

UFSCar – UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

CCET – CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA

DQ – DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

Trabalho de Conclusão de Curso

LETÍCIA BORGES VIEIRA

LOGÍSTICA VERDE NO TRANSPORTE DE CARGA
NO BRASIL

SÃO CARLOS - SP
2024

LETÍCIA BORGES VIEIRA

LOGÍSTICA VERDE NO TRANSPORTE DE CARGA NO BRASIL

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Departamento de
Química da Universidade Federal de
São Carlos, para obtenção do título de
bacharel em Química

Orientadora Roberta Cerasi Urban

São Carlos-SP
2024

**FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS****DEPARTAMENTO DE QUÍMICA - DQ/CCET**

Rod. Washington Luís km 235 - SP-310, s/n - Bairro Monjolinho, São Carlos/SP, CEP 13565-905

Telefone: (16) 33518206 - <http://www.ufscar.br>

DP-TCC-FA nº 23/2024/DQ/CCET

Graduação: Defesa Pública de Trabalho de Conclusão de Curso**Folha Aprovação (GDP-TCC-FA)****FOLHA DE APROVAÇÃO****LETICIA BORGES VIEIRA****LOGÍSTICA VERDE NO TRANSPORTE DE CARGA NO BRASIL****Trabalho de Conclusão de Curso****Universidade Federal de São Carlos – Campus São Carlos**

São Carlos, 02 de setembro de 2024

ASSINATURAS E CIÊNCIAS

| Cargo/Função | Nome Completo |
|-------------------|-------------------------------|
| Orientador | Dra. Roberta Cesari Urban |
| Membro da Banca 1 | Msc. Rafael Rodrigues Esteves |
| Membro da Banca 2 | Dr. Jonatas Schadeck Carvalho |



Documento assinado eletronicamente por **Ricardo Samuel Schwab, Professor(a)**, em 03/09/2024, às 07:49, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufscar.br/autenticacao>, informando o código verificador **1567903** e o código CRC **8941321B**.

Referência: Caso responda a este documento, indicar expressamente o Processo nº 23112.001933/2024-38

SEI nº 1567903

Modelo de Documento: Grad: Defesa TCC: Folha Aprovação, versão de 02/Agosto/2019

RESUMO

As consequências da mudança climática vêm sendo percebidas globalmente. Ocasionalmente pela emissão de gases poluentes na atmosfera derivada de atividades antrópicas como a queima de combustíveis em atividades como transporte, indústria, geração de eletricidade e desmatamento, corporações estão sendo responsabilizadas e pressionadas a aprimorar a eficiência energética e buscar meios de mitigar ou minimizar os danos causados por suas atividades, principalmente as logísticas. Em 2010, atividades como transporte corresponderam a 23% das emissões mundiais de CO₂. Embora o Brasil seja um país em desenvolvimento, de dimensões continentais e tenha diversos recursos naturais, o país vem desapontando em suas métricas de sustentabilidade, ocupando o quinto lugar entre os maiores poluidores climáticos. Isso porque o transporte de cargas se apoia no modal de maior emissão específica, o rodoviário, que por sua vez, depende majoritariamente de combustíveis fósseis, não renováveis e intensamente poluentes. Desta forma, uma possibilidade de se obter níveis menores de emissão pode ser observada por meio da otimização do setor de transporte de cargas no país por meio de estratégias que culminam com a filosofia da logística verde. Com o surgimento da indústria 4.0, podemos contar com o suporte da tecnologia para obter dados, analisar e tomar decisões com base neles - especificamente para otimizar rotas, programar movimentações, monitorar o consumo de combustíveis e gerenciar as métricas. Estudos na área de logística verde vêm sendo crescentes, com destaque ao uso de combustíveis alternativos, a transferência entre modais e a melhoria na infraestrutura de rodovias, hidrovias e malhas ferroviárias, cada qual com suas particularidades e desafios e todos sob o acompanhamento e regulação de organizações e do Estado por meio de políticas, tributos e/ou transações no mercado de carbono.

Palavras-chave: Transporte de cargas. Logística verde. Brasil.

RESUMO EM LÍNGUA ESTRANGEIRA

The effects of climate change are being felt around the world. Caused by the emission of polluting gases into the atmosphere from anthropogenic activities such as the burning of fuels in transportation, industry, power generation and deforestation, companies are being held responsible and pressured to improve energy efficiency and find ways to mitigate or minimize the damage caused by their activities, especially logistics. In 2010, activities such as transportation accounted for 23% of global CO₂ emissions. Although Brazil is a developing country with continental dimensions and diverse natural resources, the country has been disappointing in its sustainability metrics, ranking fifth among the largest climate polluters. This is because cargo transportation is based on the highest specific emissions mode, road transport, which in turn depends mostly on fossil fuels, which are non-renewable and highly polluting. In this way, the possibility of achieving lower emission levels can be seen by optimizing the country's cargo transport sector through strategies that culminate in the green logistics philosophy. With the advent of Industry 4.0, we can count on the support of technology to obtain data, analyze it and make decisions based on it - specifically to optimize routes, schedule movements, monitor fuel consumption and manage metrics. There is a growing body of research in the field of green logistics, with a focus on the use of alternative fuels, intermodal transfers, and infrastructure improvements in road, waterway and railway systems, each with its own specificities and challenges, and all under the supervision and regulation of organizations and the state through policies, taxes, and/or transactions in the carbon market.

Keyword: Cargo transportation. Green logistics. Brazil.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Atividade do transporte de cargas brasileiro por modo (%) | 13 |
| Figura 2 - Emissões de gases de efeito estufa nas atividades do setor de energia (1970-2020) | 19 |
| Figura 3 - Consumo energético no transporte de cargas, por modo, no Brasil | 20 |
| Figura 4 - Dispersão de intensidades energéticas do transporte de carga para países selecionados | 21 |
| Figura 5 - Penetração de motorizações alternativas no licenciamento de novos caminhões (%) | 33 |
| Figura 6 - Emissão específica por modal de transporte gCO_2/TKU | 37 |
| Figura 7- Intensidade energética por modo $[\text{tep}/(106 \text{ t.km})]$ | 37 |
| Figura 8 - Projeção de expansão na malha ferroviária brasileira | 42 |

LISTA DE ESQUEMAS

| | |
|---|----|
| Esquema 1 - Efeitos sobre a demanda | 17 |
| Esquema 2 - Caminho do CO ₂ no setor sucroenergético | 35 |
| Esquema 3 - Infraestrutura brasileira de transportes em 2021 | 41 |
| Esquema 4 - Como funciona o mercado de carbono | 48 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Medidas de eficiência | 30 |
|--|----|

LISTA DE SIGLAS E ABREVIÇÕES

ANTAQ - Agência Nacional de Transportes Aquaviários

ANTT - Agência Nacional de Transportes Terrestres

BEV - Battery Electric Vehicles, “veículos elétricos” em inglês

BNDES - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social

CBIO - Crédito de Descarbonização

tCO₂e - Tonelada de carbono equivalente

EFC - Estrada de Ferro Carajás

EFVM - Estrada de Ferro Vitória a Minas

EPE - Empresa de Pesquisa Energética

EUA - Estados Unidos da América

FCA - Ferrovia Centro-Atlântica

FIOL - Ferrovia de Integração Oeste-Leste

FNS - Ferrovia Norte-Sul

FTL - “Full Truck Load”, caminhão cheio em inglês

gCO₂ - Gramas de gás carbônico

GEE - Gases de efeito estufa

GHG - Greenhouse Gases, “gases de efeito estufa” em inglês

GJ - 10⁶ Joules

GLP - Gás liquefeito de petróleo

GNV - Gás natural veicular

Gt - Bilhões de toneladas

HEV - Hybrid Electric Vehicle, “veículos híbridos” em inglês

IPCC - Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas ou “Intergovernmental Panel on Climate Change”, em inglês

ISO - Organização Internacional de Normalização ou “International Organization for Standardization” em inglês

LGE - litros de gasolina equivalente, sendo gasolina C, com 27% de etanol anidro, como referência (1.000 lge = 0,706 tep = 29,57 GJ)

Matopiba - Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia

LTL - Less Than Truckload (significa embarque utilizando menos que a capacidade total do caminhão, ou carga fracionada)

NDC - Contribuição Nacionalmente Determinada ou “Nationally Determined

Contribution” em inglês

N₂O - Óxido nitroso

ONG - Organizações não-governamentais

ONU - Organização das Nações Unidas

OTM - Operador de transporte multimodal

PIB - Produto Interno Bruto

PKM - Passageiro-quilômetro

PM - Material particulado ou “particulate matter”, em inglês

PPI - Programa de Parcerias de Investimentos

QAV - Querosene de aviação

RMC - Rumo Malha Central

RMO - Rumo Malha Oeste

RMP - Rumo Malha Paulista

TEP - tonelada equivalente de petróleo

TKU - Toneladas-quilômetro úteis

TUP - Terminal portuário de uso privado

VEN - Vias economicamente navegadas

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUÇÃO | 11 |
| 2. OBJETIVO | 13 |
| 3. REVISÃO DA LITERATURA | 14 |
| 3.1. Gases de efeito estufa (GEE) | 14 |
| 3.2. Conceitos de eficiência energética | 16 |
| 3.3. Panorama brasileiro | 18 |
| 3.3.1. Matriz do transporte brasileiro | 20 |
| 3.4. Logística verde | 23 |
| 3.5. Possíveis soluções para a problemática | 27 |
| 3.5.1. Tecnologias | 28 |
| 3.5.2. Otimização de rotas, programação e compartilhamento de cargas | 29 |
| 3.5.3. Combustíveis | 29 |
| 3.5.4. Intermodal e Multimodal | 36 |
| 3.5.5. Obras | 40 |
| 3.5.6. Regulação, Programas e Políticas | 43 |
| 3.5.7. Tributação e mercado de carbono | 45 |
| 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS | 49 |
| 5. REFERÊNCIAS | 52 |

1. INTRODUÇÃO

Apesar de ser uma das atividades econômicas mais antigas, a logística é um dos conceitos gerenciais mais modernos que tem como suas principais funções os procedimentos de estocagem, armazenamento e transporte de materiais. Tem tomado importância por conta do aumento de concorrência, globalização, pela instabilidade e pelo tema preservação do meio ambiente estar em evidência (Santos et al, 2015).

Isso porque desde a Revolução Industrial, as emissões de CO₂ (dióxido de carbono) passaram de 0 para 32 Gt (bilhões de toneladas) em 2013, apresentando um crescimento exponencial no período. Desde então, as atividades basearam-se essencialmente na queima de combustíveis fósseis, principal recurso energético empregado até hoje e a maior fonte antropogênica de gases estufa (Ávila, 2016; Xavier; Kerr, 2013).

Com o aumento significativo do número de indústrias, ocorreu um aumento de produção e surgimento de excedentes de produtos, logo, o transporte dessas mercadorias tornou-se importante, principalmente pelo fato da distância entre o fornecedor e o consumidor e/ou intermediário ser cada vez maior. Com o aumento de fluxo, a emissão de gases na atmosfera também está sendo gradativamente aumentada, trazendo prejuízos ambientais (Andrade Fialho; Bertocini, 2020).

Como resposta, entes políticos e corporações têm buscado agir no controle de emissões de gases de efeito estufa (GEE) ou, em inglês, Greenhouse Gases (GHG), culminando em medidas internacionais como o Protocolo de Kyoto, assinado em 1997. Alguns têm como objetivo chegar até à neutralidade de carbono ou ao chamado “carbono zero (net-zero)”, ou seja: reduzir ou zerar as emissões geradas por suas operações (Claes et al., 2022; Leite, 2023; Alves et al, 2019).

Assim, a logística verde, ecológica ou ainda logística ecológica, tem a preocupação em produzir e distribuir seus materiais da forma mais sustentável possível. Neste caso, a preocupação estende-se não somente ao fator econômico mas também à parte ambiental (Alvarenga; Rodriguez, 2018; Santos et al, 2015).

Tratando-se de emissões globais, o Brasil ocupa o quinto lugar entre os maiores poluidores climáticos, ficando atrás apenas de China, EUA, Rússia e Índia. As emissões per capita do Brasil também são maiores que a média mundial. Em 2020, a média de emissão de CO₂ por brasileiro foi de 10,2 toneladas brutas, contra

6,7 da média mundial (Potenza et al, 2021).

Importante citar que a intensidade de carbono da economia também é crescente. O Brasil está gerando cada vez menos riquezas (mensurada pelo PIB) para cada tonelada de carbono emitida, por conta da aceleração do desmatamento, atividade majoritariamente ilegal e que gera pouca riqueza. Em 2020, a pandemia agravou ainda mais este cenário: se em 2019 o país gerava US\$1.199 por tonelada de CO₂ emitida, esse valor caiu para US\$1.050 em 2020 (Potenza et al, 2021).

Não apenas atrelado ao desmatamento, o setor agropecuário está atrelado à emissão de gases poluentes (a atividade entérica, processo de digestão dos ruminantes, é uma grande fonte de metano). Mitigar a emissão desta atividade poderia ser uma alternativa para diminuir as métricas nacionais de emissão (Potenza et al, 2021; Xavier; Kerr, 2013).

Mas, tendo em conta que este é um país agrário-exportador, mitigar a poluição gerada pela atividade produtiva é um desafio porque esta mitigação pode implicar a redução da quantidade produzida ou o encarecimento da produção. Desta forma, uma outra possibilidade vem sendo estudada: a otimização do setor de transporte de cargas no país (Ávila, 2016).

Isso porque, em 2010, o setor de transporte já era responsável por 23% das emissões mundiais de CO₂, indicando uma tendência de crescimento no longo prazo que se comprovou. Na Figura 1, podemos observar que o Brasil é um país dependente do transporte modal mais poluidor, o rodoviário (Maciel, 2023; Oliveira, 2022).

O que pode ser justificado pelo pouco desenvolvimento de estudos no país: a contribuição brasileira para o tema "logística verde" é pequena e boa parte da literatura de políticas ambientais aplicadas ao setor de transporte ainda se limita à análise do uso de automóveis e transporte público. Há escassez de trabalhos a respeito destas medidas sobre o transporte de cargas em outros modais (Ávila, 2016).

Figura 1 - Atividade do transporte de cargas brasileiro por modo (%)



Fonte: EPE, 2023b

No entanto, o tema é imperativo para as organizações que buscam legitimação no mercado e desempenhos logístico e ambiental, ainda que poucas empresas brasileiras conheçam suas vantagens (Barbosa; Moori; Madeira, 2019).

Ao fazer uso de sua localização, recursos naturais, dimensões e biodiversidade privilegiadas, o Brasil tem potencial de reduzir suas métricas e até liderar a agenda de sustentabilidade.

O presente trabalho se faz necessário e relevante pois nos permite conhecimento de seus padrões de emissão e as peculiaridades em uma das mais importantes atividades econômicas do país, a de Transportes de cargas.

2. OBJETIVO

Este trabalho busca realizar uma revisão bibliográfica sobre o tema logística verde com enfoque no transporte de carga no Brasil, a partir da análise de trabalhos já publicados sobre o assunto, além do uso de dados disponibilizados para uma análise comparativa de emissão de gases de efeito estufa. Também ir além e apresentar e discutir soluções, desde as já praticadas, até as em desenvolvimento.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Gases de efeito estufa (GEE)

Toda a energia disponível na Terra, basicamente, vem do Sol. O principal fator que possibilita à temperatura média da superfície terrestre sair de um valor estimado em -18°C para os $14,5^{\circ}\text{C}$ que ocorrem na prática, é a presença da atmosfera entre a superfície da terra e o sol. Sem esse aquecimento, a vida como

conhecemos não poderia existir (Silva; Paula, 2015; Xavier; Kerr, 2013).

Na atmosfera acontecem processos de troca de energia térmica. A parcela mais relevante nesta troca de energia relaciona-se com a interação da radiação eletromagnética e a atmosfera. Para um determinado arranjo entre comprimento de onda e composição química dos componentes envolvidos, a radiação pode ser espalhada por partículas, dependendo do tamanho dessas partículas. Já a absorção da radiação relaciona-se aos processos quânticos de transição de estados energéticos das moléculas de gases atmosféricos. Eles absorvem ou emitem radiação em característicos comprimentos de ondas (Xavier; Kerr, 2013).

Grande parte do aquecimento observado durante os últimos 50 anos se deve a um aumento nas concentrações de gases-estufa de origem antropogênica, ou seja, advindos de atividades humanas. Os principais gases antrópicos são o CO₂ (dióxido de carbono), o CH₄ (metano) e o N₂O (óxido nitroso), eles praticamente não absorvem a radiação solar (ondas curtas), mas absorvem a radiação emitida pela superfície da Terra (ondas longas). Estes gases atmosféricos aquecidos também emitem radiação, da qual uma parte dirige-se para a Terra e outra parte para o espaço (Silva; Paula, 2015; Xavier; Kerr, 2013).

Quando esses gases são emitidos em excesso, entretanto, a temperatura média da Terra excede o normal e ocorre o chamado Aquecimento Global, causando aumento da temperatura média da Terra, e a chamada Mudança Climática, como derretimento de geleiras e descontrole das estações do ano (Xavier; Kerr, 2013).

Além de possuírem diferentes concentrações na atmosfera, têm capacidade de absorção da radiação infravermelha distinta, de modo que a contribuição para o efeito estufa de uma mesma massa dos diferentes GEE não é a mesma. Ademais, os gases possuem diferentes tempos de residência na atmosfera, o que também influencia a relação entre a presença do gás e seu impacto no efeito estufa e dificulta a comparação direta do impacto da emissão de cada GEE (IBAMA, 2013; Xavier; Kerr, 2013).

O CO₂ é um grande contribuinte do aquecimento, uma vez que representa 75% do total das emissões mundiais de gases de efeito estufa. A quantidade de metano emitida (concentração) é bem menor, mas seu potencial de aquecimento (absorção) é aproximadamente 25 vezes superior ao do CO₂. O potencial de

aquecimento do N_2O é por volta de 298 vezes maior do que o do CO_2 (IBAMA, 2013).

Tal relação, denominada Potencial de Aquecimento Global (GWP, na sigla em inglês), foi calculada por Lashof e Ahuja (1990) para tempos de residência específicos (20, 100 e 500 anos) e logo adotada pelo IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas) e pela Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (IBAMA, 2013).

O dióxido de carbono, por ser o gás mais abundante, foi utilizado como padrão, tendo sido atribuído o valor de $GWP = 1$ (um). Assim, o GWP representa a captura cumulativa de radiação infravermelha a partir da liberação de 1 kg de um determinado GEE, em relação a igual massa de CO_2 (IBAMA, 2013).

Com base no potencial de aquecimento global dos gases de efeito estufa é possível comparar as emissões dos diferentes gases, uma vez que todos passam a ser equivalentes a uma determinada massa de dióxido de carbono. Assim, na metodologia recomendada pelo IPCC, as emissões são registradas na unidade de tonelada de dióxido de carbono equivalente tCO_2e (IBAMA, 2013).

O aquecimento global é, portanto, um fenômeno climático de larga extensão, provocado por fatores internos e/ou externos. Fatores internos são complexos e estão associados a sistemas climáticos caóticos não lineares, isto é, inconstantes, devido a variáveis como a atividade solar, a composição físico-química atmosférica, o tectonismo e o vulcanismo (Silva; Paula, 2015).

Já fatores externos são antropogênicos e relacionados às emissões de gases-estufa por queima de combustíveis fósseis, principalmente carvão e derivados de petróleo, indústrias, refinarias, motores, queimadas e similares (Silva; Paula, 2015).

3.2. Conceitos de eficiência energética

A atividade no setor de transporte é, internacionalmente, tem como indicadores passageiro-quilômetro (p.km) transportados e tonelada-quilômetro (t.km) transportados. Passageiro-quilômetro é uma unidade que apresenta o trabalho relativo ao deslocamento de um passageiro à distância de um quilômetro (EPE, 2023a).

Da mesma forma, tonelada-quilômetro é a unidade que representa o trabalho

relativo ao deslocamento de uma tonelada de carga à distância de um quilômetro. Também chamado de momento de transporte (EPE, 2023a).

Intensidade energética é medida pela quantidade de energia requerida por unidade de produto ou atividade. É a razão entre um indicador de energia (tonelada equivalente de petróleo [tep], Joule, calorias, Btu, entre outras) e um indicador de atividade (US\$, R\$, m², tonelada-quilômetro, passageiro-quilômetro, entre outros) (EPE, 2023a).

Intensidade de uso é a razão entre a atividade de transporte e a distância percorrida. É expressa nas unidades tonelada-quilômetro/quilômetro ou passageiro-quilômetro/quilômetro (EPE, 2022; EPE, 2023a).

A eficiência energética é a razão entre a estimativa de atividade (t.km ou p.km) e a demanda total de energia (em unidades com Joule [J], Watt [W] ou tonelada equivalente de petróleo [tep]). Ela aumenta quando dado nível de serviço é atendido com quantidade de energia menor mantendo o conforto ou quando aumenta o nível de serviço para uma dada quantidade de energia. Para o setor de transportes, ela é o inverso da intensidade (EPE, 2022; EPE, 2023a).

O consumo de combustível representa o volume de combustível gasto para percorrer uma dada distância, em geral 100 km. É expressa litro/100km. E o rendimento energético, também conhecido como autonomia, é o seu oposto: razão da distância percorrida por passageiros ou carga e o consumo de combustível em volume - usualmente em quilômetros/litro (EPE, 2023a).

A variação da demanda de energia ao longo do tempo na economia ou em determinado setor ocorre sob a influência de alguns efeitos principais, que podem gerar impactos positivos ou negativos, como podemos ver no esquema 1.

Esquema 1: Efeitos sobre a demanda

| EFEITO ATIVIDADE | EFEITO ESTRUTURA | EFEITO INTENSIDADE |
|---|--|---|
| Expõe as alterações decorrentes do nível de atividade econômica | Mostra o impacto de alterações dos pesos das classes no consumo de energia | Capta a influência da intensidade energética no consumo e é uma boa <i>proxy</i> para os ganhos de eficiência energética no tempo |

Fonte: EPE, 2022.

De forma geral, reduções na intensidade energética podem indicar ganhos de eficiência energética na economia. Porém, a eficiência energética está associada a ganhos em processos e equipamentos. Para análises mais detalhadas e assertivas relativas à eficiência energética, é necessário um maior nível de desagregação e, portanto, maior volume de dados (EPE, 2022).

É fundamental entender que há limitação em usar a intensidade energética como um indicador de eficiência energética. Este indicador é fortemente influenciado pelo efeito estrutura e tende a gerar maiores impactos em momentos de crises econômicas. O indicador de efeito intensidade é influenciado tanto por ganhos de eficiência energética pela substituição de equipamentos quanto por adaptações comportamentais dos consumidores e de processos (EPE, 2022).

3.3. Panorama brasileiro

Nossa nação tem potencial para liderar ações fundamentais que reduzam as emissões de gases de efeito estufa. Seja por meio da capacidade de fixação de CO₂ em florestas e áreas de reflorestamento, pela capacidade de geração de energias limpas e sustentáveis ou por meio da implementação de soluções tecnológicas para a transição para uma economia de baixo carbono (Potenza et al, 2021).

Entretanto, entre 2010 e 2021, as emissões de gases de efeito estufa passaram de 1,7 bilhão de toneladas para 2,4 bilhões. A respeito das emissões líquidas (quando são descontados os gases removidos por florestas), a alta foi de 1,3 bilhão para 1,7 bilhão de toneladas, portanto as emissões aumentaram

consideravelmente mais rápido que as efetivas remoções (Potenza et al, 2021)

Mesmo dentro do cenário pandêmico (Covid-19), onde a economia teve uma dura e drástica parada, causando uma inédita redução - aproximando-se de 7% nas emissões globais, o Brasil foi na contramão do restante do mundo, tornando-se, possivelmente, o único grande emissor do planeta a apresentar alta em suas emissões de gases, atingindo seu maior índice, no ano de 2020, desde 2006 (Potenza et al, 2021).

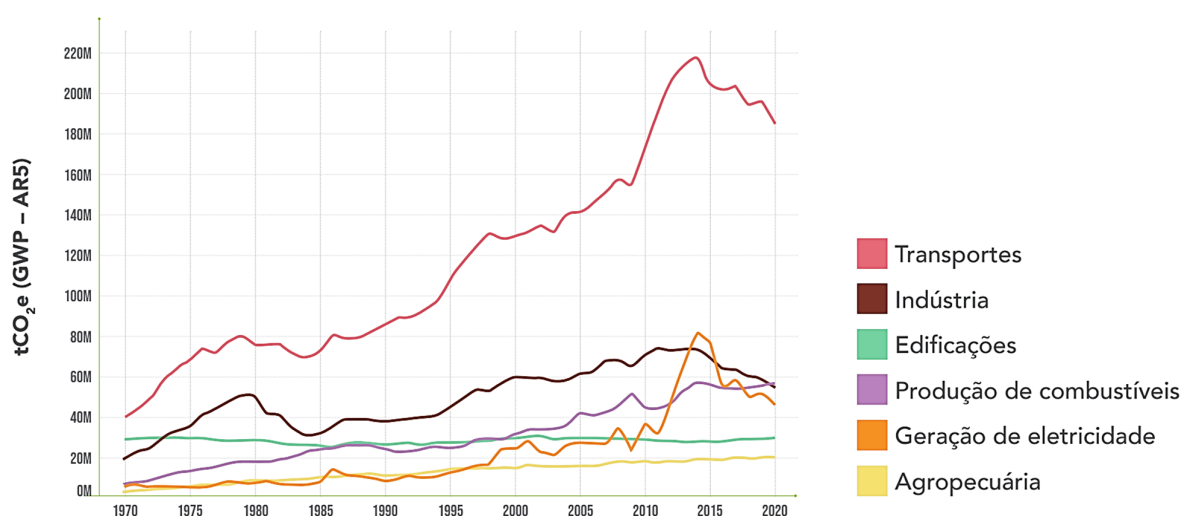
Esses números estão associados ao desmatamento da Amazônia e do Cerrado brasileiro, categorizado como emissão pelo uso de terras, além da alta de emissão de gases pelo setor agropecuário. Neste período, de 2019 a 2020, o aumento da emissão pelo uso de terras foi de 23,6%, por exemplo (Potenza et al, 2021).

As emissões do setor de energia são provenientes da queima de combustíveis em atividades como transportes, indústria e geração de eletricidade; além das chamadas emissões fugitivas, causadas pelo escape de gases de efeito estufa durante a produção de combustíveis (como a fuga de metano na exploração de petróleo e gás natural) (Potenza et al, 2021).

A queda de emissões no setor de energia de 2020 em relação a 2019 foi fruto do decréscimo das emissões de Transportes (-5,6%), que é, de longe, a atividade mais emissora do setor; e da Geração de Eletricidade (-10,8%), que, para além da economia, também tem suas emissões fortemente influenciadas pela dinâmica de geração de energia elétrica por meio de fontes fósseis ou renováveis (principalmente a hidráulica) (Potenza et al, 2021).

A Produção de Combustíveis (+1,9%) acabou sendo influenciada pela continuidade da exploração de petróleo e gás natural mesmo com a pandemia, como pode ser observado na Figura 2 (Potenza et al, 2021).

Figura 2 - Emissões de gases de efeito estufa nas atividades do setor de energia (1970-2020)



Fonte: Potenza et al, 2021

A resposta a essa sequência de fatos é que o Brasil se comprometeu severamente com o Acordo de Paris. O país vem se comprometendo com metas bem ambiciosas como redução das emissões líquidas totais de gases de efeito estufa em 37% em 2025 e o de reduzir em 43% as emissões brasileiras até 2030 na NDC (Potenza et al, 2021; Brasil, 2020).

A Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC, do inglês Nationally Determined Contribution) brasileira também enunciou o objetivo indicativo de atingirmos a neutralidade climática – ou seja, emissões líquidas nulas – em 2060. Podemos afirmar que:

A NDC brasileira é uma das mais ambiciosas do mundo. Primeiro, por se referir a emissões absolutas, e não fatores relativos como intensidade de carbono ou tendências históricas de crescimento, como a maioria das NDCs de países em desenvolvimento. Segundo, por se referir a toda a economia, e não a setores específicos. Terceiro, pela magnitude das metas, que supera inclusive a de muitos países desenvolvidos. Quarto, por incluir uma meta intermediária para 2025, obrigando a trajetória de reduções em toda a década e não apenas em 2030. Por uma mudança na metodologia de cálculo das emissões, esta acabou sendo uma meta controversa. Também é digno de nota o anúncio do objetivo indicativo de neutralidade climática em 2060. Não sendo um componente necessário de uma NDC, a inclusão deste objetivo é mais um sinal do engajamento brasileiro na área ambiental (Brasil, 2020).

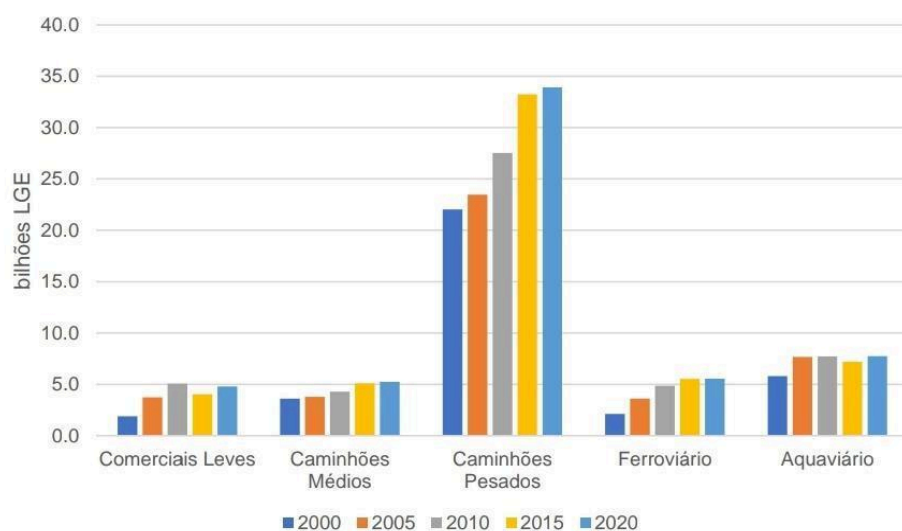
3.3.1. Matriz do transporte brasileiro

Retomando sobre as métricas, Transportes é responsável por 33% do consumo final de energia no Brasil, e sua demanda está ligada a aspectos ambientais, socioeconômicos e tecnológicos. Foi o segmento mais impactado pela

pandemia de Covid-19 por conta das restrições devido aos riscos de contaminação e a adoção do trabalho remoto (EPE, 2021; EPE, 2023b).

O transporte de cargas representava aproximadamente 40% desta demanda energética em 2021. Como mostra a Figura 3, os caminhões pesados têm papel significativo e foram responsáveis pela maior parte do aumento no consumo de energia do setor de transportes ao longo do tempo, um incremento de 219%, entre 2000 e 2020. (EPE, 2021).

Figura 3 - Consumo energético no transporte de cargas, por modo, no Brasil



Fonte: EPE, 2021.

Esse aumento se deve a um forte boom de commodities que favoreceu os setores agrícola e de mineração e à localização dessas commodities mais representativas, que normalmente estão situadas no coração do Brasil, o que resulta no transporte de produtos por longas distâncias (EPE, 2021).

Além do agronegócio, a recuperação dos setores industrial e de serviços levam a uma maior demanda por transporte de cargas. Esses setores são fomentados pelo crescimento da população e pelo aumento da renda per capita, com previsão de ultrapassar o ápice (registrado em 2013), em 2028 (EPE, 2023b).

Isso pois, embora o Brasil seja um país continental, com um enorme litoral e diversos grandes rios, os caminhões foram responsáveis por mais de 60% da movimentação de cargas nas últimas duas décadas, alcançando 70% em 2021 (EPE, 2023b).

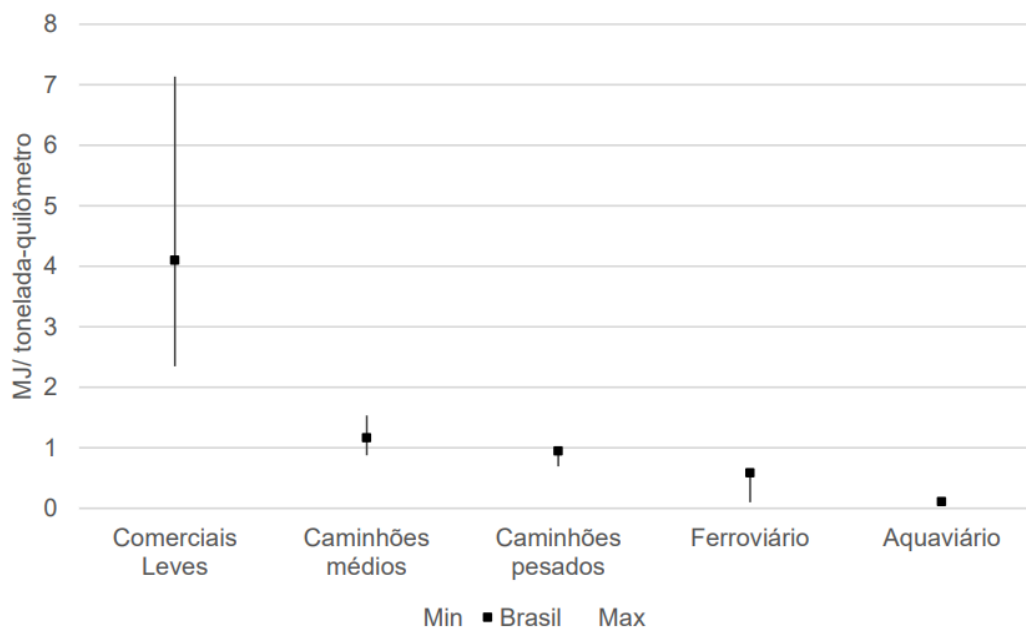
Resultado, sobretudo, de seu processo de industrialização durante a segunda

metade do século XX, no qual a construção de estradas foi fortemente favorecida em detrimento de investimentos ferroviários (EPE, 2023b).

Diferentes modos de transporte de carga possuem distintos níveis de intensidade energética, com o transporte ferroviário e aquaviário apresentando efetivamente intensidades energéticas mais baixas. Entre os modos rodoviários, os veículos pesados de carga são os mais eficientes (EPE, 2021).

Comparando as intensidades energéticas dos diferentes modos de transporte entre os países Austrália, Brasil, Canadá, China, Índia, México, Rússia e EUA na Figura 4, o Brasil tem a menor diferença entre a eficiência rodoviária e ferroviária. Resultado, também, do favorecimento do transporte rodoviário em detrimento do ferroviário. A maior variação entre os países ocorre com os veículos comerciais leves (EPE, 2021).

Figura 4 - Dispersão de intensidades energéticas do transporte de carga para países selecionados



Fonte: EPE, 2021.

Apesar de ser o mais energeticamente eficiente entre os modos rodoviários, os caminhões pesados têm um dos maiores consumos específicos de combustível (LGE/100km) se compararmos o Brasil com outros países (EPE, 2021).

O consumo está relacionado à qualidade das estradas, cargas transportadas, tamanho, idade e tipo de veículo. Para veículos médios e leves, o país está em linha com o de outros países (EPE, 2021; Andrade Fialho; Bertoncini, 2020).

O uso de diesel predomina nos caminhões pesados, então o crescimento da frota de caminhões, a uma taxa de 3,5% ao ano, entre 2005 e 2018, elevou o consumo de diesel de 20 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (tep) para 30 milhões de tep, um aumento de 3,2% ao ano (EPE, 2021).

Em suma, o transporte de cargas no Brasil é representado pelo modal rodoviário, que por sua vez, é representado por caminhões pesados. Os caminhões são a categoria de veículo que mais consome combustível e emite gases de efeito estufa - representaram 42% do montante emitido em 2021, por ser movido majoritariamente pelo combustível mais poluente, o diesel (Potenza et al, 2023).

Em São Paulo, por exemplo, mais de 60% dos principais poluentes atmosféricos (PM, NO_x e SO₂) são oriundos dos veículos de carga (EPE, 2021);

3.4. Logística verde

A universalidade dos riscos climáticos é um traço marcante desse novo modelo de sociedade. Relaciona-se com o fato de ser o clima de todo o planeta que está sofrendo alterações, sem qualquer vínculo com o local onde se origina a emissão. Já a transtemporalidade dos riscos climáticos relaciona-se com a projeção de tais riscos para o futuro, na forma de riscos civilizacionais intergeracionais (Rammê, 2012).

É importante pontuar que as camadas mais vulneráveis da população mundial são as que mais sofrem as consequências negativas do aquecimento global e das alterações do clima, embora sejam quem menos contribui para o problema (Rammê, 2012).

As 500 maiores empresas do mundo (Global 500) representam, sozinhas, cerca de 11% de toda a emissão antropogênica de GEE. Dada a relevância das emissões das empresas, diferentes *stakeholders* (grupos de interesse), organizações não-governamentais (ONGs), agentes públicos, investidores e consumidores, as têm pressionado para que elas e outras adotem políticas de redução de emissões, além de realizarem seu monitoramento, mensuração e evidenciação (Alves et al, 2019).

Nessas empresas, decisões administrativas de natureza logística podem afetar o sucesso de estratégias ambientais em cada estágio da cadeia produtiva. As atividades logísticas envolvem uma larga amplitude de decisões como planejamento de rotas de transporte, manuseio de produtos devolvidos, movimentação de

materiais, armazenagem, gestão de estoques, compras, atividades de pós-venda e serviços logísticos para os clientes (Barbosa; Moor; Madeira, 2019).

A logística busca coordenar essas atividades de modo a atender às exigências dos clientes por um custo mínimo, tradicionalmente decidem preferir os custos ambientais. Em contrapartida, a logística verde tem como principal objetivo coordenar as atividades dentro de uma cadeia de suprimentos de tal forma que as necessidades sejam atendidas com o “menor custo” para o meio ambiente (Santos et al, 2015).

As práticas da Gestão da Cadeia de Suprimentos Verde (Green Supply Chain Management), tem na logística verde um dos seus principais alicerces, ao lado do desenvolvimento de produtos ecológicos, das compras verdes, das práticas de produção ecológica, do uso de tecnologias mais limpas, do gerenciamento verde e do marketing verde (Alvarenga; Rodriguez, 2018).

Marketing verde se refere, especificamente, ao desenvolvimento, apreçamento, promoção e distribuição de produtos que não agridam o meio ambiente. A Logística Verde por si só não funciona sem um planejamento estratégico eficaz e principalmente sem o marketing, que visa “estudar o comportamento e o perfil do consumidor” (Souza et al, 2011).

A Logística Verde em si trata de questões ambientais relacionadas ao transporte verde/sustentável, manipulação e armazenamento de materiais perigosos, controle de estoque, armazenagem, embalagem e decisões de alocação de localização de instalações que visam reduzir as pegadas de carbono (Alvarenga; Rodriguez, 2018).

A McKinsey publicou uma análise de 460 das 500 empresas da Fortune Global 500 que mostra que a maioria delas definiu metas relacionadas ao clima (83%) ou pelo menos reconhece a existência de mudanças climáticas - mais 15% (Claes et al., 2022).

Existem várias razões que levam as empresas a adotarem as práticas da logística verde e uma delas é que as empresas estarão normalmente tomando o caminho mais fácil para melhorar sua reputação e proteger sua marca (Souza et al, 2011; Barbosa; Moor; Madeira, 2019).

A conscientização ambiental dos consumidores é crescente, assim, a adoção de práticas verdes pode dar à empresa uma vantagem competitiva e aumentar a demanda. Aderindo ao sistema da logística verde as vantagens

tornam-se mais amplas e grandes oportunidades surgem, como: linhas de crédito facilitadas, menores taxas de juros, credibilidade com cliente e fornecedores e abatimento de impostos (Santos et al, 2015).

Ainda se tratando da definição de metas gerais, a McKinsey também publicou uma análise por setor que revela que, proporcionalmente, o setor de transportes lidera a definição de metas gerais. Isso provavelmente se deve a uma combinação de fatores: por exemplo, o setor enfrenta riscos específicos decorrentes da transição climática, os órgãos regulatórios tendem a focar as emissões de carbono e o setor vem adotando energias renováveis, entre outros (Claes et al., 2022).

No entanto, alguns paradoxos e *trade-offs* (na escolha de um fator em detrimento de outro) surgem durante o estudo, sugerindo que a aplicação das práticas de logística verde possa ser mais difícil do que realmente é.

Uma visão geral das características padrão de sistemas logísticos revela algumas inconsistências no que diz respeito à diminuição de seu impacto ambiental. Existem, basicamente, cinco paradoxos: os de custos, tempo, confiança, estoque e tecnologias de informação (Santos et al, 2015).

Com relação ao conceito de *trade-offs* citados anteriormente, dos encontrados na literatura, podemos citar:

Custos: evidenciado pela diminuição da quantidade de carga transportada resultando em uma maior quantidade de viagens e aumento do custo do transporte (Santos et al, 2015).

Ressalta-se que, dentre os demais custos logísticos, os custos de transporte tendem a afetar significativamente as relações de comércio dos bens de menor valor em relação ao seu peso físico, tipicamente caracterizados como commodities (ANTAQ, 2022).

Assim, especialmente para as cargas de baixo valor agregado, o fator preço do transporte é determinante para a viabilidade da transação. Já para as cargas de alto valor agregado, outros fatores, como velocidade da entrega, confiabilidade e segurança adquirem maior relevância (ANTAQ, 2022).

Em geral, a demanda é relativamente inelástica em relação ao preço. A redução do custo de transporte de um barril de petróleo ou de um contêiner carregado de calçados desportivos tem pouco ou quase nenhum impacto no volume de carga transportada, pelo menos no curto prazo (ANTAQ, 2022).

Velocidade: O tempo de trânsito traduz-se em custos de inventário, então, os embarcadores de mercadorias de valor elevado preferem entregas rápidas. É custoso manter mercadorias de valor elevado em estoque, assim, a tendência é ser mais barato despachar pequenas quantidades frequentemente, mesmo que o custo de transporte seja maior (ANTAQ, 2022).

Além disso, a velocidade influencia as decisões comerciais: um fabricante que encomenda peças sobressalentes de um país afastado do seu, pode preferir pagar n vezes mais pelo transporte aéreo com entrega em poucos dias à alternativa de ter a maquinaria fora do serviço caso optasse pela via marítima (ANTAQ, 2022).

Normalmente os meios de transporte com maior velocidade de distribuição, ou seja, menor tempo de entrega (lead time), são os mais poluentes e energeticamente eficientes meios de transportes. O tempo de viagem de cabotagem é bem maior que o rodoviário, por exemplo (Barbosa, 2018; Santos et al, 2015).

Confiabilidade: o sucesso é baseado na capacidade de entregar a carga no tempo certo com o menor dano possível. Sistemas de controle de inventário do tipo “em cima da hora” (Just In Time) vem apresentando crescente importância, causando mudança no quesito confiabilidade no transporte (ANTAQ, 2022).

Isso porque, alguns embarcadores estão preparados para pagar mais por um serviço que garanta sua operação no tempo previsto e que preste os serviços como prometido (ANTAQ, 2022; Santos et al, 2015).

Segurança: o conceito de perda ou avaria em trânsito apresenta-se como um risco segurável, porém, não imune a causar dificuldades para os embarcadores, especialmente se tratando da partida de cargas de valores elevados e frágeis (ANTAQ, 2022; Barbosa, 2018).

Nesses casos, os embarcadores estão dispostos a pagar mais por um serviço de transporte seguro e com menor risco de avarias. O problema decorre do fato de que os modos menos poluentes são, geralmente, considerados os menos confiáveis em termos de entrega no prazo e em relação à segurança (ANTAQ, 2022; Santos et al, 2015).

Estoque: Com a velocidade e confiabilidade da entrega, não há mais necessidade de armazenar e estocar. A economia moderna do sistema logístico se baseia na redução de estoques. Devido ao tempo de viagem há clientes que têm preferido a entrega por cabotagem, uma vez que o estoque está em viagem no

navio (Barbosa, 2018; Santos et al, 2015).

Ou seja, os produtos que antes estariam estocados, passam a ser transferidos para o sistema de transporte, implicando ainda mais questões de congestionamento e poluição (Santos et al, 2015).

Tecnologias de informação: o e-commerce (comércio de bens eletrônicos), um dos mercados mais dinâmicos, é consequência da influência da tecnologia em elevar o varejo a novas dimensões. Funciona a partir de uma cadeia de suprimentos integrada, com intercâmbio de dados entre os fornecedores, linhas de montagem e matérias em trânsito (ANTAQ, 2022; Santos et al, 2015).

Relacionado a isso, os transportes por caminhões e aéreos são atividades de distribuição que mais beneficiaram o comércio eletrônico, fator que pode ser considerado paradoxal (Santos et al, 2015).

A gestão da logística verde, é uma vertente recente, apresenta paradoxos e necessita de amadurecimento. Seu corpo conceitual e as formas de aplicação ainda não estão muito claras, e é frequente a confusão com outros conceitos, como o de logística reversa (Barbosa; Moori; Madeira, 2019; Santos et al, 2015).

Entretanto, esses paradoxos da logística verde não devem bloquear e impedir a aplicação da sustentabilidade na cadeia logística.

3.5. Possíveis soluções para a problemática

Pensando em um transporte mais sustentável, em 2016, a Organização das Nações Unidas (ONU) publicou um relatório com diversas recomendações, visando a preservação do meio ambiente. Algumas já disseminadas e postas em prática na maioria das corporações, são elas (Barbosa, 2018; Potenza et al, 2021):

- evitar viagens ou transportes desnecessários, buscando outras formas de transporte ou logísticas que diminuam os percursos;
- trocar os meios de transporte por meios mais sustentáveis, como viajar em outros horários que não o de pico ou preferir o transporte aquaviário do que o rodoviário;
- e melhorar os veículos já utilizados, para que sejam mais ecológicos, seja com novos recursos ou com a redução de emissão de CO₂ ;

O Atlas de 2019 identificou a necessidade de uma matriz de transporte equilibrada e eficiente. Melhorias na eficiência do combustível podem contribuir para

a qualidade do ar, segurança energética e benefícios financeiros, podendo ser facilitados por (EPE, 2021):

- padrões de economia de combustível e limites mais rigorosos de emissões;
- mais Pesquisa & Desenvolvimento;
- o uso de sistemáticas de sucateamento (idade avançada dos veículos);
- melhor gerenciamento da frota;
- melhorias contínuas na qualidade das estradas.

Deve-se ainda priorizar políticas públicas sustentáveis em áreas de transporte, focando na redução de GEE, as nações devem pensar nas questões ambientais em todas as esferas, estabelecendo uma justiça climática para todos, além dos governos começarem a pensar e “barrar” construções e financiamentos públicos de empresas e empreendedores que não se preocupem com a questão ambiental e a emissão de gases de efeito estufa (Potenza et al, 2021).

A seguir, vamos discorrer melhor cada possibilidade frente aos desafios atuais que o Brasil enfrenta.

3.5.1 Tecnologia de informação

A Indústria 4.0 reinventou o modo como as empresas projetam, fabricam e distribuem produtos.

Inteligência artificial, machine learning, automação, conectividade em nuvem, IoT (internet das coisas), integração de sistemas e big data são ferramentas que devem ser usadas sobretudo para produzir dados. Os dados são a chave, pois é por meio deles que conseguimos obter respostas que ajudam na tomada de decisão em tempo real (Maciel, 2023).

Com este sistema de informações, é possível analisar e monitorar as embalagens dos produtos, armazenamento, inventário, transporte, programação, energia, eficiência de distribuição, carga, manuseio e consumo de combustível e muito mais (Santos et al, 2015).

Como veremos a seguir, as possibilidades são múltiplas e muitas delas têm suas limitações. Utilizar tecnologias para armazenar e tratar esses dados pode diminuir esses obstáculos. A limitação, por sua vez, se dá em encontrar pessoas capacitadas e infraestrutura dentro dessas companhias.

Além disso, esses dados podem conter informações sensíveis que devem ser devidamente protegidas, com políticas de retenção definidas e pessoas

responsáveis por isso, se mantendo constantemente atualizados diante da volubilidade dentro de *compliance* (o conjunto de regras cujo propósito é garantir o cumprimento de leis, regulamentos, normas internas e externas e promover a ética e a integridade de uma organização) e fortes investimentos em cibersegurança.

3.5.2. Otimização de rotas, programação e compartilhamento de cargas

Partindo do pressuposto de que o Brasil não consiga se desvencilhar do transporte rodoviário com caminhões pesados, é necessário algumas concepções a fim de torná-lo mais eficiente.

Os caminhões brasileiros ainda viajam vazios em 40% do tempo e precisamos emitir muitos documentos em papel para desembaraçar as entregas. O que significa que a emissão de gases conseqüentemente é maior do que deveria, visto a necessidade de realizar mais viagens de ida e volta durante um período (Maciel, 2023).

Mesmo que o caminhão não viaje vazio mas com uma carga parcial (LTL), os embarques LTL têm a emissão específica de CO₂ maior que embarques com cargas completas (FTL), devido ao consumo do combustível versus o volume de carga transportada (Barbosa, 2018).

Uma maneira de se realizar eficientemente as estratégias propostas é adotar a existência de uma programação de transporte eficaz, que possa garantir uma melhor utilização da frota existente, bem como das mercadorias armazenadas. Ou seja, adequar o caminhão corretamente quanto a sua especificação e capacidade de carga). Ou então, compartilhar produtos e/ou cargas diferentes para destinos próximos no mesmo caminhão, a fim de atingir sua capacidade e otimizar, assim, a viagem. O compartilhamento, inclusive, pode ocorrer entre empresas diferentes, mas com rotas coincidentes (Santos et al, 2015; Barbosa, 2018; Mahlmeister, 2023).

Como o transporte rodoviário é dependente de rotas, traçar a rota de forma eficiente, ao se considerar tempo e distância de trajeto, pode reduzir os custos ambientais, pois a emissão seria menor; e financeiros, como os custos de manutenção dos caminhões (Santos et al, 2015; Andrade Fialho; Bertoncini, 2020).

Para minimizar o tempo de trajeto, pode ser interessante traçar uma programação de saída e chegada, do ponto de carga e descarga, de cada cliente

e/ou planta, além de poder evitar horários de pico (Andrade Fialho; Bertoncini, 2020).

O ato de programar essas movimentações é benéfico, pois garante a segurança da carga e do motorista, ao evitar a exposição em horários de descanso noturnos obrigatórios e/ou engarrafamentos e também o retorno em menor tempo da frota, garantindo a agilidade do transporte e todo o processo. Pode-se considerar ainda, fatores como um melhor treinamento para os motoristas que transportam essas cargas pelo sistema rodoviário.

De acordo com Santos et al (2015), a realização de treinamentos dos motoristas, reduz o índice de acidentes; melhora o consumo de combustível; o monitoramento do consumo de combustível torna-se mais preciso; o monitoramento da utilização de veículo tanto quando carregado quanto vazio é mais evidente; além da realização de programas de manutenção preventiva mais incisiva, pois um veículo mal conservado gasta mais combustível.

3.5.3. Combustíveis

Outro conjunto de medidas que pode reduzir as emissões está associado ao uso de combustíveis. Duas são as possibilidades: utilizar de tecnologias para que os veículos consumam menos combustível, assim, conseqüentemente, emitam menos gases poluentes, ou fazer uso de combustíveis menos poluentes, como o gás natural, os biocombustíveis e eletricidade. As duas possibilidades podem ser trabalhadas em sinergia.

Sobre o primeiro, pode-se trabalhar na aerodinâmica de modelos futuros - quanto menor a resistência do ar sobre o veículo, menos combustível será necessário para que ele se desloque, e no controle dos veículos que já estão em uso com manutenção preventiva ou sucateamento, em último caso. A tabela 1 nos mostra que veículos antigos e em más condições consomem mais combustível e emitem mais.

Tabela 1 – Medidas de eficiência

| Área | Potencial economia de combustível |
|--|--|
| Melhorias aerodinâmica | Redução no consumo de combustível entre 0,5 - 3% |
| Baixa resistência de rolamento e sistemas de pressão dos pneus | 0,5% a 12% |
| Redução peso | entre 1 e 3%, no curto prazo |
| Eficiência dos motores | 4 - 18% (elevadas distâncias) |
| Controle da ociosidade do motor | até 2,5% |
| Hibridização | 6 - 35% dependendo da tecnologia e perfil |

Fonte: Adaptado de EPE, 2021

Nota: O total da economia pode variar de acordo com o tipo de veículo e de sua missão. Geralmente há maior economia nos pesados do que nos médios (EPE, 2021).

Por exemplo, se todos os veículos pesados com mais de 30 anos fossem sucateados, as emissões de partículas (PM) poderiam ser reduzidas em quase 50% até 2030, enquanto o consumo de diesel do Brasil poderia diminuir em 13 bilhões de LGE de 2021 a 2030 (EPE, 2023a).

Globalmente, o uso de diesel predomina nos caminhões pesados, pois proporciona um torque maior para cargas mais pesadas. O uso em larga escala do diesel, por um longo período, construiu uma cadeia custo-eficiente, o que inibe a atratividade de combustíveis alternativos (EPE, 2021).

Por um lado, o setor automotivo é tradicionalmente conectado à utilização de combustível fóssil; por outro, as empresas optam por estratégias globais distintas e investem em um conjunto de tecnologias alternativas (BNDES, 2021).

No entanto, suas externalidades ambientais negativas são significativas, e pesam o avanço das regulamentações sobre emissões de veículos e, também, as atividades de pesquisa e desenvolvimento realizadas pela indústria. No Brasil, por exemplo, 49% das emissões de CO₂ do transporte e 96% das emissões de material particulado no transporte rodoviário se originam nos motores a diesel (BNDES, 2021).

É provável, então, que tecnologias tradicionais convivam com as opções alternativas, em uma evolução gradativa. Em um cenário gradualista, em que há diversidade de estratégias empresariais e tecnologias concorrentes, existe espaço

para caminhos bem-sucedidos como o do gás natural, elemento de transição para uma economia de baixo carbono (BNDES, 2021).

Apesar de ser um combustível fóssil, o gás natural desloca o consumo de outros combustíveis fósseis mais poluentes, como gasolina, óleo combustível, gás liquefeito de petróleo (GLP) e diesel, permitindo uma redução de emissões no balanço de gases de efeito estufa e particulados em geral (BNDES, 2020).

O gás natural é o hidrocarboneto com menor número de carbonos. A molécula de metano (CH_4), que é o principal componente do gás natural, é composta por apenas um átomo de carbono para cada quatro átomos de hidrogênio (BNDES, 2021).

O baixo número de carbonos faz com que a queima do gás natural seja mais limpa, pois produz uma menor quantidade de dióxido de carbono (CO_2) e particulados entre todos os combustíveis fósseis. Além de trazer vantagens ao meio ambiente, é preferível do ponto de vista da manutenção dos equipamentos, já que a menor emissão de fuligem reduz a necessidade de limpeza de queimadores e demais equipamentos (BNDES, 2021).

O uso do gás em veículos pode ter importante papel na promoção da transição energética, pois se trata de uma tecnologia de motorização já dominada, com combustível disponível a preço acessível e menos poluente que o diesel. É uma fonte de energia essencial para os países honrarem seus compromissos ambientais sem abdicar de sua segurança energética (BNDES 2021; BNDES, 2020).

Os fabricantes de veículos pesados presentes no Brasil são líderes globais do setor e vendem seus produtos nos principais mercados. Do ponto de vista tecnológico, há competência técnica para a fabricação desses veículos, e empresas estão empreendendo esforços de produção local (BNDES, 2021).

As dificuldades para desenvolver o mercado de gás natural não se limitam somente ao lado da produção do combustível, predominantemente no mar, no caso do Brasil. Um dos grandes gargalos para disponibilizar o produto ao mercado está em sua infraestrutura de escoamento, transporte e distribuição, além de desafios de desenvolver novos consumidores na indústria, na termogeração de energia elétrica, no comércio e no uso veicular, em especial, caminhões e ônibus (BNDES, 2020).

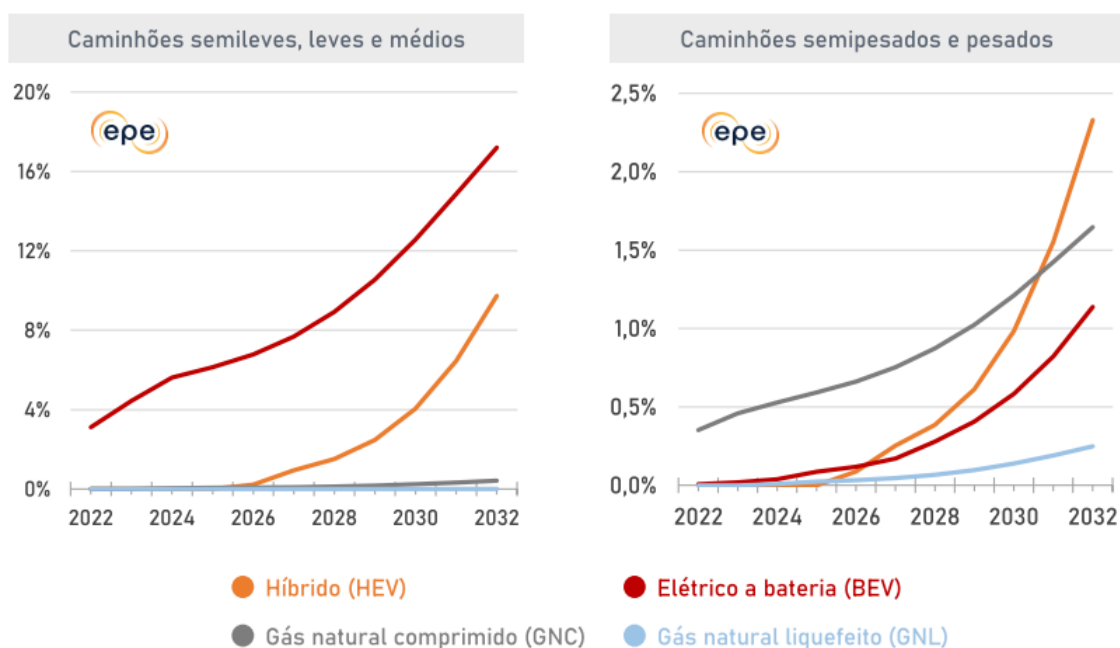
No mercado de cargas, a decisão sobre a adoção de novas tecnologias cabe, principalmente, ao embarcador e seus prestadores de serviços, os transportadores

e operadores logísticos. Dados os gargalos ainda existentes relacionados ao mercado de veículos pesados a gás, é provável que a evolução no segmento de cargas se inicie na forma de nichos, contemplando inicialmente as empresas com acesso à fonte própria do gás (biometano) e aquelas companhias que perseguem metas de sustentabilidade ambiental (BNDES, 2021).

As fases seguintes de adoção de veículos a gás deverão ocorrer na distribuição urbana de cargas – em função da forte presença de postos abastecidos com GNV nas grandes cidades e dos benefícios percebidos à saúde pública – e, de forma mais gradual, em grandes corredores logísticos (BNDES, 2021).

A maior variação no uso do tipo de combustível ocorre em veículos comerciais leves, onde, pela Figura 5, já podemos notar a participação da eletrificação (BEV - Battery Electric Vehicles) no licenciamento de novos caminhos (EPE, 2023b)

Figura 5 - Penetração de motorizações alternativas no licenciamento de novos caminhões (%)



Fonte: EPE, 2023b

Os veículos elétricos oferecem benefícios locais de redução da poluição do ar e do ruído, mas para veículos maiores, o peso das baterias torna a eletrificação mais difícil e cara, restringindo sua aplicação para distâncias menores (baixa autonomia).

Tanto para veículos leves quanto para pesados, a adoção maciça dessa tecnologia esbarra em entraves, como altos preços, inexistência de indústria doméstica de baterias e componentes, e infraestrutura de recarga incipiente (EPE, 2021; EPE, 2023b).

A frota de automóveis e comerciais leves híbridos e elétricos a bateria deverá ultrapassar 1 milhão de unidades no Brasil em 2030. Dentre as fontes energéticas, a eletricidade é a que apresenta a maior taxa de crescimento no decênio: 9,0% a.a. No entanto, a sua participação continuará baixa (EPE, 2023b).

A difusão dessas motorizações na frota brasileira de veículos pesados encontra-se, ainda, em estágio inicial de desenvolvimento e deverá se tornar mais significativa apenas no período decenal (EPE, 2023b).

Os biocombustíveis (etanol, biodiesel, biometano, biogás, bioquerosene, segunda geração, entre outros) exercem um papel estratégico na matriz energética brasileira no que se refere à sua contribuição para a segurança energética, a previsibilidade do mercado e a mitigação de emissões dos gases causadores do

efeito estufa no setor de combustíveis. Com isso, os biocombustíveis viabilizam uma oferta de energia cada vez mais sustentável, competitiva e segura (ANP, [201?]).

Globalmente, 47 bilhões de litros de biodiesel foram produzidos em 2020, tornando-o a opção mais comercializada de biocombustível para o transporte pesado (EPE, 2021).

O uso do biodiesel está associado à substituição de combustíveis fósseis em motores do ciclo diesel, sem haver necessidade de nenhuma modificação nesse motor. Pode ser consumido puro (B100), em mistura com o diesel de petróleo (B20), ou numa proporção baixa, como aditivo de 1% a 5% (B1 a B5) (Barros; Jardine, 2021).

O Brasil autorizou o uso voluntário de 20-30% de misturas de biodiesel em frotas cativas e para usuários agrícolas e industriais. Entretanto, devido ao preço do biodiesel, na prática, todos os usuários no Brasil compram diesel com a mistura mínima de 13% de biodiesel. O consumo de biodiesel no Brasil foi próximo a 6 bilhões de litros em 2019 (EPE, 2021).

Mesmo o diesel ocupando 35% a 50% nos custos de uma transportadora, ainda não há um consenso quanto a sua substituição, isso porque há reclamações de que alternativas como a mistura de biodiesel no óleo tragam custos, aumento no consumo, desgaste prematuro dos motores e riscos de acidentes rodoviários com parada repentina de veículos (Goldberg, 2023).

É o caso do B100 que tem alta viscosidade (11 a 17 vezes maior que a do óleo diesel) e baixa volatilidade, o que impede a sua queima completa, formando depósitos nos bicos injetores dos motores (Barros; Jardine, 2021).

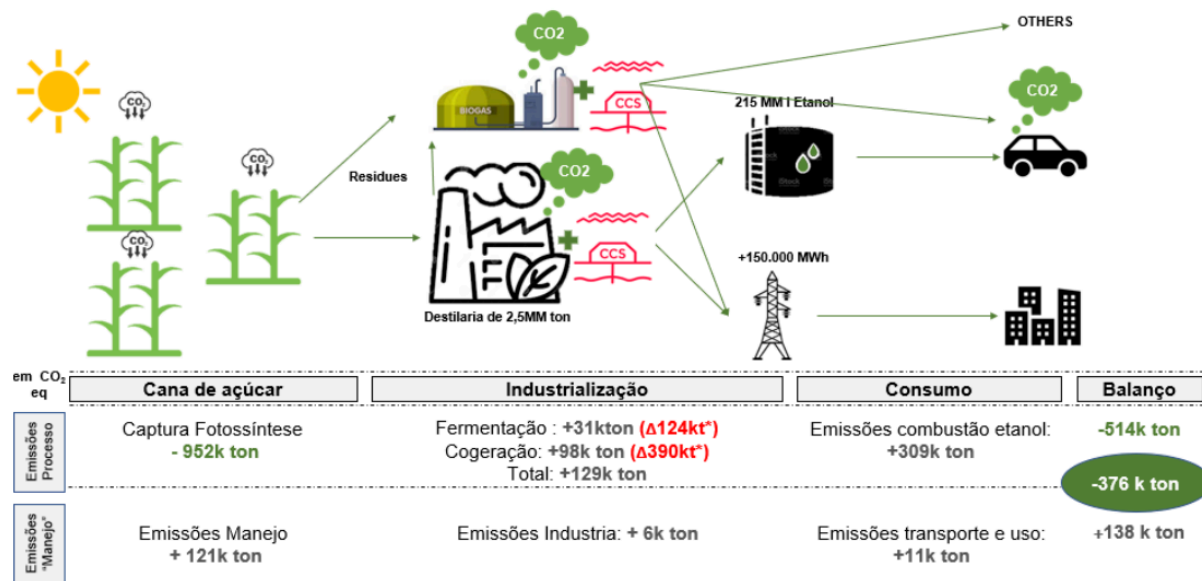
Temos outro exemplo já posto em prática e muito difundido no Brasil: o etanol brasileiro de cana. Em se tratando da análise do balanço energético (resultado da comparação entre a energia renovável gerada com a energia fóssil utilizada para produzi-la), ele é aproximadamente quatro vezes melhor que o do etanol proveniente da beterraba e do trigo, produzido principalmente na Europa, e quase cinco vezes superior ao balanço do etanol de milho, produzido nos Estados Unidos (Ferreira, 2011).

Em 2021, o Brasil foi o 2º maior produtor e consumidor tanto de etanol quanto de biodiesel. O etanol corresponde a quase metade da oferta de combustíveis para veículos leves e a produção de biodiesel corresponde a 8% da demanda por diesel. Mesmo com a produção de biocombustíveis, o Brasil depende de importação de

derivados de petróleo para atender seu mercado interno (ANP, [201?]).

A queima de biocombustíveis, segundo metodologia indicada pelo IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas) para inventariar emissões nacionais, é considerada neutra em emissões de CO₂, pois todo carbono emitido fora anteriormente capturado da atmosfera durante o crescimento da cultura vegetal que serviu de matéria-prima para a fabricação desses combustíveis, ou seja, o balanço seria neutro (Potenza et al, 2021).

Esquema 2 - Caminho do CO₂ no setor sucroenergético



Fonte: SEMINÁRIO NACIONAL DE BIOCOMBUSTÍVEIS E QUALIDADE DE PRODUTOS, 2023

O esquema acima também nos facilita entender que, um mesmo tipo de biocombustível pode ter diferentes níveis de eficiência energética, a depender do modo que é produzido, distribuído e consumido (ANP, [201?]).

Como o biodiesel e alguns outros biocombustíveis é majoritariamente proveniente de uma cultura agrícola, o Brasil tem como vantagem sua dimensão, recursos naturais e qualidade do solo. É importante, porém, controlar as mudanças de uso da terra relacionadas para que as emissões de carbono em todo o ciclo de vida desse combustível sejam baixas ou nulas (Potenza et al, 2023).

No futuro, será importante promover novas matérias-primas para a produção de biodiesel no intuito de evitar picos de preços. A produção do biodiesel parafínico, recentemente regulamentado, como por exemplo o HVO (Hydrotreated Vegetable Oil), é importante, pois trata-se de um substituto direto do diesel que não tem as mesmas limitações de mistura que o biodiesel de éster (EPE, 2021).

A demanda energética do transporte de cargas continuará associada ao uso intensivo do óleo diesel, uma vez que não há perspectiva de expressiva substituição por fontes energéticas alternativas. A demanda por óleo diesel deverá seguir em trajetória ascendente no transporte de cargas, dada a expectativa de crescimento da atividade econômica e da maior dificuldade em descarbonizar esse setor (EPE, 2023b).

Para que o uso de combustíveis alternativos seja difundido, devemos, então contar com a inovação no setor automobilístico, que estão empenhadas na busca por soluções capazes de reduzir as emissões dos veículos, pensando no seu design (como veículos com melhor aerodinâmica ou motores compatíveis com outros combustíveis) ou otimização energética (Ferreira, 2011).

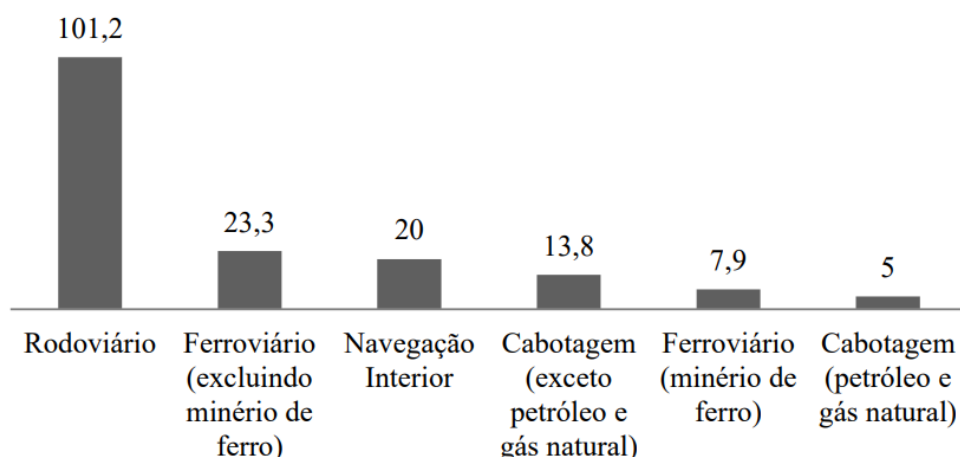
Veículos híbridos (HEV - Hybrid Electric Vehicle) é alternativa mais interessante, especialmente devido ao normativo de emissão cada vez mais restritivo. É necessário preparar a infraestrutura que comporte o abastecimento de veículos elétricos com uma rede mais desenvolvida de recargas de baterias, além de mais postos com opção de gás natural veicular (GNV) e outros combustíveis (Mahlmeister, 2023; EPE, 2021; EPE, 2023b).

Atualmente, discussões sobre a elevação dos preços dos combustíveis fósseis nos últimos anos, impactando diretamente na economia, pode direcionar e acelerar a migração para novas fontes energéticas também.

3.5.4. Intermodal e Multimodal

Para tentar resolver a problemática, pode-se optar pelo transporte intermodal, baseado no uso de diferentes modos de transporte, podendo assim melhorar os quesitos de sustentabilidade, decorrente do fato de que cada modal emite com intensidades diferentes (emissão específica), como observa-se na Figura 6 (Ávila, 2016; EPE, 2021):

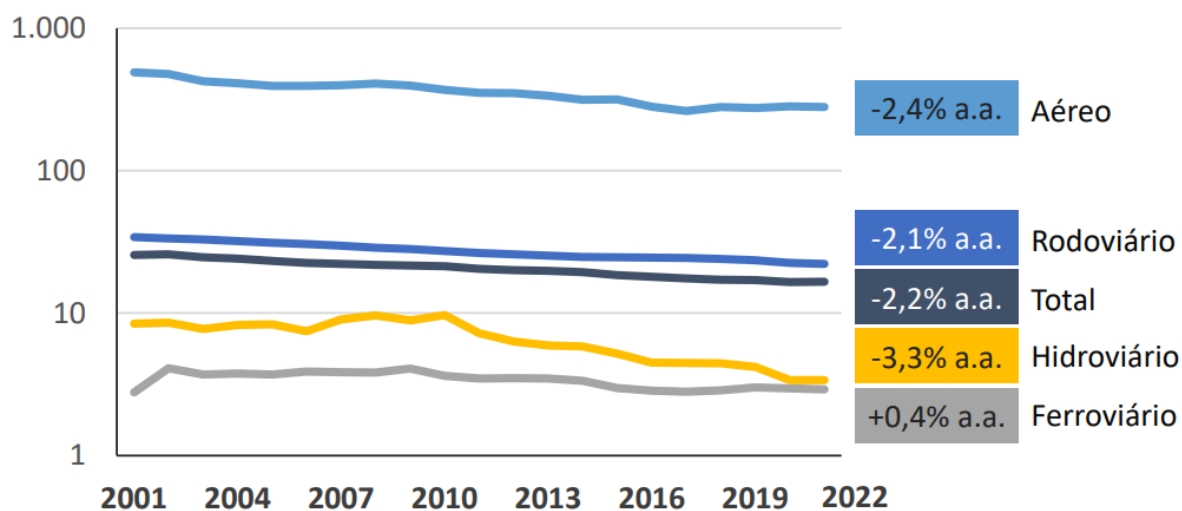
Figura 6 - Emissão específica por modal de transporte gCO₂/TKU



Fonte: Ávila, 2016

O modal aéreo é o mais intensivo, vide Figura 7 dentre os outros modais e seu emprego não se mostra viável por isso. Ademais, embora o transporte aéreo esteja em recuperação para valores pré-pandemia, os preços de querosene de aviação (QAV) vêm aumentando, afetando a utilização deste modo de transporte (EPE, 2023a)

Figura 7 - Intensidade energética por modo [tep/(10⁶ t.km)]



Fonte: EPE, 2023a.

A demanda ferroviária também se recuperou, com a entrada de novas conexões incrementando o transporte dos produtos do agronegócio por ferrovias. O maior investimento em infraestrutura e a alta da safra no ano de 2022 contribuíram para o aumento percentual da atividade desse modo, que foi o maior entre os

demais. A mudança do transporte rodoviário para o ferroviário poderia, por exemplo, economizar 11,5 bilhões de LGE entre 2020 e 2030 (EPE, 2023a).

Como parte do sistema de transporte, a navegação de cabotagem é definida pela Lei No 9.432 como “a realizada entre portos ou pontos do território brasileiro, utilizando a via marítima ou esta e as vias navegáveis interiores”. Em outras palavras, é a movimentação de cargas nacionais por via aquática (Barbosa, 2018).

Como mostrou a Figura 6, o transporte de cabotagem tem uma emissão de CO₂ bem menor que o transporte rodoviário para o mesmo volume de carga. Mesmo assim, o Brasil desperdiça um enorme potencial hidroviário ao subutilizar os rios navegáveis de suas 12 regiões hidrográficas. Atualmente, apenas cerca de um terço dos 63 mil quilômetros de vias navegáveis são utilizados (ANTAQ, 2022).

A respeito da contribuição da intermodalidade na redução das emissões de CO₂, dois pontos importantes podem ser levantados. O primeiro é como incentivar o uso de modais menos poluentes. O segundo se refere à capacidade destes modais menos poluentes. Uma vez que, se não houver capacidade de embarque suficiente nestes modais, uma política de incentivos ao uso de ferrovias e hidrovias pode não surtir o efeito desejado (Ávila, 2016).

Com o advento do contêiner, a integração física e operacional do transporte marítimo com os modais terrestres foi muito facilitada e ampliada e as empresas de navegação assumiram um papel preponderante nesse cenário (ANTAQ, 2022).

Os modos ferroviário e fluvial permitem maior escoamento de safra do interior do Brasil, em especial nas fronteiras agrícolas do Centro-Oeste e do Matopiba (Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia). No entanto, o aumento de produção pode ser maior do que o crescimento de capacidade de escoamento desses modos menos energointensivos (EPE, 2023b)

Entretanto, após o retorno das atividades presenciais, a pandemia auxiliou na disseminação do comércio eletrônico, que aumenta a demanda por transportes diretamente até as residências (a “última milha” - last mile delivery). E esse serviço é efetuado principalmente por comerciais leves e caminhões de menor capacidade de carga (EPE, 2023b).

Neste contexto da infraestrutura de transportes brasileiro, as potencialidades do transporte intermodal só se concretizam caso ele seja competitivo perante o modal rodoviário. Para isso, a baldeação de um modo de transporte para o outro deve ser rápida, de baixo custo e eficiente, com boa gestão da armazenagem e da

informação (ANTAQ, 2022).

Resulta que, o transporte de cabotagem somente é atrativo para distâncias superiores a 1.500 km enquanto o modal ferroviário começa a ser vantajoso a partir de 500 a 750 km. Em distâncias inferiores a 500 km, o modal rodoviário é a opção mais racional, em especial para o transporte de mercadorias de alto valor agregado (ANTAQ, 2022; Barbosa, 2018).

Nesse sentido, apesar de suas dimensões continentais, a maior parte da demanda de transporte de mercadorias brasileiras tende mesmo a ser atendida pelo modal rodoviário, em decorrência direta da concentração da atividade econômica do país em três estados brasileiros (São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais) e da capacidade de realizar o transporte porta-a-porta (ANTAQ, 2022).

Há ainda uma evolução, o chamado transporte multimodal, onde há a utilização de um único contrato, em que um transportador se responsabiliza perante o dono da carga pela realização de todo o transporte, incorporando o uso de mais de um modal, logo é um dos possíveis aprimoramentos técnicos disponíveis sob o auxílio de tecnologia da informação (ANTAQ, 2022).

Entretanto, diversos outros fatores dificultam a ampliação do uso do transporte multimodal no país. Questões como infraestrutura viária disponível, existência de estações de transbordo, excesso de burocracia e dificuldades fiscais (ANTAQ, 2022).

A ANTT (Agência Nacional de Transportes Terrestres), a quem a Lei 10.233/01 conferiu competência legal para a sua regulamentação e fiscalização, ainda decompõe os entraves em quatro aspectos: habilitação do operador de transporte multimodal – OTM; conhecimento de transporte; seguro; e controle aduaneiro (ANTAQ, 2022).

O Brasil está implementando programas para acelerar a transferência modal, investindo em infraestrutura ferroviária, leilão de terminais no âmbito do PPI (Programa de Parcerias de Investimentos) e investimentos em expansões e em novos terminais, e na digitalização de trâmites burocráticos nas operações (EPE, 2023b).

Programas de efficientização dos portos, como Portolog e Porto sem Papel, além de integração com o modo rodoviário, permitem maior eficiência do setor aquaviário (EPE, 2023b).

Sobre a cabotagem no Brasil, damos destaque para o Programa BR do Mar:

o objetivo é promover a entrada de novos operadores - para aumentar a concorrência e reduzir os custos de frete. O programa visa diminuir a burocracia do setor, permite contratos temporários para o uso da infraestrutura portuária e reduz os requisitos para que as empresas se registrem como navios brasileiros, mesmo que apenas temporariamente (EPE, 2021).

A estratégia é combinar regulação como pedágios e corredores prioritários a incentivos como subsídios para o modal ferroviário e aquaviário - os de menor consumo específico de energia e menos poluentes. As soluções devem ser harmonizadas entre diversos atores públicos e privados (ANTAQ, 2022).

3.5.5. Obras

As políticas de mitigação das emissões podem funcionar como o incentivo necessário para que o transportador opte pelos modais menos poluentes, desde que exista capacidade e qualidade suficiente nestes modais (Ávila, 2016).

Ou seja, considerando ou não a intermodalidade, é interessante que ocorram medidas que visem a ampliação das ferrovias e hidrovias brasileiras, almejando que cheguem às mesmas quantidades de rodovias ou com números próximos para que alcancem a mesma eficiência.

No Brasil, a rede de transporte ferroviário, assim como a aquaviária, é insuficiente, como podemos notar no esquema 3, e, geralmente, apenas uma empresa opera em cada corredor. As malhas ferroviárias foram privatizadas integrando cadeias logísticas verticalizadas por produto (ANTAQ, 2022).

Apenas recentemente questões como o compartilhamento das vias e o direito de passagem foram regulamentadas. Também há pouco tempo as operadoras ferroviárias se modernizaram e criaram subsidiárias que passaram a atuar com uma visão mais abrangente da logística de transporte (ANTAQ, 2022).

Esquema 3 - Infraestrutura brasileira de transportes em 2021

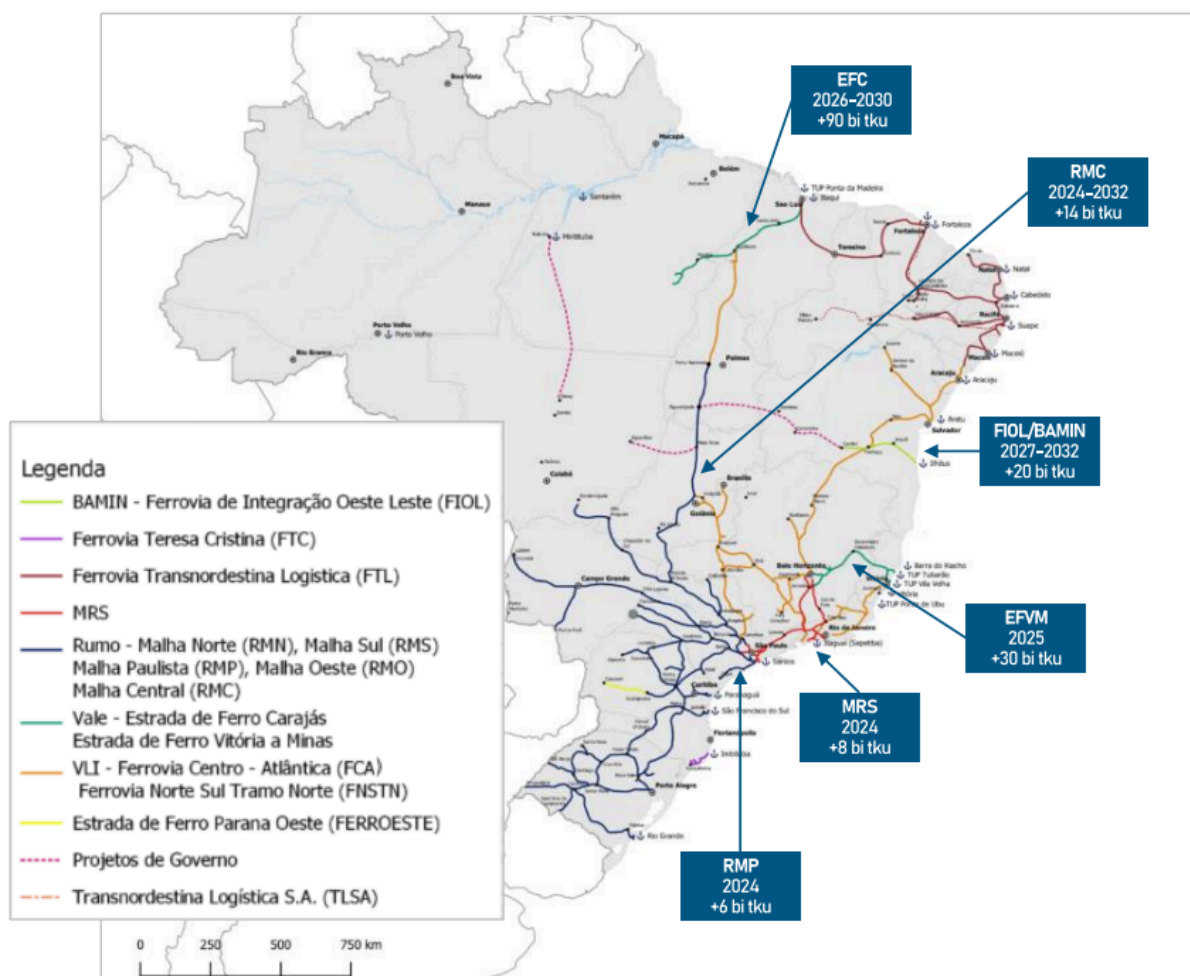


Fonte: EPE, 2023b.

No Brasil, há projetos para este decênio que visam a expansão da malha ferroviária já existente com base nas características geográficas e econômicas da região, demonstrados na Figura 8 e descritos abaixo, são eles (EPE, 2023b):

- Conclusão de obras na Ferrovia Norte-Sul (FNS) e Ferrovia de Integração Oeste-Leste (FIOL).
- Renovações antecipadas das concessões da Estrada de Ferro Carajás (EFC), Estrada de Ferro Vitória a Minas (EFVM), Ferrovia Centro-Atlântica (FCA), MRS, Rumo Malha Central (RMC) e Rumo Malha Oeste (RMO) permitem um aumento da capacidade de ramais existentes, e possibilitam investimentos em novos ramais.
- Duplicação da EFC e a construção do primeiro tramo da FIOL (Ferrovia de Integração Oeste-Leste), junto com a recuperação da EFVM, aumentam o transporte de minério por ferrovias.
- Investimentos na Rumo Malha Paulista (RMP), RMC, RMO, MRS, EFC e no tramo norte da FNS permitem o aumento do escoamento de grãos por ferrovias.

Figura 8 - Projeção de extensão na malha ferroviária brasileira



Fonte: EPE, 2023b.

Há também investimentos como a expansão de 17% da malha ferroviária útil no período decenal, de 29,9 mil km em 2021 para 34,9 mil km em 2032. A expansão da produção agrícola no Mato Grosso e na região do Matopiba poderá viabilizar mais outros projetos, com o intuito de escoar a crescente produção dessas regiões (EPE, 2023b).

A partir disso, entra em discussão quais caminhos tomar em relação ao transporte rodoviário e suas obras. Para 2023 o orçamento do Ministério dos Transportes previsto para obras rodoviárias chega a R\$23,24 bilhões, enquanto o de Portos e Aeroportos a R\$3,98 bilhões, porém estima-se ainda que o transporte ferroviário cresça em torno de 4,2% até 2035 (Maciel, 2023).

Observa-se assim que há projeções para que o transporte rodoviário sofra mudanças e para que as cargas sejam transportadas de outras maneiras, porém é perceptível o longo caminho a ser percorrido, que não será de um dia para o outro

que o governo e os empregadores farão essa adesão repentina (Maciel, 2023).

Entretanto, no cenário atual, Brasil está em 103º lugar entre 137 países no que se refere à qualidade das estradas. A qualidade das rodovias é um dos fatores que diretamente influenciam o consumo de combustíveis: o consumo pode aumentar entre 2,5% e 5% (EPE, 2021).

Por isso, além de construção de rodovias, deve-se pensar também na sua manutenção e em melhorias, como anexar postos de verificação (pesagens) para que os pesos máximos por eixo sejam respeitados (EPE, 2021; Andrade Fialho; Bertoncini, 2020).

Os custos socioambientais de construir rodovias, porém, principalmente na Amazônia, são sobejamente superiores aos da hidrovia. Contudo, muitos estudos de viabilidade não contabilizam esses custos, considerando apenas os custos de transporte dos produtores e não os impactos que as externalidades geram à sociedade (ANTAQ, 2022).

Estradas são vetores conhecidos de desmatamento na Amazônia, uma vez que passam por regiões que antes eram de difícil acesso e permitem que as pessoas parem com facilidade, ao contrário de hidrovias e ferrovias. Quando uma estrada é asfaltada na região, ela provoca uma valorização da terra e uma corrida para a ocupação ilegal de suas margens (ANTAQ, 2022).

O governo e a sociedade civil devem escolher qual é o nível de impacto negativo que estão dispostos a aceitar a fim de obterem determinado ganho econômico, lembrando que apenas parte desse ganho tende a beneficiar a comunidade local. Uma somatória de perdas econômicas, sociais e ambientais resume a maior parte dos projetos de construção ou melhoria de rodovias na Amazônia (ANTAQ, 2022).

3.5.6. Regulação, Programas e Políticas

Alguns autores defendem que a falta de regulação das emissões impede que o agente adote uma escolha sustentável em suas decisões de transporte, enquanto outros defendem que, embora a legislação ambiental regule as atividades empresariais, cabe às empresas o seu engajamento à legislação (Ávila, 2016).

Mudanças regulatórias simples como o Padrão Euro 5 e o Euro 6 e as normas ISO já se fazem significativas. As normas ISO 14040 e a ISO 14044 trazem princípios e requerimentos para avaliações do ciclo de vida das emissões de GEE,

enquanto que a ISO 14067, a PAS 2050 descrevem como quantificar a pegada de carbono de produtos (Barbosa, 2018).

O Padrão Euro 5 é um conjunto de normas para diminuir poluentes de veículos movidos a diesel. Iniciado em 2012, fez com que caminhões a diesel reduzissem o óxido de nitrogênio a partir de um processo de recirculação dos gases. Com isso, o diesel tipo S50 foi substituído pelo S10, com uma redução de até 90% na emissão de enxofre com menos depósitos no motor (Ávila, 2016).

A próxima etapa é o sistema Euro 6, também conhecido como a oitava fase do projeto, ou Proconve P8, que entrou em vigor em 2023 e prevê modificações nos motores automotivos, incluindo o tratamento dos gases de escapamento, além do sucateamento da frota antiga (EPE, 2023b; Mahlmeister, 2023).

O fabricante ou importador precisa comprovar o atendimento aos limites máximos de emissão de poluentes pelos intervalos de rodagem e de tempo de no mínimo 3000 mil quilômetros. A adaptação dos motores deve se dar em seis anos para veículos de carga entre 3,8 toneladas e 16 toneladas e 700 mil quilômetros e em sete anos para veículos de carga acima de 16 toneladas. A não conformidade com a norma acarretará em multas e penalidades (Mahlmeister, 2023).

Considerando que, pelo menos 6% da frota de caminhão tem mais de 30 anos, a introdução de programas de sucateamento nos oferece benefícios tanto para a qualidade do ar quanto para economia de combustível. Ele consiste em prover incentivos para operadores de frete “aposentarem” seus caminhões mais antigos e poluentes, em favor de veículos mais novos e eficientes (EPE, 2021).

O Governo Federal Brasileiro forneceu financiamento para a compra de novos caminhões por caminhoneiros autônomos mas não exigiu o sucateamento do caminhão antigo, tendo como consequência o aumento da frota nacional. Por isto, a concessão de financiamento para caminhoneiros autônomos no Brasil deve estar associada à comprovação do sucateamento de veículos antigos e da reciclagem de peças (EPE, 2021).

Em prática desde 24 de dezembro de 2019, o RenovaBio é uma política de Estado que funciona assim: anualmente, o Governo estabelece metas nacionais para dez anos, as quais são desdobradas para os distribuidores de combustíveis, que são a parte obrigada da política (ANP, [201?]).

Os produtores voluntariamente certificam sua produção e recebem, como resultado, notas de eficiência energético-ambiental. Essas notas são multiplicadas

pelo volume de biocombustível comercializado, o que resulta na quantidade de CBIOS (Crédito de Descarbonização) que determinado produtor poderá emitir e vender no mercado (ANP, [201?]).

Um CBIO equivale a 1 tonelada de emissões evitadas, que equivale a 7 árvores em termos de captura de carbono. Até 2029, serão compensadas as emissões de gases de efeito estufa que representam a plantação de 5 bilhões de árvores, o que equivale a todas as árvores existentes na Dinamarca, Irlanda, Bélgica, Países Baixos e Reino Unido juntas (ANP, [201?]).

Diferentemente de medidas tradicionais, o RenovaBio não propõe a criação de imposto sobre carbono, subsídios, crédito presumido ou mandatos volumétricos de adição de biocombustíveis a combustíveis, assim como não escolhe um biocombustível em particular, em detrimento do avanço de outro biocombustível. O RenovaBio também não altera os mandatos existentes (etanol anidro na gasolina e biodiesel no diesel) (ANP, [201?]).

Dito isso, é notável que todo o assunto por trás das emissões de carbono, engloba custos, onde muitas vezes o empregador preocupa-se apenas com seu lucro e a forma como obtém isso. Neste caso, um sistema que regulasse e limitasse as emissões de GEE pode ser um 'incentivo' para que os agentes optem por um modal ou combustível menos poluidor (Ávila, 2016).

3.5.7. Tributação e mercado de carbono

Emissões de gases de efeito estufa custam à sociedade. Algumas literaturas apresentam como um meio de desincentivar as atividades emissoras o de estabelecer um preço para essas emissões. Quando se estabelece um preço que traduza esses custos, atividades intensivas em emissões são desestimuladas, e estimula-se a busca por soluções que reduzam as emissões. Esse preço pode ser estabelecido por meio de um mercado ou de um tributo (Ávila, 2016; Leite, 2023).

Tem-se argumentado que a reforma tributária pode ser uma oportunidade de precificar o carbono por meio de um imposto. De fato, um imposto tem algumas vantagens: há maior clareza sobre os custos incorridos e conta-se com uma estrutura de arrecadação que já existe e funciona bem (Leite, 2023).

Mas as desvantagens podem ser maiores. Com um tributo, não há certeza a respeito de quanto as emissões vão cair. Ademais, poder-se-ia provocar um efeito colateral ainda mais grave: o Governo pode passar a depender das receitas

oriundas das emissões de carbono (Leite, 2023).

Outra medida apontada é a adoção de uma taxa sobre os combustíveis ou uma taxação diferenciada entre os modais de transporte. Porém, outros autores adicionam que a adoção da taxa pode levar a uma redução do PIB mundial e causar uma elevação dos custos de transporte (Ávila, 2016).

O mercado de carbono é um instrumento de precificação das emissões de gases de efeito estufa. Existe, portanto, para ajudar um país ou um estado a cumprir as suas metas de mitigação dessa forma de poluição. É uma solução já em prática no Brasil e em muitos outros países, cada um com suas nuances, mas todos combinam a regulação com a precificação das emissões (BNDES, 2022; Leite, 2023).

Em 2022, o Observatório do Clima delineou uma visão ainda mais ousada: dado que o Brasil possui um imenso estoque de terras degradadas — 79 milhões de hectares — que poderiam em parte ser usadas para recuperação e regeneração de florestas, e dado o peso do desmatamento na nossa curva de emissões, seria possível vislumbrar um país negativo em carbono já em 2045 (Potenza et al, 2023).

Os mercados de crédito de carbono (ou VERs – Verified Emission Reduction, em inglês) funcionam como um mecanismo de transferência de recursos. Permitem que países, empresas, organizações e indivíduos compensem as suas emissões de gases de efeito estufa (GEE) a partir da aquisição de créditos gerados por projetos de redução de emissões e/ou de captura de carbono (BNDES, 2022; Leite, 2023).

São exemplos de projetos que podem dar origem a créditos de carbono: agricultura sustentável, biocombustíveis, eficiência energética, preservação e reflorestamento, energias renováveis e reúso de resíduos. Em geral, cada unidade de crédito de carbono é igual a uma tonelada de dióxido de carbono (CO₂) ou seu equivalente em outros gases que deixou de ser emitida (BNDES, 2022).

Há dois tipos de mercado de carbono: regulado e voluntário. No esquema 4 a seguir, explicamos as diferenças entre eles e como funcionam as transações de créditos de carbono no mercado voluntário, que já está em funcionamento no Brasil (BNDES, 2022).

Tornar o carbono uma moeda de troca, pode tirar o foco do que importa e passar a mensagem de que o custo financeiro sobrepõe os ambientais e sociais. Não se pode falar de regulação do mercado de crédito de carbono sem considerar os problemas fundiários históricos do país. O que parece uma propriedade privada

nem sempre o é (STJ, 2024).

Desde 2008, já existem iniciativas sobre mercado de carbono em territórios indígenas, de acordo com a Fundação Nacional dos Povos Indígenas (Funai). Os direitos humanos de comunidades tradicionais, como povos indígenas e quilombolas podem ser colocados em risco (STJ, 2024).

Além disso, a possibilidade de cada país atuar independente, pode dificultar conexões entre eles, favorecer alguns países sobre outros e influenciar a movimentação e permanência de algumas corporações e investidores. Daí a importância da regulamentação bem-feita, para permitir a maior eficiência da economia, mas olhando para aqueles que são mais vulneráveis (STJ, 2024).

Esquema 4 - Como funciona o mercado de carbono



Fonte: (BNDES, 2022)

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao considerarmos a chamada intensidade de carbono, notamos que atividades poluentes não trazem benefícios de nenhum ponto de vista, seja financeiro, social ou ambiental, ou seja, a justificativa de que desenvolvimento econômico não caminha com a sustentabilidade é infundada. A comunidade ao todo se beneficia ao zelarmos pelo meio ambiente.

Quando abordamos a logística verde, devemos considerar algumas limitações que envolvem o fato de que “logística verde” é um assunto cada vez mais latente, trazendo com isso um bombardeio de informações, que se conversam ou não. É frequente a confusão com outros conceitos, como o de logística reversa.

Tendências surgem e desaparecem constantemente, por diversos motivos, parte por influência governamental, comprovações científicas, falta de apoio financeiro ou adaptação popular, acarretando em muitas incertezas. E parte pelas fortes exigências por parte dos consumidores relacionadas a custos, velocidade, confiabilidade e segurança.

A contribuição brasileira para o tema gestão logística verde é pequena, no entanto, o tema é imperativo para as organizações que buscam legitimação no mercado e desempenhos logístico e ambiental. Conforme mais debates acerca do tema são feitos, maiores as chances de se chegar a um consenso e, assim, podermos traçar estratégias universais.

A ausência de uma legislação e/ou regulamentação única ou minimamente consensual dificulta a mensuração de métricas e uso de parâmetros para nortear essas empresas que buscam se alinhar à sustentabilidade.

Estes parâmetros, ainda, são constantemente discutidos pela comunidade acadêmica e interessados - qual metodologia seguir? Como comparar metodologias e métricas? Quais conversões podem ser feitas? Como mensurar as emissões? Se deve considerar as emissões negativas (reversibilidade) e compensações geradas pelo reflorestamento e semelhantes? Como se dá a aquisição e verificação dos dados observacionais? Quais os indicadores? Qual a relevância, há consistência?

Há dificuldade de se fazer grandes generalizações ou extrapolações das conclusões para elaboração de novas teorias. É possível, por ora, realizar uma “generalização analítica”, ou transferência, onde a teorização de um determinado contexto pode ser utilizada para analisar outros contextos relacionados.

É complexo, acima de tudo, traçar comparações entre empresas globais e até mesmo as dentro do Brasil, um país de dimensões continentais, que apresenta grande diversidade de regimes climáticos e influências sobre seu clima. O que é certo é que, com tanta disponibilidade de recursos, o Brasil tem vantagens e capacidade de comandar as ações sustentáveis em espectro ambiental.

Para o mercado de carbono, nossas florestas podem gerar crédito que podem ser vendidos a outros países. Por meio de obras e melhorias em hidrovias e malhas ferroviárias, torna-se possível a utilização da intermodalidade passa a ser uma alternativa ao transporte rodoviário.

Importante ressaltar que, o modal rodoviário, além de apresentar maior emissão específica frente aos outros, atua como um vetor de desmatamento, ao contrário dos outros modais.

Há potencial para a produção de biocombustíveis, devido ao grande volume de áreas cultiváveis, esse sendo interessante pois, segundo metodologia indicada pelo IPCC para inventariar emissões nacionais, a queima é considerada neutra em emissões de CO₂.

A maioria das soluções não se apresentaram vantajosas em absoluto, muitas apresentam grandes desafios. Podem e devem se fortalecer com o uso de tecnologias, principalmente as de controle de dados e automação, sendo possível até mesmo a terceirização de atividades para fornecedores de sistemas de gestão.

Mas, para que a tecnologia seja usada, é necessário mão-de-obra qualificada e infraestrutura e, para isso, investimento, seja ele público e/ou privados.

Todas elas devem ser previamente discutidas, regulamentadas, fiscalizadas e revisadas com muita responsabilidade e certa frequência, pois os riscos sociais se fazem grandes, caso não sejam. Portanto, entende-se que os estudos de viabilidade dos projetos devem considerar, além das questões intrínsecas ao transporte, as externalidades positivas e negativas que eles causarão à sociedade.

Como abordado, companhias adotam as práticas da logística verde como o caminho mais fácil para melhorar sua reputação e proteger sua marca. A conscientização ambiental dos consumidores é crescente, assim, a adoção de práticas verdes pode dar à empresa uma vantagem competitiva e aumentar a demanda.

Devido a ausência de uma forte fiscalização que exija transparência em toda a

cadeia de produção, essas companhias podem ocultar dados importantes e apelar para a propaganda enganosa.

Há uma expressão em inglês, greenwashing usada para designar empresas que tentam lavar a imagem anunciando práticas “sustentáveis”, que mascaram ações contra o meio ambiente. É comum, nestes casos, o financiamento de ONGs superficialmente envolvidas em atividades ecológicas, enquanto a empresa apoiadora mantém atividades de largo e negativo impacto ambiental.

Sem a intenção de esgotar o tema, reforço que o escopo do presente trabalho é o transporte de cargas no Brasil, as soluções abordadas foram desenhadas para este caso e tendo em consideração o que mais estava desenvolvido ou tinha melhores projeções e relevância até o ano de 2024.

Sendo assim, há algumas lacunas e sugestões a serem incorporadas em trabalhos futuros no que tange à logística verde, como o transporte de passageiros e público e novas tecnologias que venham a surgir. Também abordar comparações financeiras e de custos, desenvolver minuciosamente outras soluções como o estudo da aerodinâmica dos automóveis e apresentar estudos de casos.

5. REFERÊNCIAS

ANP, 2017?. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. RenovaBio. *In: Programas.* [S. l.], [201-?]. Disponível em: <https://antigo.mme.gov.br/web/guest/secretarias/petroleo-gas-natural-e-biocombustiv eis/acoes-e-programas/programas/renovabio>. Acesso em: 8 jan. 2024.

ANTAQ, 2022. AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS (Brasil). Obstáculos Regulatórios ao Transporte Multimodal. Agenda Plurianual de Estudos 2021/2024, Brasília, p. 01-107, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/antag/pt-br/central-de-conteudos/estudos-e-pesquisas-da-antag-1 /RelatorioFinalMultimodalidade.pdf>. Acesso em: 6 jun. 2023.

ALVARENGA, T. H. P.; RODRIGUEZ, C. M. T. Reflexões sobre a logística verde na redução dos impactos ambientais. **Revista Eletrônica TECEN**, v. 11, n. 1, p. 47-53, 2018.

ANDRADE FIALHO, Mayara Helen Soares de; BERTONCINI, Bruno Vieira. Logística verde, roteirização verde e eficiência energética: uma análise de oportunidades a partir da evolução conceitual. *In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES.* 34º., 100% Digital, 16 a 21 nov. 2020. Anais [...], [s.l.]: Editora: Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes, 2020.p.1921-1932.

ÁVILA, Ednilson Sebastião de. Impactos de regulações ambientais sobre o transporte de cargas no Brasil: uma análise para o transporte de soja. 2016. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Ciências)–Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2016. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11132/tde-07062016-163230/pt-br.php>.

BARBOSA, L. P. **Sustentabilidade e competitividade na cadeia logística: redução de emissões de gases de efeito estufa com o uso do modal de transporte cabotagem:** estudo de caso. 2018. 78f. Tese de Doutorado – Fundação Getúlio Vargas, São Paulo, 2018.

BARBOSA, S. L.; MOORI, R. G.; MADEIRA, A. B. Fatores que colaboram para o desenvolvimento da logística verde nos operadores logísticos. *REUNIR Revista de Administração Contabilidade e Sustentabilidade*, [S. l.], v. 9, n. 2, p. 20-29, 2019. DOI: 10.18696/reunir.v9i2.738. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Adriana-Madeira/publication/337944375_Fatores_que_colaboram_para_o_desenvolvimento_da_logistica_verde_nos_operadores_logisticos/links/5df6ec5da6fdcc28372462ae/Fatores-que-colaboram-para-o-desenvolvimento-da-logistica-verde-nos-operadores-logisticos.pdf. Acesso em: 11 jul. 2023.

BARROS, Talita Degrossi; JARDINE, José Gilberto. Biodiesel. *In: EMBRAPA (Brasil). Agroenergia.* [S. l.], 8 dez. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/agroenergia/biodiesel>. Acesso em: 21 jan. 2024.

BNDES, 2020. **Gás para o desenvolvimento – Perspectivas de oferta e**

demanda no mercado de gás natural do Brasil (relatório 2019). Rio de Janeiro: BNDES, 2020. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/conhecimento/publicacoes/relatorios/relatorio-gas-2020>. Acesso em 20 de dezembro de 2023.

BNDES, 2021. **Gás para o desenvolvimento – Perspectivas de oferta e demanda no mercado de gás natural do Brasil (relatório 2020)**. Rio de Janeiro: BNDES, 2021. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/20581/1/Relatorio_Gas_Desenvolvimento%20Final.pdf. Acesso em 03 de agosto de 2024.

BRASIL, 2020. Apresentação da Contribuição Nacionalmente Determinada do Brasil perante o Acordo de Paris. Gov. br, 2020. Disponível em: https://www.gov.br/mre/pt-br/canais_atendimento/imprensa/notas-a-imprensa/2020/apresentacao-da-contribuicao-nacionalmente-determinada-do-brasil-perante-o-acordo-de-paris. Acesso em 17 jan. 2024.

CLAES, J. et al. Como as maiores empresas do mundo se posicionam em natureza. 13 set. 2022. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/featured-insights/destaques/como-as-maiores-empresas-do-mundo-se-posicionam-em-relacao-a-natureza/pt>. Acesso em: 7 dez. 2023.

EPE, 2021. Transporte Rodoviário de Cargas no Brasil - Benchmarking Internacional. Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Publicacoes_Arquivos/publicacao-626/IEA-EPE_Brazilian_Road_Freight_Transport_Benchmarking-2021.09.09%20\[PT\].pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Publicacoes_Arquivos/publicacao-626/IEA-EPE_Brazilian_Road_Freight_Transport_Benchmarking-2021.09.09%20[PT].pdf). Acesso em: 2 de dez. 2023.

EPE, 2022. Conceitos de eficiência energética: A importância do bom entendimento para o planejamento. Rio de Janeiro: EPE. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Publicacoes_Arquivos/publicacao-664/EPE_FactSheet_Conceitos%20de%20EE.pdf. Acesso em: 1 ago. 2024.

EPE. (2023a). Atlas da Eficiência Energética Brasil 2023 - Relatório de Indicadores. Rio de Janeiro: EPE. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Publicacoes_Arquivos/publicacao-788/Atlas%20da%20Efici%C3%AAncia%20Energ%C3%A9tica%20Brasil%202023.pdf. Acesso em: 05 nov. 2023.

EPE. (2023b). Estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia 2032: Demanda Energética do Setor de Transportes. Rio de Janeiro: EPE. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Publicacoes_Arquivos/publicacao-689/topico-640/Caderno%20de%20Demanda%20de%20Transportes_PDE%202032.pdf. Acesso em: 03 nov. 2023.

FERREIRA, Gleriani Torres Carbone. INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS BRASILEIRAS CAPAZES DE CONTRIBUIR PARA A REDUÇÃO DAS EMISSÕES DE CO2 DOS VEÍCULOS AUTOMOTORES. **Sustentabilidade e Tecnologias de Baixo Carbono no Brasil** (), p. 12, 2011.

GOLDBERG, Simone. Cabo de guerra na formação de preço. **Valor Setorial**, [S. l.], 30 mar. 2023. Combustíveis, p. 14-20. Disponível em: <https://valor.globo.com/revistas/#/edition/187507?page=14&searching=true&ion=1>. Acesso em: 6 jun. 2023.

IBAMA. NOTA INFORMATIVA Nº 02/2013/CGPEG/DILIC/IBAMA. EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA: Procedimentos adotados e perspectivas em relação aos impactos ambientais das emissões de gases de efeito estufa nos empreendimentos marítimos de exploração e produção de petróleo e gás., Rio de Janeiro - RJ, 2 set. 2013. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/laf/procedimentos-e-servicos/arquivos/petroleo-e-gas/notas-tecnicas/0-2013-02-nota-informativa-emissoes-de-gases-de-efeito-e-stufa.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2024.

INFOGRÁFICO: como funcionam os mercados de carbono?. [S. l.], 8 nov. 2022. Disponível em: <https://agenciadenoticias.bndes.gov.br/blogdodesenvolvimento/detalhe/Infografico-como-funcionam-os-mercados-de-carbono/>. Acesso em: 11 jun. 2024.

LEITE, Henrique Paranhos Sarmiento. O MERCADO DE CARBONO EXPLICADO EM PERGUNTAS E RESPOSTAS. *In*: CÂMARA DOS DEPUTADOS (Brasil, Distrito Federal, Brasília). Estudos legislativos. [S. l.], 1 set. 2023. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/atividade-legislativa/estudos-e-notas-tecnicas/publicacoes-da-consultoria-legislativa/arquivos-pdf/o-brasil-se-prepara-para-o-mercado-de-carbono>. Acesso em: 17 jan. 2024.

MACIEL, Luiz. Busca de recursos exige criatividade. **Valor Setorial**, [S. l.], 30 mar. 2023. Conjuntura, p. 08-12. Disponível em: <https://valor.globo.com/revistas/#/edition/187507?page=6&ion=1>. Acesso em: 5 jun. 2023.

MAHLMEISTER, Ana Luiza. Rota revista para conter emissões. **Valor Setorial**, [S. l.], 30 mar. 2023. ESG, p. 26-27. Disponível em: <https://valor.globo.com/revistas/#/edition/187507?page=26&ion=1>. Acesso em: 7 jun. 2023.

OLIVEIRA, M. S. C. Estratégia de descarbonização da rota de transporte Inbound: uma análise na indústria de cosméticos. 2022.

POTENZA, R. F. et al. Análise das emissões brasileiras de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas climáticas do Brasil: 1970-2020. Brasília: SEEG, 2021. Disponível em: https://www.oc.eco.br/wp-content/uploads/2021/10/OC_03_relatorio_2021_FINAL.pdf. Acesso em: 17 jul. 2023.

POTENZA, R. F. et al. Análise das emissões brasileiras de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas climáticas do Brasil: 1970-2021. Brasília: SEEG, 2023. Disponível em: <https://www.oc.eco.br/wp-content/uploads/2023/03/SEEG-10-anos-v4.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2023.

RAMMÊ, Rogério Santos. A política da justiça climática: conjugando riscos, vulnerabilidades e injustiças decorrentes das mudanças climáticas. *Revista de Direito Ambiental*, v. 65, p. 367, 2012.

SANTOS, J. S. et al. Logística verde: conceituação e direcionamentos para aplicação. ***Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental***, p. 314-331, 2015.

SEMINÁRIO NACIONAL DE BIOCOMBUSTÍVEIS E QUALIDADE DE PRODUTOS, 3., 2023, Online. *Energy Business Scenarios [...]*. [S. l.: s. n.], 2023. 41 p. Disponível em:

<https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/apresentacoes-palestras/2023/arquivos/3-seminario-sbq/27-03-2023-tema5-unicamp.pdf>. Acesso em: 19 jan. 2024.

SILVA, R. W. da C.; PAULA, B. L. de. Causa do aquecimento global: antropogênica versus natural. *Terrae Didatica*, Campinas, SP, v. 5, n. 1, p. 42–49, 2015. DOI: 10.20396/td.v5i1.8637501. Disponível em:

<https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/td/article/view/8637501>. Acesso em: 31 jul. 2023.

SOUSA, M. A. P. **Logística Sustentável**: Estudo de estratégias para a redução das emissões de dióxido de carbono (CO₂) no transporte rodoviário. 2022. 21f. Artigo (Tecnólogo em Logística) – Universidade Federal do Tocantins, Araguaína, 2002.

SOUZA, Camila Alves de et al. Aplicabilidade da logística reversa no contexto das organizações: fonte de vantagens competitivas e redução de impactos ambientais. *Anais VIII SEGeT–Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia*, Resende, 2011.

STJ (Brasília, Distrito Federal, Brasil). Seminário promovido pelo STJ discutiu regulação, desafios e oportunidades do mercado de carbono. *In: Notícias*. [S. l.], 16 maio 2024. Disponível em:

<https://www.stj.jus.br/sites/portalp/Paginas/Comunicacao/Noticias/2024/16052024-Seminario-promovido-pelo-STJ-discutiu-regulacao--desafios-e-oportunidades-do-mercado-de-carbono.aspx>. Acesso em: 1 ago. 2024.

XAVIER, Maria Emília Rehder; KERR, A. A. F. S. O EFEITO ESTUFA E AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS. Instituto de Física da Universidade de São Paulo. Disponível em: http://www.fap.if.usp.br/~akerr/efeito_estufa.pdf. Acesso em 3 de jul 2024, v. 22, 2013.