes atuais e os colaboradores também exercem pressão para a adoção de estratégias de descarbonização, representando respectivamente 42% e 28% das empresas nesta pesquisa. Além disso, investidores e acionistas estão cada vez mais considerando critérios ambientais, sociais e de governança (ASG) para suas decisões de investimento. Por esse motivo, 26% das empresas adotam estratégias para atender a essas demandas, com destaque para a Petrobras, que é mencionada como uma influência exigente para a aplicação dessas estratégias.

Fornecedores e concorrentes também exercem influência, sendo responsáveis por 19% e 16% das empresas, respectivamente. Quando uma empresa se preocupa com a sustentabilidade, tende a buscar fornecedores que também adotam práticas semelhantes em suas operações. Além disso, a competição é outro fator motivador, já que quando concorrentes utilizam estratégias de redução de GEE, isso induz outras empresas a seguirem o mesmo caminho para se destacar no mercado.

Para atender a essa demanda demonstrada acima, as empresas devem definir prazos para a execução das estratégias. Foram selecionadas seis estratégias, e

verificou-se quais seriam aplicadas em curto, médio e longo prazo pelas organizações, como é ilustrado na Figura 18.

Figura 18- Prazos das estratégias aplicadas



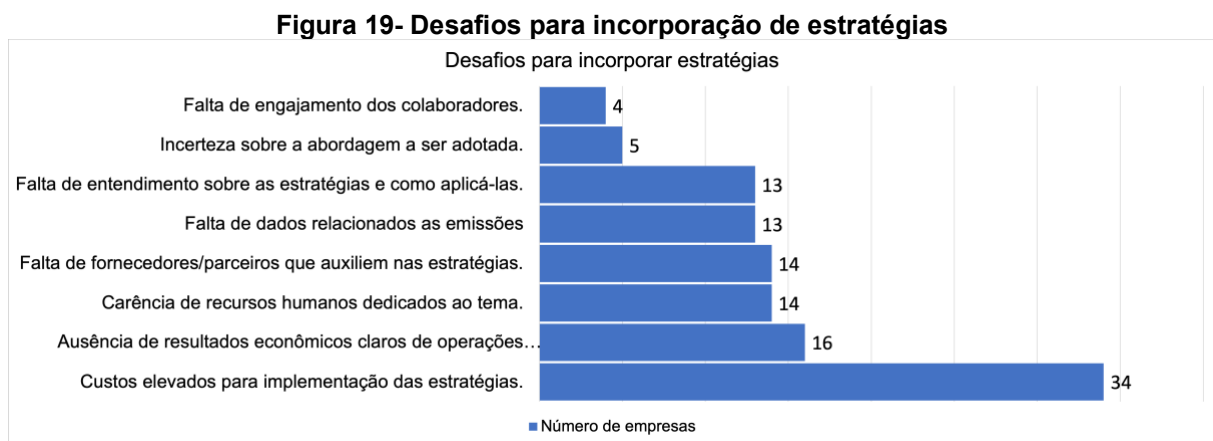
Fonte: Autoria Própria (2023)

Entre as estratégias classificadas, três se destacaram com mais de 50% das empresas aplicando a curto prazo: melhoria na média de consumo de combustível (79%), capacitação dos profissionais que conduzem as frotas (67%) e otimização e realização de manutenção de caminhões (64%). Para aplicações a médio prazo, destacou-se a estratégia de aquisição de veículos mais econômicos, com 45% das empresas adotando essa abordagem. A longo prazo, aproximadamente 52% das empresas pretendem utilizar veículos elétricos.

Houve divergências na determinação dos prazos para a estratégia de utilização de multimodais no transporte de cargas. Aproximadamente 24% das empresas

aplicarão a curto prazo, mesma porcentagem para médio prazo, enquanto 29% não aplicarão essa estratégia. Uma estratégia similar que apresentou divergência foi a utilização de combustíveis renováveis: 24% das empresas optaram por aplicar a curto prazo, 33% a médio prazo, 29% a longo prazo, e 14% não pretendem aplicar essa prática.

Essa discordância e dificuldade em definir os prazos para aplicação das estratégias podem ocorrer devido a fatores como a falta de conhecimento técnico, ausência de comprometimento organizacional, falta de planejamento estratégico, entre outros. Nas empresas avaliadas, a maior dificuldade apontada foi a restrição de recursos financeiros, como demonstrado na Figura 19.



Fonte: Autoria Própria (2023)

O investimento significativo necessário para implementar estratégias de descarbonização é um obstáculo para 80% das empresas analisadas. A transição de operações convencionais para operações de baixo carbono requer mudanças tecnológicas e de infraestrutura, como a adoção de veículos elétricos e caminhões movidos a combustíveis verdes, que podem ter custos iniciais elevados para as empresas. A capacitação dos operadores para lidar com essas novas infraestruturas e tecnologias também demanda investimentos.

No entanto, existem programas que financiam ações de redução de emissões na logística rodoviária, como o Programa de Transporte Sustentável do Banco Interamericano de Desenvolvimento e o Fundo Verde para o Clima das Nações Unidas, além de incentivos fiscais e subsídios para empresas.

A falta de resultados econômicos imediatos também impede que algumas empresas (16 empresas) invistam em estratégias de descarbonização. Os investimentos podem não gerar retornos financeiros imediatos, mas os benefícios

econômicos a longo prazo, como redução de custos operacionais, aumento da eficiência energética, expansão para novos mercados e melhoria na imagem da empresa, são significativos.

Cerca de 14 empresas mencionaram a falta de recursos humanos dedicados ao tema como um desafio. Para superar essa dificuldade, existem opções como a criação de novos departamentos voltados para questões ambientais, contratação de profissionais especializados em sustentabilidade e descarbonização, treinamento e capacitação dos funcionários existentes, parcerias com ONGs e universidades, além da automação de processos para liberar mais tempo dos funcionários para atividades estratégicas.

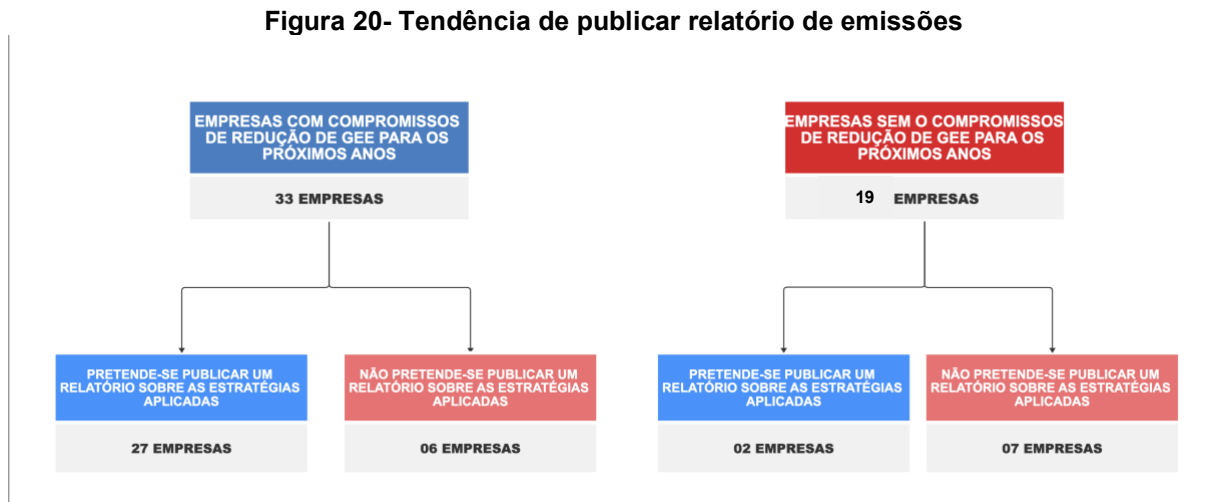
O mesmo número de empresas enfrenta desafios com fornecedores e parceiros para incentivá-los a adotar práticas de redução de emissões. Isso pode ser abordado estabelecendo critérios de sustentabilidade para fornecedores, fornecendo incentivos financeiros e prazos de pagamento flexíveis para aqueles que desenvolvem produtos ou serviços de descarbonização, e estabelecendo metas de sustentabilidade para atrair fornecedores com iniciativas semelhantes.

A falta de dados relacionados às emissões, a falta de compreensão sobre como aplicar as estratégias e a incerteza sobre a abordagem a ser adotada são desafios enfrentados por algumas empresas (13 e 5 empresas, respectivamente). Para superar esses obstáculos, as empresas podem buscar o apoio de consultores especializados em descarbonização no setor logístico. Consultores podem direcionar atividades, fornecer orientação sobre coleta de dados e introduzir programas ecológicos e modelos de dados.

Aproximadamente 47% dos participantes têm interesse em buscar consultoria externa para auxiliar nesse tema, enquanto outras empresas preferem continuar com seus próprios funcionários. Embora 31% das empresas planejem utilizar apenas sua equipe interna para implementar os projetos de descarbonização, 4 empresas ainda têm dificuldades em engajar os colaboradores. Para enfrentar isso, é necessário conscientizar e envolver os funcionários na relevância da criação e desenvolvimento de estratégias de descarbonização, e definir metas e incentivos, como bônus ou reconhecimento.

O cálculo de emissões e a subsequente implementação das estratégias de descarbonização envolvendo empresas do setor logístico tendem a gerar resultados positivos na redução das emissões de GEE. Portanto, as organizações têm interesse

em desenvolver relatórios sustentáveis para demonstrar os dados e resultados, conforme mostrado na Figura 20.



Fonte: Autoria Própria (2023)

Das 33 empresas que se comprometeram com a redução de emissões nos próximos anos, aproximadamente 81% pretendem publicar relatórios sobre suas estratégias de descarbonização. Dessas organizações, 25% já definiram o público-alvo desses relatórios, podendo ser fornecedores, clientes internos ou externos, enquanto o restante ainda não definiu o público-alvo. Entre as 09 empresas que não têm interesse em aplicar práticas de redução de GEE, cerca de 78% também não planejam publicar relatórios sustentáveis, porém 02 empresas demonstraram interesse em fazê-lo.




É importante ressaltar que a realização de inventários e a publicação de relatórios devem ser baseados em ações concretas e efetivas, e não apenas para fins de marketing da empresa ou para realizar "greenwashing" (práticas que aparentam ser sustentáveis sem efetivamente contribuírem para a redução de impactos ambientais). A transparência nos dados e a prestação de contas são fundamentais para garantir a confiabilidade e a credibilidade das empresas ao implementarem a descarbonização.

4.2.4 Realização gráfica das estratégias de descarbonização

Com o intuito de sintetizar todas as estratégias de descarbonização encontradas neste trabalho, foi criada uma representação gráfica das estratégias existentes na literatura, juntamente com as estratégias que as organizações estão

aplicando atualmente e as que pretendem aplicar em curto, médio e longo prazo, como é demonstrado na Figura 21.

Figura 21 - Síntese das estratégias encontradas

Estratégias encontradas na literatura 	Estratégias mais aplicadas pelas empresas 	Estratégias de aplicação futuras 
<ul style="list-style-type: none"> → Utilizar mais de um modal (D'AGOSTO, et al. 2018; INGRAO, et al, 2021, HEINOLD; MEISEL, 2018) → Usar fontes de energia renováveis (D'AGOSTO, et al. 2018) Ação mecânica: redução de atrito como a resistência de rolamento, arrasto aerodinâmico (SULLIVAN, et al., 2018) → Determinar o melhor modelo de caminhão (baseado no fator de emissão para locomoção da carga) (WANGSA, et al., 2020) → Substituições de veículos antigos por aqueles que atendem as normas governamentais (GEDIK, et al., 2022) → Reduzir tempo no processo de carregar e descarregar (EUROPEAN UNION, 2022) → Encontrar rotas ideais através de sistemas de informação (ELANGO VAN, et al., 2021, RAVIGNÉ; DA COSTA, 2021) → Pré-aquecimento dos motores e melhoria dos <i>backhauls</i> (LIMATAINEN, et al., 2012) → Medidas operacionais: eco condução, controle de velocidade (LIMATAINEN, et al., 2012, HEINOLD; MEISEL, 2018) → Utilizar combustíveis alternativos: óleo vegetal hidratado, biocombustíveis, biogás, gás natural e hidrogênio (VENTURA KWEON, et al., 2017, MIRANDA DA SILVA, et al., 2018, BREUR, et al., 2021, WASIAK, et al., 2022). → Utilizar veículos elétricos: híbridos, a bateria ou com célula de de combustíveis (VENTURA, et al., 2017, ELANGO VAN, et al., 2021, ZHRINGER, et al., 2022) 	<ul style="list-style-type: none"> → Aquisição de veículos mais econômicos (42,9%) → Melhorias na média de consumo de combustível (40,5%) → Otimização da capacidade e manutenção preventiva de caminhões (35,7%) → Renovar e modernizar a frota (33,3%) → Utilização de sistemas de informação para rastreamento e acompanhamento da frota (SIG, GPS, ITS) (33,3%) → Utilização de veículos com maior eficiência energética (28,6%) → Capacitação dos profissionais que manejam as frotas (Eco-Driving (26,2%) → Promover de melhoria da aerodinâmica dos veículos (19,0%) 	<ul style="list-style-type: none"> → Otimização da frota (otimização da capacidade, manutenção de caminhões) - CURTO PRAZO → Capacitação dos profissionais que conduzem as frotas -CURTO PRAZO → Melhorias na média de consumo de combustível - CURTO PRAZO → Aquisição de veículos mais econômicos - MÉDIO PRAZO → Uso de combustíveis renováveis (Ex: Biodiesel, biogás) - MÉDIO PRAZO → Uso de veículos elétricos - LONGO PRAZO → Utilização de multimodais no transporte de cargas - NÃO DESEJAM APLICAR

Fonte: Autoria Própria (2023)

É evidente que a maioria das organizações (57,1%) está adotando estratégias sustentáveis e buscando descarbonizar a cadeia logística de cargas pesadas por via rodoviária. Essas ações implementadas pelas empresas estão sendo analisadas na literatura, como exemplificado pela aquisição de veículos mais eficientes e a renovação de frotas. Para realizar essas estratégias, as empresas começam com uma

pesquisa de mercado para identificar os modelos de caminhões apropriados e o tamanho adequado dos veículos para atender às necessidades de transporte de carga. Tais ações são propostas por autores como Wangsa, *et al.* (2020) e Gedik, *et al.* (2022).

Outra estratégia mencionada pelas organizações é a melhoria na média do consumo de combustível, que pode ser alcançada por meio de práticas como eco condução (LIMATAINEN, *et al.*, 2012; HEINOLD; MEISEL, 2018), pré-aquecimento dos motores e otimização dos retornos (LIMATAINEN, *et al.*, 2012), bem como ações mecânicas, incluindo a redução do atrito por meio de resistência ao rolamento e arrasto aerodinâmico (SULLIVAN, *et al.*, 2018). A definição de rotas ideais com base em sistemas de informação (ELANGO VAN, *et al.*, 2021; RAVIGNÉ; DA COSTA, 2021) também pode contribuir para essa estratégia.

Algumas estratégias apontadas na literatura são menos adotadas pelas empresas devido a desafios como custos elevados de implementação, retornos a longo prazo e, principalmente, falta de conhecimento na execução dessas estratégias. No entanto, as empresas estão planejando adotar essas abordagens em curto, médio e longo prazo.

No curto prazo, há planos para otimizar a capacidade das frotas, utilizando o máximo da capacidade de carga dos caminhões para reduzir o número de veículos e, conseqüentemente, as emissões poluentes. Além disso, a capacitação dos motoristas e a continuação de estratégias para reduzir o consumo de combustível estão nos planos. A médio prazo, as empresas estão se programando para adquirir veículos mais eficientes e adotar combustíveis renováveis e alternativos, conforme sugerido por estudos de autores como D'Agosto, *et al.* (2018), Ventura Lweon, *et al.* (2017), Miranda da Silva, *et al.* (2018), Breur, *et al.* (2021) e Wasiak, *et al.* (2022). A aquisição de veículos elétricos, como explorado por Ventura, *et al.* (2017), Elangovan, *et al.* (2021) e Zahringer, *et al.* (2022), está planejada para o longo prazo.

Por outro lado, algumas estratégias, como a utilização de multimodais no transporte de cargas, não estão sendo consideradas pelas empresas, muitas das quais trabalham exclusivamente com o modal rodoviário.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização desta pesquisa permitiu alcançar o objetivo geral estabelecido neste estudo, que consistia em diagnosticar os tipos de estratégias de descarbonização que estão sendo aplicadas e relatadas por empresas na cadeia logística rodoviária de transporte de cargas pesadas no Brasil.

O primeiro objetivo específico visava caracterizar a cadeia logística rodoviária de transporte de cargas pesadas no Brasil e as emissões associadas a essa atividade. A literatura apontou que mais de 70% do frete rodoviário brasileiro é realizado por caminhões de carga, devido à sua consideração como um meio econômico e flexível de transporte de mercadorias (ENGSTRÖM, 2016; KHANNA, et al., 2021).

No entanto, o aumento da frota de caminhões no Brasil, juntamente com a infraestrutura rodoviária precária e o uso de combustíveis fósseis, resulta em impactos negativos nas esferas econômica, ambiental e social. Recentemente, caminhões foram responsáveis por cerca de 40% das emissões nas rodovias brasileiras (KHANNA, et al., 2021; PADDEU, DENBY, 2022).

Para mitigar esses impactos, as organizações têm adotado compromissos mais sustentáveis no setor de transporte, alinhados a conferências e tratados internacionais. O Plano Nacional de Logística (PNL) e o Programa de Logística Verde Brasil (PLVB) são exemplos dessas iniciativas, com o objetivo de estabelecer estratégias sustentáveis de longo prazo no transporte. Além disso, foram apresentadas regulamentações e padrões tecnológicos no Brasil que visam melhorar a eficiência dos veículos e reduzir as emissões atmosféricas no transporte.

O segundo objetivo específico tinha o propósito de identificar estratégias de descarbonização já existentes globalmente. Para isso, foram pesquisadas metodologias que permitissem a mensuração das emissões e a criação de estratégias de descarbonização para serem relatadas. Foram destacadas duas metodologias: a Análise do Ciclo de Vida e a GLEC Framework, ambas servindo como guias para as transportadoras calcularem e reportarem as emissões das operações ao longo do ciclo de vida dos produtos.

Além disso, o GHG Protocol foi mencionado como uma ferramenta que promove ações corporativas para mensurar, publicar e gerenciar as emissões de gases do efeito estufa. Também foram identificadas ferramentas como a EcoTransIT

World, a Network for Transport Measures e a SmartWay, todas com o propósito de avaliar, mensurar e relatar os impactos ambientais do transporte rodoviário de cargas.

Após a quantificação de gases emitidos, podem ser citadas algumas estratégias de descarbonização encontradas na literatura para a aplicação na organização. Dentre essas estratégias, destacam-se a utilização de modais combinados para reduzir o consumo de energia e a demanda de infraestrutura, a adoção de caminhões mais energeticamente eficientes, a implementação de medidas operacionais como a condução econômica e a otimização do uso de pneus e óleos.

Além disso, é importante considerar a adoção de ações mecânicas, como a substituição de veículos antigos por caminhões que atendam aos padrões governamentais, a definição de rotas ideais por meio de sistemas de planejamento, a utilização de gases naturais e combustíveis alternativos, bem como a aquisição de caminhões elétricos. É fundamental lembrar-se de analisar todo o ciclo de vida para avaliar qual estratégia é mais eficiente a ser adotada.

O terceiro objetivo específico consiste na caracterização das empresas que atuam na logística rodoviária. Para isso, foi aplicado um questionário em 42 organizações relacionadas ao setor de logística rodoviária no Brasil. Essas empresas operam em todas as regiões do país, com maior destaque nas regiões Sudeste, Sul e Centro-Oeste. O porte predominante das organizações varia de 100 a 499 caminhões. No que diz respeito aos setores de atuação, a indústria é o segmento mais destacado, seguido pelo agronegócio, além dos setores alimentício e químico.

Das 42 empresas avaliadas, constatou-se que 57% delas já implementam uma ou mais estratégias de descarbonização. Entre as empresas que possuem uma frota de 100 a 300 caminhões, observa-se uma maior adoção dessas estratégias. Isso se deve ao fato de que essas empresas possuem frotas menores, o que implica em investimentos mais acessíveis em tecnologias de descarbonização. Em contrapartida, as empresas que possuem mais de 500 veículos conseguem abranger estratégias de redução de emissões GEE em grande parte das regiões do país.

No quarto objetivo específico, o foco era coletar as estratégias adotadas pelas empresas de logística rodoviária no Brasil. Foram identificadas 23 estratégias que estão sendo desenvolvidas por essas organizações. A estratégia mais comum é a aquisição de veículos com maior eficiência de consumo, com cerca de 24% das empresas planejando adquirir novos caminhões nos próximos 12 meses. Além disso, destacam-se atividades voltadas para a melhoria da eficiência de combustível, como

a adoção de práticas de eco condução, ajustes de velocidade e manutenção adequada dos pneus. Essas atividades são atrativas devido ao baixo investimento e curto prazo de implementação.

Outras estratégias importantes incluem a otimização da capacidade dos caminhões e o uso de sistemas de rastreamento e gerenciamento de frotas. No entanto, algumas estratégias são menos adotadas, como a capacitação dos profissionais, melhorias mecânicas nos veículos e a utilização de combustíveis renováveis. Com a implementação dessas ações de descarbonização, as empresas já relataram a conquista de benefícios, como a melhoria da imagem e valorização da marca, aumento da competitividade e mitigação de riscos.

Há uma tendência clara das empresas em continuar adotando ações de descarbonização nos próximos anos. Aproximadamente 78% das organizações têm a intenção de continuar ou iniciar a implementação de novas estratégias. No entanto, existem desafios que as empresas enfrentam, como os altos custos de implementação, a falta de resultados econômicos imediatos e a escassez de mão de obra especializada nesse tema.

No quinto objetivo específico, foi criada uma apresentação gráfica que sintetiza as estratégias de descarbonização adotadas pelas empresas. Observou-se que muitas das estratégias mencionadas na literatura já estão sendo implementadas ou estão nos planos de desenvolvimento das organizações.

Para as ações futuras, é evidente que algumas empresas têm a intenção de aplicar estratégias de curto prazo, como a melhoria da média de consumo de combustível, a capacitação dos profissionais e a otimização das manutenções dos caminhões. Em um prazo médio, há a tendência de aquisição de veículos mais eficientes em termos de consumo e a adoção de combustíveis renováveis. Já a longo prazo, as empresas planejam a incorporação de veículos elétricos.

Isso demonstra um planejamento escalonado e abrangente para a descarbonização, onde as empresas estão considerando estratégias que abrangem desde a otimização imediata das operações até a adoção de tecnologias mais avançadas e sustentáveis no futuro.

5.1 Limitação do estudo

Houve dificuldade de acesso, de modo geral, a empresas e a taxa de respostas foi reduzida, assim, diminuindo o retorno das mensagens enviadas e

prejudicando a quantidade de amostras para avaliar os resultados. Outra limitação foi em relação à análise dos dados, pois ela foi realizada para operadores logísticos em diferentes locais, tamanhos, regiões e tipos de operação, além de não ter sido realizado um estudo individual em cada empresa.

5.2 Sugestões para estudos futuros

Por meio do desenvolvimento desta dissertação, sugerem-se algumas oportunidades para estudos futuros em relação à análise das estratégias de descarbonização na cadeia logística rodoviária.

- Avaliar quais são os padrões econômicos das empresas participantes para comparar as definições das estratégias de curto, médio e longo prazo;
- Realizar uma ACV com as estratégias mais utilizadas para classificar quais estratégias apresentadas na literatura são mais eficazes e medir o desempenho ambiental comparativo dessas ações;
- Elaborar um relatório técnico informando as empresas sobre as metodologias disponíveis para mensurar os gases de efeito estufa e as estratégias que podem ser aplicadas, bem como a forma de relatá-las;
- Desenvolver uma ferramenta que auxilie o gestor da empresa na tomada de decisão para escolher a estratégia e a tecnologia adequadas a serem aplicadas.
- Percebe-se que algumas empresas ainda não possuem conhecimento técnico sobre metodologias de mensuração de gases de efeito estufa e sobre as estratégias de descarbonização, o que pode dificultar a aplicação de práticas mais sustentáveis. Recomenda-se o esclarecimento desses termos para possibilitar uma futura pesquisa.
- Essas estratégias contribuem para o desenvolvimento de uma cadeia logística rodoviária de transporte de cargas pesadas mais sustentável, reduzindo a quantidade de emissão de gases e causando um menor impacto ambiental.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. **Entenda a classificação Tipos de Veículos de Transporte Rodoviário de Carga**. 2021. Disponível em: <https://www.antt.net.br/artigos/13249>. Acesso em: 03 mar. 2022.

AJANOVIC, A.; SAYER, M.; HAAS, R. **The economics and the environmental benignity of different colors of hydrogen**, International Journal of Hydrogen Energy, v. 47, n. 57, p. 24136–24154, 2022. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2022.02.094. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.02.094>.

ALI, Y., *et al.* **Improving inland freight logistic efficiencies: Is there any ideal modal split?**, Case Studies on Transport Policy, v. 10, n. 2, p. 777–784, 2022. DOI: 10.1016/j.cstp.2022.02.005. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2022.02.005>.

ANVAR, S. H., SADEGHEIH, A., ZAD, M. A. V. **Carbon emission management for greening supply chains at the operational level**. Environmental Engineering and Management Journal, v. 17, n. 6, p. 1337–1348, 2018. DOI: 10.30638/eemj.2018.133.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES. **Conduzindo o Futuro da mobilidade no Brasil**: Carta da ANFAVEA -resultados de janeiro a setembro de 2022. 437. ed. São Paulo: Anfavea, 2022.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES. **Dados Estatísticos para Download**. 2023. Disponível em: <https://anfavea.com.br/site/edicoes-em-excel/>. Acesso em: 28 mar. 2023.

BERGER, R. **Hydrogen transportation**: the key to unlocking the clean hydrogen economy. Munique: Roland Berger GmbH, 2021.

BRASIL. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Mistura de biodiesel ao diesel passa a ser de 13% a partir de hoje (1/3)**. 2021a. Disponível em: https://www.gov.br/anp/pt-br/canais_atendimento/imprensa/noticias-comunicados/mistura-de-biodiesel-ao-diesel-passa-a-ser-de-13-a-partir-de-hoje-1-3.. Acesso em: 02 mar. 2022.

BRASIL. Constituição (2018). **Resolução nº 490, de novembro de 2018**. Lex: Ministério do Meio Ambiente/Conselho Nacional do Meio Ambiente. 223. ed. Brasília, 21 nov. 2018. Seção 153. Disponível em: https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/51058898/do1-2018-11-21-resolucao-n-490-de-16-de-novembro-de-2018-51058604. Acesso em: 23 mar. 2023

BRASIL. **Desenvolvimento Sustentável Orientado ao Transporte no Brasil (DOT)**. CTF, BID. 2021b. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/mobilidade-e-servicos-urbanos/outras-iniciativas/parcerias-em->

andamento/desenvolvimento-sustentavel-orientado-ao-transporte-no-brasil-dot. Acesso em: 30 abr. 2023.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. **Emissões de GEE por Setor**: [Brasília]: 2021c. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/emissoes/emissoes-de-gee-por-setor-1>. Acesso em: 02 fev. 2022

BRASIL. Ministério da Infraestrutura Agência Nacional de Transportes Terrestres. **Relatório Anual de Atividades**: exercício 2019. [Brasília]: [ANTT], 2019. Disponível em: <https://portal.antt.gov.br/documents/860252/862899/Relat%C3%B3rio+Anual+2019.pdf/22a726b9-d204-2f2d-613b-1ad9c42a12dc?t=1591905684473>. Acesso em: 03 mar. 2022.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **RenovaBio**. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/renovabio>. Acesso em: 03 mar. 2022.

BREUER, J. L., *et al.* **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, v. 152, n. March, p. 106474, 2021. DOI: 10.1016/j.envint.2021.106474. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106474>.

BYNUM, C., *et al.* **An examination of a voluntary policy model to effect behavioral change and influence interactions and decision making in the freight sector**, Transportation Research Part D: Transport and Environment, v. 61, p. 19–32, 2016. DOI: 10.1016/j.trd.2016.11.018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2016.11.018>.

CARVALHO, V. S. B., *et al.* **Air quality status and trends over the Metropolitan Area of São Paulo, Brazil as a result of emission control policies**, Environmental Science and Policy, v. 47, p. 68–79, 2015. DOI: 10.1016/j.envsci.2014.11.001.

CHAABANE, A.; RAMUDHIN, A.; PAQUET, M. **Designing supply chains with sustainability considerations**. Production Planning & Control, v. 22, n. 8, p. 727-741, 2011.

CINTIA MACHADO DE OLIVEIRA (Brasil). **Guia De Referências Em Sustentabilidade**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Transporte Sustentável (IBTS), 2017. Disponível em: <http://plvb.org.br/wp-content/uploads/2018/07/Guia-de-Referencias-em-Sustentabilidade-2.pdf>. Acesso em: 03 mar. 2022.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Qualidade do Ar no Estado de São Paulo**. São Paulo: Cetesb, 2020. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/wp-content/uploads/sites/28/2021/05/Relatorio-de-Qualidade-do-Ar-no-Estado-de-Sao-Paulo-2020.pdf>. Acesso em: 03 mar. 2022.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Anuário CNT do transporte: estatísticas consolidadas**. Estatísticas Consolidadas. 2022a. Disponível em: <https://anuariodotransporte.cnt.org.br/2022/>. Acesso em: 23 fev. 2023.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Boletins**. Disponível em: <https://www.cnt.org.br/boletins..> Acesso em: 02 mar. 2022b.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Caderno CNT de perguntas e respostas sobre a fase P-8 do programa de controle da poluição do ar por veículos automotores** - Proconve. Brasília: Cnt, 2020. Disponível em: <http://repositorio.itl.org.br/jspui/handle/123456789/486>. Acesso em: 03 mar. 2020

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Pesquisa CNT de rodovias 2021a**. Brasília: Mapas, Gráficos, 2021.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Terminais de carga do Brasil: Aspecto Geral**. Brasília: Norwegian Embassy, 2021b. 91p v.1.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 490, de 16 de novembro de 2018**. Brasil.

CONVENÇÃO-QUADRO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Finance for Climate**. 2017. Disponível em: https://unfccc.int/topics/capacity-building/workstreams/regional-collaboration-centres/finance-for-climate?gclid=CjwKCAjwjMiiBhA4EiwAZE6jQ9o0smalA3tQDRVnQ0Aub_01eIObgTlp_nDZPI6ZH6xadtv5TmrJcxoCbgkQAvD_BwE,. Acesso em: 30 abr. 2023.

CREUTZIG, F. **How fuel prices determine public transport infrastructure, modal shares and urban form**. *Urban climate*, v. 10, p. 63-76, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2014.09.003>

DAVYDENKO, *et al.* **Mass-Balance Method for Provision of Net Zero Emission Transport Services**, *Sustainability (Switzerland)*, , v. 14, n. 10, maio 2022. DOI: 10.3390/su14106125. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85131078168&doi=10.3390%2Fsu14106125&partnerID=40&md5=b4a60d430eedaa7440bc20a38eec1299>.

DEHDARI, P.; WLCEK, H.; FURMANS, K. **An updated literature review of CO2e calculation in road freight transportation**, *Multimodal Transportation*, v. 2, n. 2, p. 100068, 2023. DOI: 10.1016/j.multra.2022.100068. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.multra.2022.100068>.

DE LAS NIEVES CAMACHO, M.; JURBURG, D.; TANCO, M. **Hydrogen fuel cell heavy-duty trucks: Review of main research topics**, *International Journal of Hydrogen Energy*, v. 47, n. 68, p. 29505–29525, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.06.271>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319922029068>.

DHL TREND RESEARCH. **The Logistics Trend Radar**. 6. ed. Alemanha: Words Europe, 2022.

DINIZ, E. H., *et al.* **Greening inventories**: Blockchain to improve the GHG Protocol Program in scope 2, *Journal of Cleaner Production*, v. 291, 2021. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.125900.

DRIVE TO ZERO (org.). **Landmark commitment at COP26**: countries, subnational governments, vehicle manufacturers and fleets target 100% zero-emission new truck and bus sales by 2040. Countries, subnational governments, vehicle manufacturers and fleets target 100% zero-emission new truck and bus sales by 2040. 2021. Disponível em: <https://globaldrivetozero.org/2021/12/07/landmark-commitment-at-cop26-countries-subnational-governments-vehicle-manufacturers-and-fleets-target-100-zero-emission-new-truck-and-bus-sales-by-2040-blog/>. Acesso em: 01 abr. 2023.

DU PLESSIS, M.; VAN EEDEN, J.; GOEDHALS-GERBER, L. **Carbon mapping frameworks for the distribution of fresh fruit: A systematic review**, *Global Food Security*, v. 32, n. August 2021, p. 100607, 2022. DOI: 10.1016/j.gfs.2021.100607. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2021.100607>.

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

ECOTRANSIT WORLD (ETW). **A methodology with a solid base creates confidence and provides certainty for the right decisions**. 2019. Disponível em: <https://www.ecotransit.org/en/methodology/>. Acesso em: 23 mar. 2023.

EICKE, L.; GOLDTHAU, A. **Are we at risk of an uneven low-carbon transition? Assessing evidence from a mixed-method elite study**, *Environmental Science & Policy*, v. 124, p. 370–379, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2021.07.009>.

ELANGO VAN, R., *et al.* **Comparative Analysis of Energy Use and Greenhouse Gas Emission of Diesel and Electric Trucks for Food Distribution in Gowanus District of New York City**, *FRONTIERS IN BIG DATA*, v. 4, 2021. DOI: 10.3389/fdata.2021.693820.

ELHEDHLI, S., MERRICK, R. **Green supply chain network design to reduce carbon emissions**, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, v. 17, n. 5, p. 370-379, 2012. DOI: 10.1016/j.trd.2012.02.002.

EMPRESA DE PLANEJAMENTO E LOGÍSTICA S.A. **Plano Nacional de Logística - PNL**. Disponível em: <https://www.epl.gov.br/plano-nacional-de-logistica-pnl..> Acesso em: 02 mar. 2022.

EMPRESA DE PLANEJAMENTO E LOGÍSTICA S.A. **Plano Nacional de Logística: Relatório Executivo 2035**. Brasília: EPL, 2018.

EMPRESA DE PLANEJAMENTO E LOGÍSTICA S.A. **Rodovias no Plano Nacional de Logística**. Brasília: Webinar, 2020.

ENGSTRÖM, R. **The Roads Role in the Freight Transport System**, *Transportation Research Procedia*, v. 14, p. 1443–1452, 2016. DOI: 10.1016/j.trpro.2016.05.217.

Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.217>.

ENVIRONMENTAL METHODOLOGY AND DATA UPDATE 2022. Berma: Ecotransit World Initiative (Ewi), 2022. Comissão. Zero emission vehicles: first 'Fit for 55' deal will end the sale of new CO2 emitting cars in Europe by 2035. 2022. Disponível em: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_6462. Acesso em: 01 mar. 2023.

EUROPEAN COMMISSION. **Paris Agreement**. Disponível em: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/international-action-climate-change/climate-negotiations/paris-agreement_en. Acesso em: 23 fev. 2023.

EUROPEAN COMMISSION. **Zero emission vehicles**: first 'Fit for 55' deal will end the sale of new CO2 emitting cars in Europe by 2035. 2022. Disponível em: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_6462. Acesso em: 01 mar. 2023.

EUROPEAN UNION. **Reduction of CO2-Emissions ejected by Heavy-Duty-Vehicles: in the port of hamburg**. Hamburg: Smooth Ports, 2020.

FROIO, P. J.; BEZERRA, B. S. **Environmental sustainability initiatives adopted by logistics service providers in a developing country** – an overview in the Brazilian context. *Journal of Cleaner Production*, v. 304, 2021. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.126989.

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS. **Especificações do Programa Brasileiro GHG Protocol**: contabilização, quantificação e publicação de inventários corporativos de emissões de gases de efeito estufa. 2. ed. Brasília: WRI, 2022a.

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS. **Programa Brasileiro GHG Protocol**. 2022b. Disponível em: <https://eaesp.fgv.br/centros/centro-estudos-sustentabilidade/projetos/programa-brasileiro-ghg-protocol>. Acesso em: 13 maio 2022.

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS. **Transportes**. Overview of the logistics sector in Brazil. Brasília: Norwegian Embassy, 2020. 54p.

GEDIK, A.; USLU, O.; LAV, A. **A prospective study to evaluate CO2 emission mitigation strategies for highway transportation**. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 194, n. 10, 2022. DOI: 10.1007/s10661-022-10349-5.

GHG. **GLEC Framework**: a universal method for logistics emissions accounting. a universal method for logistics emissions accounting. 2016. Disponível em: <https://ghgprotocol.org/blog/glec-framework-universal-method-logistics-emissions-accounting>. Acesso em: 23 mar. 2023.

GHISOLFI, V., *et al.* **Dynamics of freight transport decarbonisation**: a conceptual model. *Journal of Simulation*, p. 1-19, 2022.

GIELEN, Dolf; KRAM, Tom. **The role of non-CO₂ greenhouse gases in meeting Kyoto targets**. Economic Modelling of Climate Change, OECD Workshop Report. 1998. p. 17-18.

GLOBAL CARBON PROJECT. **Global Carbon Budget 2022**. 2022. Disponível em: https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions?end_year=2021&emissions=TOP&source=GCP&start_year=2011. Acesso em: 20 mar. 2023.

GONDIM, F. L., *et al.* **Exposure to total particulate matter obtained from combustion of diesel vehicles (Euro 3 and Euro 5): Effects on the respiratory systems of emphysematous mice**. Environmental Toxicology and Pharmacology, v. 83, p. 103583, out. 2021. DOI: 10.1016/j.etap.2021.103583.

GOVINDAN, K., *et al.* **Two-echelon multiple-vehicle location-routing problem with time windows for optimization of sustainable supply chain network of perishable food**. INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION ECONOMICS, v. 152, p. 9–28, 2014. DOI: 10.1016/j.ijpe.2013.12.028.

GRIFFITHS, S., *et al.* **Industrial decarbonization via hydrogen: A critical and systematic review of developments, socio-technical systems and policy options**. Energy Research & Social Science, v. 80, p. 102208, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102208>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214629621003017>.

HEINOLD, A., MEISEL, F. **Emission rates of intermodal rail/road and road-only transportation in Europe: A comprehensive simulation study**, Transportation Research Part D-Transport and Environment, v. 65, p. 421–437, 2018. DOI: 10.1016/j.trd.2018.09.003.

HERRERA, *et al.* **Carbon Footprint Analysis of Bioenergy Production from Cattle Manure in the Brazilian Central-West**. Bioenergy Research, DOI: 10.1007/s12155-020-10216-6. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85095692951&doi=10.1007%2Fs12155-020-10216-6&partnerID=40&md5=99c95efe35e24b82b0e8a83d28a0211e>

IACOB, M. E., *et al.* **Towards a reference architecture for fuel-based carbon management systems in the logistics industry**. Information systems frontiers, v. 15, p. 725-745, 2013.

INGRAO, *et al.* **Freight transport in the context of industrial ecology and sustainability: evaluation of uni- and multi-modality scenarios via life cycle assessment**, International Journal of Life Cycle Assessment. v. 26, p. 127-142, 2021. DOI: 10.1007/s11367-020-01831-8. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85095613472&doi=10.1007%2Fs11367-020-01831-8&partnerID=40&md5=3ce03dee28cb5942b9ab59d2035c47fc>.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Frota de veículos**.

2022. Disponível em:

<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/22/28120?tipo=grafico&indicador=28123>.

Acesso em: 23 mar. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE TRANSPORTE SUSTENTÁVEL. **Informativo**

Sustentabilidade em Logística. Rio de Janeiro: Observatório de Sustentabilidade em Mobilidade Logística, 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS

NATURAIS. **Programa de controle de emissões veiculares (Proconve)**. 2016.

Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/emissoes/veiculos-automotores/programa-de-controle-de-emissoes-veiculares-Proconve>. Acesso em: 03 mar. 2022.

INSTITUTO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. **As emissões brasileiras de gases de efeito estufa nos setores de Energia e de Processos Industriais em 2019**. 2020. Disponível em:

<https://energiaeambiente.org.br/as-emissoes-brasileiras-de-gases-de-efeito-estufa-nos-setores-de-energia-e-de-processos-industriais-em-2019-20201201#:~:text=Agora%20mostrando%20as%20porcentagens%20das,e%2025%25%20ao%20de%20cargas..> Acesso em: 12 maio 2022.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Trucks and Buses**. Paris: IEA, 2021.

Disponível em: <https://www.iea.org/reports/trucks-and-buses>. Acesso em: 03 mar. 2022.

INTERNATIONAL TRANSPORT FORUM (ITF). **How Transport CO2 Reduction Pledges Fall Short**. Reino Unido: Policy Brief, 2018.

JOEL MAKOWER. **Logistics gets on a sustainable track**. 2022. GreenBiz.

Disponível em: <https://www.greenbiz.com/article/logistics-gets-sustainable-track>. Acesso em: 10 mar. 2023.

KAACK, L. H., *et al.* **Decarbonizing intraregional freight systems with a focus on modal shift**. Environmental Research Letters, v. 13, n. 8, p. 083001, 2018.

KANNAN, D., *et al.* **A carbon footprint based reverse logistics network design model**. Resources, Conservation and Recycling,. DOI: 10.1016/j.resconrec. mar.

2012. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84866013231&doi=10.1016%2Fj.resconrec.2012.03.005&partnerID=40&md5=8a44ad81a43ba5beba3928926a8da613>.

KAUR, R., *et al.* **Carbon accounting management in complex manufacturing supply chains: A structured framework approach**. Procedia CIRP, v. 107, n. 2021, p.

869–875, 2022. DOI: 10.1016/j.procir.2022.05.077. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.05.077>.

KELLNER, F.; IGL, J. **Greenhouse gas reduction in transport: Analyzing the carbon dioxide performance of different freight forwarder networks**. Journal of Cleaner Production. mar. 2015. DOI: 10.1016/j.jclepro. Disponível em:

<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84929262475&doi=10.1016%2Fj.jclepro.2015.03.026&partnerID=40&md5=84ed58763756dad58fba4249ca719fae>.

KHANNA, N. et al. **Near and long-term perspectives on strategies to decarbonize China's heavy-duty trucks through 2050**. *Scientific reports*, v. 11, n. 1, p. 20414, 2021.

KIRSCHSTEIN, T.; MEISEL, F. **GHG-emission models for assessing the eco-friendliness of road and rail freight transports**. *Transportation Research Part B-Methodological*, v. 73, p. 13–33, 2015. DOI: 10.1016/j.trb.2014.12.004.

KOTIKOV, J.; KRAVCHENKO, P. **Assessment of combined transportation energy efficiency based on Bartini's LT-table entities**. *Transportation Research Procedia*, v. 50, n. 2019, p. 302–309, 2020. DOI: 10.1016/j.trpro.2020.10.036. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.10.036>.

KUMAR, R. R.; GUHA, P.; CHAKRABORTY, A. **Comparative assessment and selection of electric vehicle diffusion models: A global outlook**, *Energy*, v. 238, p. 121932, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121932>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544221021800>.

LAJEVARDI, S.; AXSEN, J.; CRAWFORD, C. **Examining the role of natural gas and advanced vehicle technologies in mitigating CO2 emissions of heavy-duty trucks: Modeling prototypical British Columbia routes with road grades**. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, v. 62, p. 186–211, 2018.

LENG, L., et al. **A novel bi-objective model of cold chain logistics considering location-routing decision and environmental effects**, *PLoS ONE*, DOI: 10.1371/journal.pone.0230867. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85083015967&doi=10.1371%2Fjournal.pone.0230867&partnerID=40&md5=164dff262b5adf806753727a879caad9>.

LIESEN, A., et al. **Does stakeholder pressure influence corporate GHG emissions reporting? Empirical evidence from Europe**. *Accounting, Auditing & Accountability Journal*, 2015.

LIIMATAINEN, H., et al. **Energy efficiency practices among road freight hauliers**. *ENERGY POLICY*, v. 50, p. 833–842, 2012. DOI: 10.1016/j.enpol.2012.08.049.

LOBATO, M. F.; RODRIGUES, B. M. M.; SANTOS, A. **Impact of the COVID-19 pandemic on vehicle emissions in Brazil from January to May 2020**. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, v. 26, p. 829–836, 2021.

LU, X. Y., et al. **Predicting Transportation Carbon Emission with Urban Big Data**. *IEEE Transactions on Sustainable Computing*, v. 2, n. 4, p. 333–344, 2017. DOI: 10.1109/TSUSC.2017.2728805.

MAERZINGER, T., *et al.* **Novel Modelling Approach for the Calculation of the Loading Performance of Charging Stations for E-Trucks to Represent Fleet Consumption**, *Energies*, v. 14, n. 12, jun. 2021. DOI: 10.3390/en14123471.

MAES, A. *et al.* **A methodology for high resolution vehicular emissions inventories in metropolitan areas**: Evaluating the effect of automotive technologies improvement, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, v. 77, n. November, p. 303–319, 2019. DOI: 10.1016/j.trd.2019.10.007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.10.007>.

MANGINA, *et al.* **Data analytics for sustainable global supply chains**. *Journal of Cleaner Production*, v. 255, p. 120300, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120300>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620303474>.

MARTINEZ, P. J.; MIRANDA, R. M.; ANDRADE, M. F. **Freight road transport analysis in the metro Sao Paulo**: Logistical activities and CO2 emissions. *Transportation Research Part A-Policy and Practice*, v. 137, p. 16–33, 2020. DOI: 10.1016/j.tra.2020.04.015.

MARTINS, *et al.* **Sustainable practices in logistics systems**: An overview of companies in Brazil. *Sustainability (Switzerland)*, v. 11, n. 15, p. 1–12, 2019. DOI: 10.3390/su11154140.

MCKINNON, Alan C. **Freight transport deceleration: Its possible contribution to the decarbonisation of logistics**. *Transport Reviews*, v. 36, n. 4, p. 418-436, 2016.

MEYER, T. **Decarbonizing road freight transportation – A bibliometric and network analysis**, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, v. 89, n. November, 2020. DOI: 10.1016/j.trd.2020.102619.

MIKLAUTSCH, P.; WOSCHANK, M. **A framework of measures to mitigate greenhouse gas emissions in freight transport**: Systematic literature review from a Manufacturers perspective. *Journal of Cleaner Production*, v. 366, set. 2022. DOI: 10.1016/j.jclepro.2022.132883.

MIRANDA, A. C.; DA SILVA FILHO, S. C.; TAMBOURGI, E. B. **Analysis of the costs and logistics of biodiesel production from used cooking oil in the metropolitan region of Campinas (Brazil)**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 88, p. 373-379, fev. 2018.

NETWORK FOR TRANSPORT MEASURES. **Introduction to performance calculations**. Disponível em: <https://www.transportmeasures.org/en/wiki/manuals/all-modes/>. Acesso em: 23 mar. 2023.

NG, C. Y., LAM, S. S., SAMUEL, C. P. M. **Logistic sequencing for improving environmental performance using ant colony optimization**, *Environmental Impact Assessment Review*, v. 77, p. 182–190, 2019. DOI: 10.1016/j.eiar.2019.03.002.

NIEUWENHUIS, P.; BERESFORD, A., CHOI, A. K. Y. **Shipping or local**

production? CO2 impact of a strategic decision: An automotive industry case study. *International Journal of Production Economics*, v. 140, n. 1, p. 138–148, 2012. DOI: 10.1016/j.ijpe.2012.01.034.

NOVAES DAS VIRGENS, T. A.; ANDRADE, J. C. S.; HIDALGO, S. L. **Carbon footprint of public agencies: The case of Brazilian prosecution service**, *Journal of Cleaner Production*, v. 251, 2020. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.119551.

PACHECO, M. T., *et al.* **A review of emissions and concentrations of particulate matter in the three major metropolitan areas of Brazil.** *Journal of Transport and Health*, v. 4, n. January, p. 53–72, 2017. DOI: 10.1016/j.jth.2017.01.008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jth.2017.01.008>.

PADDEU, D., DENBY, J. **Decarbonising road freight:** Is truck automation and platooning an opportunity?. *Clean Technologies and Environmental Policy*, v. 24, n. 4, SI, p. 1021–1035, mai 2022. DOI: 10.1007/s10098-020-02020-9.

PAGANI, R.; KOVALESKI, J. L.; RESENDE, L. M. **Methodi Ordinatio:** a proposed methodology to select and rank relevant scientific papers encompassing the impact factor, number of citation, and year of publication. *Scientometrics*, v. 105, p. 2109–2135, 2015.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. IPCC. **Guidelines on National Greenhouse Gas Emission Inventories**, In press 2006.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. IPCC. **Overview:** 2019b refinement to the 2006 ipcc guidelines for national greenhouse gas inventories. Genebra: Ipcc, 2019.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. IPCC. **Updates Methodology for Greenhouse Gas Inventories.** 2019a. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/2019/05/13/ipcc-2019-refinement/>. Acesso em: 01 abr. 2023.

PEREZ-MARTINEZ, P. J.; MIRANDA, R., M., ANDRADE, M., F. **Freight road transport analysis in the metro São Paulo:** Logistical activities and CO2 emissions. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, v. 137, p. 16–33, 2020.

PETRO, F.; KONEČNÝ, V. **Calculation of Emissions from Transport Services and their use for the Internalisation of External Costs in Road Transport.** *Procedia Engineering*, v. 192, p. 677–682, 2017. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.06.117. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2017.06.117>.

PROGRAMA DE LOGÍSTICA VERDE BRASIL. **O que é o PLVB?** Disponível em: <https://plvb.org.br..> Acesso em: 02 mar. 2023

RAVIGNÉ, E.; DA COSTA, P. **Economic and environmental performances of natural gas for heavy trucks:** A case study on the French automotive industry supply chain. *Energy Policy*, v. 149, p. 112019, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.112019>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421520307308>.

REDDY, *et al.* **Effect of carbon tax on reverse logistics network design.** Computers and Industrial Engineering, C. v. 139, p. 106184, 2020. DOI: 10.1016/j.cie.2019.106184. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85075617272&doi=10.1016%2Fj.cie.2019.106184&partnerID=40&md5=35472d9b86c5704cad32bba1f610dbbc>.

REIS, *et al.* **Panorama evolutivo da produtividade de biocombustíveis no Brasil nos últimos 10 anos.** Brazilian Journal of Production Engineering, [S. l.], v. 8, n. 3, p. 34–46, 2022. DOI: 10.47456/bjpe.v8i3.36951. Disponível em: <https://periodicos.ufes.br/bjpe/article/view/36951>. Acesso em: 7 ago. 2023.

ROSE, P. K.; NEUMANN, F. **Hydrogen refueling station networks for heavy-duty vehicles in future power systems.** Transportation Research Part D: Transport and Environment, v. 83, p. 102358, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102358>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920920305459>.

SAE BRASIL. **Pesquisa Caminhões SAE Brasil 2022: os caminhos para uma matriz energética diversificada e sustentável.** São Paulo: Sae Brasil, 2022.

SINDIPEÇAS. **Relatório da Frota Circulante.** São Paulo: Sindipeças e Abipeças, 2022.

SMART FREIGHT CENTRE, DPDHL GROUP. **Carbon insets for the logistics sector: Innovating carbon offset practices to accelerate freight decarbonization.** 2020.

SMART FREIGHT CENTER. **El Marco Operativo del GLEC: the glec framework is now available in spanish!. the GLEC Framework is now available in Spanish!.** 2021. Disponível em: <https://www.smartfreightcentre.org/en/news/el-marco-operativo-del-glec-the-glec-framework-is-now-available-in-spanish/57169/>. Acesso em: 23 mar. 2023.

SMART FREIGHT CENTRE. **Global Logistics Emissions Council Framework for Logistics Emissions Accounting and Reporting.** 2019. ISBN 978-90-82-68790-3.

SMART FREIGHT CENTRE, WBCSD. **End-to-End GHG Reporting Guidance.** 2023

SULLIVAN, J. L.; LEWIS, G. M.; KEOLEIAN, G. A. **Effect of mass on multimodal fuel consumption in moving people and freight in the US.** Transportation Research Part D-Transport and Environment, v. 63, p. 786–808, 2018. DOI: 10.1016/j.trd.2018.06.019.

SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS KNOWLEDGE. **Global Sustainable Transport Convergence.** 27 nov. 2016. Disponível em:

<https://sustainabledevelopment.un.org/Global-Sustainable-Transport-Conference-2016>. Acesso em: 02 mar. 2022.

TACKEN, J.; RODRIGUES, V. S.; MASON, R. **Examining CO₂e reduction within the German logistics sector**. *International Journal Of Logistics Management*, v. 25, n. 1, p. 54–84, 2014. DOI: 10.1108/IJLM-09-2011-0073.

TACLA, D.; BOTTER, R. C. **Land transportation assets' potential future trends and the third party logistics providers in emerging markets, with a case study applied in emerging markets, with a case study applied in Brazil**. *International Journal of Logistics Systems and Management*, v. 27, n. 2, p. 208-224, 2017.

TADANO, Y. S., *et al.* **Gaseous emissions from a heavy-duty engine equipped with SCR aftertreatment system and fuelled with diesel and biodiesel: Assessment of pollutant dispersion and health risk**. *Science of the Total Environment*, v. 500–501, n. x, p. 64–71, 2014. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2014.08.100. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.08.100>.

TO, W. M. **Greenhouse gases emissions from the logistics sector: the case of Hong Kong, China**. *Journal of Cleaner Production*, v. 103, p. 658–664, 2015. DOI: 10.1016/j.jclepro.2014.10.062. .

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Fast Facts on Transportation Greenhouse Gas Emissions**. 2019. Disponível em: <https://www.epa.gov/greenvehicles/fast-facts-transportation-greenhouse-gas-emissions>. Acesso em: 03 mar. 2023

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **National Service Center for Environmental Publications (NSCEP)**. Disponível em: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/P1001DSD.txt?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=2000%20Thru%202005&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&UseQField=&IntQFieldOp=0&ExtQFieldOp=0&XmlQuery=&File=D%3A%5CZYFILES%5CINDEX%20DATA%5C00THRU05%5CTXT%5C00000016%5CP1001DSD.txt&User=ANONYMOUS&Password=anonymous&SortMethod=h%7C-&MaximumDocuments=1&FuzzyDegree=0&ImageQuality=r75g8/r75g8/x150y150g16/i425&Display=hpfr&DefSeekPage=x&SearchBack=ZyActionL&Back=ZyActionS&BackDesc=Results%20page&MaximumPages=1&ZyEntry=10#..> em: 03 mar. 2022a

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **SmartWay Sustainability Accounting and Reporting**. 2022b. Disponível em: <https://www.epa.gov/smartway/smartway-sustainability-accounting-and-reporting>. Acesso em: 26 mar. 2023.

VENTURA, *et al.* **Energy policy considerations in the design of an alternative-fuel refueling infrastructure to reduce GHG emissions on a transportation network**. *Energy Policy*, v. 111, n. January, p. 427–439, 2017. DOI: 10.1016/j.enpol.2017.09.035. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.09.035>.

VIERTH, I., *et al.* **How to achieve less emissions from freight transport in Sweden**, *Maritime Business Review*, v. 4, n. 1, p. 4–15, 2019. DOI: 10.1108/MABR-09-2018-0032.

WANG, K., *et al.* **Life-cycle CO₂ mitigation of China's class-8 heavy-duty trucks requires hybrid strategies**. *One Earth*, v. 5, n. 6, p. 709-723, 2022. DOI: 10.1016/j.oneear.2022.05.013. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85133298636&doi=10.1016%2Fj.oneear.2022.05.013&partnerID=40&md5=cd81925637547c7cd8adf384c1843f37>.

WANGSA, I. D., *et al.* **A sustainable vendor-buyer inventory system considering transportation**, loading and unloading activities, *Journal of Cleaner Production*, v. 271, 2020. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.122120.

WASIAK, A., *et al.* **Hydrogen Enriched Hydrocarbons as New Energy Resources – as Studied by Means of Computer Simulations**. *Advances in Science and Technology Research Journal*, cited By 0, v. 16, n. 5, p. 78–85, 2022. DOI: 10.12913/22998624/154001. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85141347415&doi=10.12913%2F22998624%2F154001&partnerID=40&md5=504c7dafc8930358bac5046630beb893>.

WILD, P. **Recommendations for a future global CO₂-calculation standard for transport and logistics**, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, v. 100, n. October, p. 103024, 2021. DOI: 10.1016/j.trd.2021.103024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.103024>.

WORLD ECONOMIC FORUM. **The European Union has cut greenhouse gas emissions in every sector - except this one**. 2022. Disponível em: <https://www.weforum.org/agenda/2022/09/eu-greenhouse-gas-emissions-transport/>. Acesso em: 23 mar. 2023.

WORLD RESOURCE INSTITUTE. **WRI's Sustainability Data**. 2022. Disponível em: <https://www.wri.org/sustainability-wri/dashboard>. Acesso em: 20 mar. 2023.

XIA, X.; LI, P.. **A review of the life cycle assessment of electric vehicles: Considering the influence of batteries**. *Science of the Total Environment*, p. 152870, 2022.

XUE, X., *et al.* **Assessing decarbonization pathways of China's heavy-duty trucks in a well-to-wheels perspective**. *International Journal of Life Cycle Assessment*, cited By 0, 2022. DOI: 10.1007/s11367-022-02124-y. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85144177295&doi=10.1007%2Fs11367-022-02124-y&partnerID=40&md5=0deb1fe951fa33c766209beb80b61e5c>.

YACHAI, K., *et al.* **Carbon footprint adaptation on green supply chain and logistics of papaya in Yasothon Province using geographic information system**. *Journal of Cleaner Production*. v. 281, p. 125214, 2021. DOI:

10.1016/j.jclepro.2020.125214.

YANG, W. H., WONG, R. C. P., SZETO, W. Y. **Modeling the acceptance of taxi owners and drivers to operate premium electric taxis:** Policy insights into improving taxi service quality and reducing air pollution. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, v. 118, p. 581–593, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.10.011>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0965856418303707>.

YIN, J. J., *et al.* **Integrated Energy System Optimal Operation in Coal District With Hydrogen Heavy Trucks**, *Frontiers in Energy Research*, v. 9, 2021. DOI: 10.3389/fenrg.2021.748673.

ZÄHRINGER, *et al.* **Time vs. Capacity:**The Potential of Optimal Charging Stop Strategies for Battery Electric Trucks. *Energies*, v. 15, n. 19, 2022. DOI: 10.3390/en15197137. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85139910495&doi=10.3390%2Fen15197137&partnerID=40&md5=08d23ceb245fd31aabab9321b722696b>.

APÊNDICE A - Portfólio dos artigos

Fonte	Título	Ano	Journal
Kumar, R.R., Guha, P. and Chakraborty, A.	Comparative assessment and selection of electric vehicle diffusion models: A global outlook	2022	Energy
Elangovan, R., Kanwhen, O., Dong, Z.Q., Mohamed, A. and Rojas-Cessa, R.	Comparative Analysis of Energy Use and Greenhouse Gas Emission of Diesel and Electric Trucks for Food Distribution in Gowanus District of New York City	2021	FRONTIERS IN BIG DATA
Ravigné, E. and Da Costa, P.	Economic and environmental performances of natural gas for heavy trucks: A case study on the French automotive industry supply chain	2021	Energy Policy
Griffiths, S., Sovacool, B.K., Kim, J., Bazilian, M. and Uratani, J.M.	Industrial decarbonization via hydrogen: A critical and systematic review of developments, socio-technical systems and policy options	2021	Energy Research & Social Science
Diniz, E.H., Yamaguchi, A., dos Santos, T.R., de Carvalho, P., Alego, A.S. and Carvalho, M.	Greening inventories: Blockchain to improve the GHG Protocol Program in scope 2	2021	JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION
Ingrao, C., Scrucca, F., Matarazzo, A., Arcidiacono, C. and Zabaniotou, A.	Freight transport in the context of industrial ecology and sustainability: evaluation of uni- and multi-modality scenarios via life cycle assessment	2021	International Journal of Life Cycle Assessment
Herrera, A.M.N., Esteves, E.M.M., Morgado, C.R.V. and Esteves, V.P.P.	Carbon Footprint Analysis of Bioenergy Production from Cattle Manure in the Brazilian Central-West	2021	Bioenergy Research
Eicke, L. and Goldthau, A.	Are we at risk of an uneven low-carbon transition? Assessing evidence from a mixed-method elite study	2021	Environmental Science & Policy
Yachai, K., Kongboon, R., Gheewala, S.H. and Sampattagul, S.	Carbon footprint adaptation on green supply chain and logistics of papaya in Yasothon Province using geographic information system	2021	Journal of Cleaner Production
Yin, J.J., Wang, J.H., You, J., Chen, H. and Shi, W.	Integrated Energy System Optimal Operation in Coal District With Hydrogen Heavy Trucks	2021	FRONTIERS IN ENERGY RESEARCH
Lo, S.C. and Shih, Y.C.	A Genetic Algorithm with Quantum Random Number Generator for Solving the Pollution-Routing Problem in Sustainable Logistics Management	2021	SUSTAINABILITY
Lobato, M.F., Rodrigues, B.M.M. and dos Santos, A.G.	Impact of the COVID-19 pandemic on vehicle emissions in Brazil from January to May 2020	2021	ENGENHARIA SANITARIA E AMBIENTAL
JL Breuer, RC Samsun, D Stolten, R Peters	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	2021	Environment international
Rose, P.K. and Neumann, F.	Hydrogen refueling station networks for heavy-duty vehicles in future power systems	2020	Transportation Research Part D: Transport and Environment
Reddy, K.N., Kumar, A., Sarkis, J. and Tiwari, M.K.	Effect of carbon tax on reverse logistics network design	2020	Computers and Industrial Engineering
Wangsa, I.D., Tiwari, S., Wee, H.M. and Reong, S.	A sustainable vendor-buyer inventory system considering transportation, loading and unloading activities	2020	JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION

Perez-Martinez, P.J., Miranda, R.M. and Andrade, M.F.	Freight road transport analysis in the metro Sao Paulo: Logistical activities and CO ₂ emissions	2020	TRANSPORTATION RESEARCH PART A-POLICY AND PRACTICE
Leng, L., Zhang, J., Zhang, C., Zhao, Y., Wang, W. and Li, G.	A novel bi-objective model of cold chain logistics considering location-routing decision and environmental effects	2020	PLoS ONE
Mangina, E., Narasimhan, P.K., Saffari, M. and Vlachos, I.	Data analytics for sustainable global supply chains	2020	Journal of Cleaner Production
Vierth, I., Karlsson, R., Linde, T. and Cullinane, K.	How to achieve less emissions from freight transport in Sweden	2019	MARITIME BUSINESS REVIEW
Ng, C.Y., Lam, S.S. and Samuel, C.P.M.	Logistic sequencing for improving environmental performance using ant colony optimization	2019	ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT REVIEW
Miranda, A.C., da Silva, S.C., Tambourgi, E.B., CurveloSantana, J.C., Vanalle, R.M. and Guerhardt, F.	Analysis of the costs and logistics of biodiesel production from used cooking oil in the metropolitan region of Campinas (Brazil)	2018	RENEWABLE & SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS
Heinold, A. and Meisel, F.	Emission rates of intermodal rail/road and road-only transportation in Europe: A comprehensive simulation study	2018	TRANSPORTATION RESEARCH PART D-TRANSPORT AND ENVIRONMENT
Yang, W.H., Wong, R.C.P. and Szeto, W.Y.	Modeling the acceptance of taxi owners and drivers to operate premium electric taxis: Policy insights into improving taxi service quality and reducing air pollution	2018	Transportation Research Part A: Policy and Practice
Sullivan, J.L., Lewis, G.M. and Keoleian, G.A.	Effect of mass on multimodal fuel consumption in moving people and freight in the US	2018	TRANSPORTATION RESEARCH PART D-TRANSPORT AND ENVIRONMENT
Anvar, S.H., Sadegheih, A. and Zad, M.A.V.	CARBON EMISSION MANAGEMENT FOR GREENING SUPPLY CHAINS AT THE OPERATIONAL LEVEL	2018	ENVIRONMENTAL ENGINEERING AND MANAGEMENT JOURNAL
S. Mojtaba Lajevardia,*	Examining the role of natural gas and advanced vehicle technologies in mitigating CO ₂ emissions of heavy-duty trucks: Modeling prototypical British Columbia routes with road grades	2018	Transportation Research Part D
Lu, X.Y., Ota, K.R., Dong, M.X., Yu, C. and Jin, H.	Predicting Transportation Carbon Emission with Urban Big Data	2017	IEEE TRANSACTIONS ON SUSTAINABLE COMPUTING
To, W.M. and Lee, P.K.C.	A Triple Bottom Line Analysis of Hong Kong's Logistics Sector	2017	SUSTAINABILITY
Kirschstein, T. and Meisel, F.	GHG-emission models for assessing the eco-friendliness of road and rail freight transports	2015	TRANSPORTATION RESEARCH PART B-METHODOLOGICAL
Kellner, F. and Igl, J.	Greenhouse gas reduction in transport: Analyzing the carbon dioxide performance of different freight forwarder networks	2015	Journal of Cleaner Production
To, W.M.	Greenhouse gases emissions from the logistics sector: the case of Hong Kong, China	2015	JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION
Govindan, K., Jafarian, A., Khodaverdi, R. and Devika, K.	Two-echelon multiple-vehicle location-routing problem with time windows for optimization of sustainable supply chain network of perishable food	2014	INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION ECONOMICS

Iacob, M.E., Van Sinderen, M.J., Steenwijk, M. and Verkroost, P.	Towards a reference architecture for fuel-based carbon management systems in the logistics industry	2013	Information Systems Frontiers
Elhedhli, S. and Merrick, R.	Green supply chain network design to reduce carbon emissions	2012	Transportation Research Part D: Transport and Environment
Kannan, D., Diabat, A., Alrefaei, M., Govindan, K. and Yong, G.	A carbon footprint based reverse logistics network design model (escrito)	2012	Resources, Conservation and Recycling
Nieuwenhuis, P., Beresford, A. and Choi, A.K.Y.	Shipping or local production? CO ₂ impact of a strategic decision: An automotive industry case study	2012	INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION ECONOMICS
Liimatainen, H., Stenholm, P., Tapio, P. and McKinnon, A.	Energy efficiency practices among road freight hauliers	2012	ENERGY POLICY
Chaabane, A., Ramudhin, A. and Paquet, M.	Designing supply chains with sustainability considerations	2011	PRODUCTION PLANNING & CONTROL
Camacho, M., Jurburg, D. and Tanco, M.	Hydrogen fuel cell heavy-duty trucks: Review of main research topics	2022	International Journal of Hydrogen Energy
Gedik, A., Uslu, O. and Lav, A.H.	A prospective study to evaluate CO ₂ emission mitigation strategies for highway transportation	2022	Environmental Monitoring and Assessment
Wang, K., Zavaleta, V.G., Li, Y., Sarathy, S.M., Abdul-Manan, A.F.N., Gordillo Zavaleta, V., Li, Y., Sarathy, S.M. and Abdul-Manan, A.F.N.	Life-cycle CO ₂ mitigation of China's class-8 heavy-duty trucks requires hybrid strategies	2022	ONE EARTH
Wasiak, A., Orynych, O., Tucki, K. and Świçak, A.	Hydrogen Enriched Hydrocarbons as New Energy Resources – as Studied by Means of Computer Simulations	2022	Advances in Science and Technology Research Journal
Tacken, J., Rodrigues, V.S. and Mason, R.	Examining CO ₂ e reduction within the German logistics sector	2014	International Journal of Logistics Management
Meyer, T.	Decarbonizing road freight transportation - A bibliometric and network analysis	2020	TRANSPORTATION RESEARCH PART D- TRANSPORT AND ENVIRONMENT
Paddeu, D. and Denby, J.	Decarbonising road freight: Is truck automation and platooning an opportunity?	2022	CLEAN TECHNOLOGIES AND ENVIRONMENTAL POLICY
Maerzinger, T., Woess, D., Steinmetz, P., Mueller, W. and Proell, T.	Novel Modelling Approach for the Calculation of the Loading Performance of Charging Stations for E-Trucks to Represent Fleet Consumption	2021	ENERGIES
Khanna, N., Lu, H., Fridley, D. and Zhou, N.	Near and long-term perspectives on strategies to decarbonize China's heavy-duty trucks through 2050	2021	SCIENTIFIC REPORTS
Ghisolfi, V., Tavasszy, L.A., de Almeida Correia, G.H., Diniz Chaves, G.d.L. and Ribeiro, G.M.	Freight Transport Decarbonization: A Systematic Literature Review of System Dynamics Models	2022	SUSTAINABILITY
Davydenko, I., Hopman, M., Fransen, R. and Harmsen, J.	Mass-Balance Method for Provision of Net Zero Emission Transport Services	2022	Sustainability (Switzerland)
Miklautsch, P. and Woschank, M.	A framework of measures to mitigate greenhouse gas emissions in freight transport: Systematic literature review from a Manufacturer's perspective	2022	JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION

Ghisolfi, V., Tavasszy, L.A., Correia, G.H.d.A.R., Chaves, G.d.L.D. and Ribeiro, G.M.	Dynamics of freight transport decarbonisation: a conceptual model		JOURNAL OF SIMULATION
Xue, X., Li, J., Sun, X., Abdul-Manan, A.F.N., Du, S., Liu, H., Xu, S. and Zhao, M.	Assessing decarbonization pathways of China's heavy-duty trucks in a well-to-wheels perspective	2022	International Journal of Life Cycle Assessment
Zähringer, M., Wolff, S., Schneider, J., Balke, G., Lienkamp, M., Zaehring, M., Wolff, S., Schneider, J., Balke, G. and Lienkamp, M.	Time vs. Capacity-The Potential of Optimal Charging Stop Strategies for Battery Electric Trucks	2022	Energies

APÊNDICE B - Perguntas formulário

Estratégias para descarbonização em transportadores de cargas logísticas

Pesquisa para diagnóstico de ações relacionadas a descarbonização logística de transportadoras de carga.

*Obrigatório

1. Esta pesquisa tem como objetivo diagnosticar estratégias de descarbonização em transportadoras brasileiras de cargas. Ao término da pesquisa será apresentado um relatório técnico com as respostas gerais aos participantes e entendimento de mercado, além da publicação da dissertação de mestrado. *

A pesquisa é realizada pelo Laboratório de Sistemas Produtivos Sustentáveis (LESP), do Programa de Pós- Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), campus Ponta Grossa-PR, conduzida pela mestranda Tais Soares e sob a orientação dos Prof. Dr. Cassiano Moro Piekarski e Dr. Antonio Carlos de Francisco.

Ao fornecer as informações, **os pesquisadores se comprometem em não compartilhar os dados e respostas específicas/individuais com terceiros, salvo as interpretações gerais resultantes da pesquisa sem a identificação do(s) respondente(s).**

Este questionário será dividido em temas sobre aplicações de estratégias de descarbonização de logística de cargas.

Você receberá um relatório técnico (report) de resultados desta pesquisa até abril/23 e também poderá ver resultado desta pesquisa na dissertação e/ou artigos científicos publicados pelos pesquisadores.

Em caso de dúvidas, pode contatar:
taiscarvalho@alunos.utfpr.edu.br ou piekarski@utfpr.edu.br

Marcar apenas uma oval.

Concordo com os termos de sigilo

06/04/2023, 11:32

Estratégias para descarbonização em transportadores de cargas logísticas

Identificação das características da transportadora e respondente

2. Qual é seu cargo na empresa ? *

Marcar apenas uma oval.

- Proprietário/Sócio Proprietário
- Diretor
- Coordenador
- Analista
- Outro: _____

3. Em quais regiões a transportadora tem operação? *

Marque todas que se aplicam.

- Sul
- Sudeste
- Centro-oeste
- Nordeste
- Norte

4. Qual é o tamanho da sua frota (própria + agregada /terceira)? *

Marcar apenas uma oval.

- De 01 a 99 veículos
- De 100 a 299 veículos
- De 300 a 500 veículos
- Acima de 500 veículos

06/04/2023, 11:32

Estratégias para descarbonização em transportadores de cargas logísticas

5. Em que tipo de operação a empresa atua? *

Marque todas que se aplicam.

- Lotação
- Rotas dedicadas
- Fracionado
- Last Mile
- Não sei informar
- Outro: _____

6. Quais os segmentos de atuação da empresa atualmente? *

Marque todas que se aplicam.

- Agronegócio
- Indústrias
- Químicos
- Eletroeletrônicos
- Alimentos
- E-commerce
- Outro: _____

7. Você aplica ações para a descarbonização na sua operação logística? *

Marcar apenas uma oval.

- Sim *Pular para a pergunta 8*
- Não *Pular para a pergunta 18*

Entendimento e aplicação das estratégias de descarbonização.

06/04/2023, 11:32

Estratégias para descarbonização em transportadores de cargas logísticas

8. Quais dessas estratégias você aplica na transportadora? *

Marque todas que se aplicam.

- Implementar centros de distribuição de carga próximos à fábrica
- Compartilhar centros de consolidação de cargas com duas ou mais empresas
- Otimização em processos operacionais de carregamentos/descarregamentos
- Realização de carregamento e descarregamento no período noturno
- Utilização de sistemas de informação para rastreamento e acompanhamento da frota (SIG, GPS, ITS)
- Otimização da frota (otimização da capacidade, manutenção preventiva de caminhões)
- Otimização de rotas utilizando algoritmos
- Capacitação dos profissionais que manejam as frotas (Eco-Driving)
- Renovar e modernizar a frota
- Aquisição de veículos mais econômicos
- Utilização de veículos com maior eficiência energética
- Reduzir o peso do veículo
- Promover de melhoria da aerodinâmica dos veículos
- Utilização de pneus de baixa resistência ao rolamento
- Utilização de multimodais
- Utilização de sistemas de propulsão alternativos (Ex: Caminhões Elétricos, Sistemas Híbridos)
- Uso de combustíveis renováveis (Ex: Biodiesel, biogás, biometano.)
- Utilização de aditivos para melhorar a eficiência energética dos combustíveis
- Implantar equipamento responsável por controlar as emissões dos veículos
- Melhorias na média de consumo de combustível
- Instalar equipamentos que possam auxiliar na geração de energia para a propulsão do veículo.
- Redução da velocidade do deslocamento
- Incluir o critério ambiental nas políticas de abastecimento
- Outro: _____

06/04/2023, 11:32

Estratégias para descarbonização em transportadores de cargas logísticas

9. Por que a empresa começou a aplicar ações de descarbonização ? *

Marque todas que se aplicam.

- Iniciativa própria e estratégia de negócio
- Demanda comercial (cliente/potencial cliente)
- Regulamentação ou normas governamentais
- Execução de relatórios

10. Você já participou de um BID de transporte (Bidding Process) onde haviam questões ou pré-requisitos relacionados a descarbonização ? *

Marcar apenas uma oval.

- Sim, as ações eram mensuráveis (Ex: Reduzir carbono de determinada rota em 10% em 5 anos)
- Sim, porém as rotas não eram mensuráveis
- Não

11. Há quanto tempo começou a aplicar as ações para descarbonização? *

Marcar apenas uma oval.

- Menos de 1 ano
- Entre 1-3 anos
- Há mais de 3 anos

06/04/2023, 11:32

Estratégias para descarbonização em transportadores de cargas logísticas

12. Quais são os benefícios já alcançados pela empresa? *

Marque todas que se aplicam.

- Mitigação de riscos
- Valorização da marca
- Incremento na competitividade da empresa
- Melhoria da imagem
- Habilitação de novas operações ou mercados
- Aumento de margem em resultado operacional
- Outro: _____

13. Considerando as ações realizadas, é mensurado o potencial de carbono emitido (inventário de emissões)?

Marcar apenas uma oval.

- Sim
- Não *Pular para a pergunta 18*

Metodologia para mensurar carbono

14. Qual metodologia ou ferramenta é utilizada para o inventário de carbono? *

Marque todas que se aplicam.

- GHG Protocol
- Uso de ferramentas de cálculo externas
- IPCC - Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
- ACV - Avaliação do Ciclo de vida
- Network for Transport Measures
- Global Logistics Emissions Council (GLEC)
- Não sei informar.
- Outro: _____

06/04/2023, 11:32

Estratégias para descarbonização em transportadores de cargas logísticas

15. Qual modalidades de cálculo/estimativa das emissões é utilizada? *

Marcar apenas uma oval.

- Levantamento de dados reais de toda operação.
- Levantamento de amostras.
- Aproximação teórica.
- Outro: _____

16. Qual escopo é o considerado na mensuração de carbono na operação logística? *

Marcar apenas uma oval.

- Poço à tanque (WTT) - Consistem em todos os processos entre a fonte de energia (o poço), passando pelas fases de extração, processamento, armazenamento e entrega de energia até o ponto de uso (o tanque).
- Tanque à roda (TTW) - Estas são as emissões de combustíveis queimados para alimentar as atividades do Escopo 1 (a roda)
- Poço à Roda (WTW) - Estas são emissões do ciclo de vida completo do combustível e devem ser equivalentes à soma das emissões WTT e TTW.
- Não sei informar.

17. A transportadora utiliza algum indicador de desempenho para avaliar a quantidade de carbono? *

Marque todas que se aplicam.

- Sim, indicadores para calcular a quantidade de gases emitidos
- Sim, indicadores para calcular a intensidade das emissões
- Sim, indicadores para o confiabilidade de dados
- Não
- Não, mas gostaria de usar.

Compromisso de redução de carbono

06/04/2023, 11:32

Estratégias para descarbonização em transportadores de cargas logísticas

18. A transportadora tem um compromisso de redução de emissões para os próximos anos? *

Marcar apenas uma oval.

- Sim, já esta sendo realizado um estudo para aplicação e esse compromisso é público
- Sim, já esta sendo realizado um estudo para aplicação e esse compromisso não é público
- Sim, porém ainda não foi realizado nenhum estudo
- Não

19. Pretende-se publicar um relatório sobre as estratégias aplicadas de descarbonização? *

Marcar apenas uma oval.

- Sim, já possui conhecimento do público alvo do relatório (b2b, cliente externo ou interno).
- Sim, porém não possui conhecimento do público alvo do relatório (b2b, cliente externo ou interno).
- Não

Compromisso de redução de carbono

20. Quem mais influencia para a potencial integração das estratégias na empresa? *

Marque todas que se aplicam.

- Potenciais clientes / mercado
- Conselho de Administração
- Acionistas
- Colaboradores
- Concorrentes
- Fornecedores
- Atuais clientes
- Outro: _____

06/04/2023, 11:32

Estratégias para descarbonização em transportadores de cargas logísticas

21. Para esse compromisso, deseja aplicar quais estratégias em curto, médio e longo prazo? *

Marcar apenas uma oval por linha.

	Curto Prazo	Médio Prazo	Longo Prazo	Não desejo aplicar
Otimização da frota (otimização da capacidade, manutenção de caminhões)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Aquisição de veículos mais econômicos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Capacitação dos profissionais que conduzem as frotas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Utilização de multimodais no transporte de cargas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Compensação de carbono	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Melhorias na média de consumo de combustível	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Uso de combustíveis renováveis (Ex: Biodiesel, biogás, biometano).	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

https://docs.google.com/forms/d/1ao3wcyLUXpz9alwurmNF38I6FzQYnCe1cy-e9JufxM/edit?edit_requested=true

9/12

06/04/2023, 11:32

Estratégias para descarbonização em transportadores de cargas logísticas

**Uso de
veículos
elétricos**

22. Há alguma estratégia conhecida que não foi citada acima? Comente.

23. Pretende realizar aquisições de veículos (caminhão) mais modernos / novos *
que não tenham diesel como combustível único (exemplo: elétricos,
GNV/biometano) no próximos 12 meses?

Marcar apenas uma oval.

- Sim
 Não *Pular para a pergunta 25*

24. Qual marca/modelo pretendem adquirir? *

Pular para a pergunta 25

06/04/2023, 11:32

Estratégias para descarbonização em transportadores de cargas logísticas

25. Quais são os principais desafios para a incorporação de estratégias para descarbonização da operação logística na transportadora ? *

Marque todas que se aplicam.

- Carência de recursos humanos dedicados ao tema.
- Falta de entendimento sobre as estratégias e como aplicá-las.
- Falta de fornecedores/parceiros que auxiliem nas estratégias.
- Custos elevados para implementação das estratégias.
- Falta de engajamento dos colaboradores.
- Ausência de resultados econômicos claros de operações descarbonizadas.
- Falta de dados relacionados as emissões
- Incerteza sobre a abordagem a ser adotada.
- Outro: _____

26. A empresa tem capacidade de agir com esse tema internamente ou precisa de recursos externos? *

Marque todas que se aplicam.

- É necessário apenas a equipe interna
- Há a necessidade de contratar uma consultoria
- Há a necessidade de adquirir nova ferramentas e softwares externos
- Há a necessidade de fazer parcerias com outras empresas

27. Caso queira receber o resultado dessa pesquisa ao ser concluída, insira aqui seu email.

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pelo Google.

Google Formulários