



Universidade de Brasília (UnB)  
Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade e Gestão de Políticas Públicas (FACE)  
Departamento de Ciências Contábeis e Atuariais (CCA)  
Bacharelado em Ciências Contábeis

**ARTHUR SAMUEL DA SILVA ABREU**

**Custo Social da Emissão de Carbono nos Veículos Automotores do Brasil**

Brasília, DF  
2025

Professora Doutora Rozana Reigota Naves  
Reitora da Universidade de Brasília

Professor Doutor Marcio Muniz de Farias  
Vice-Reitor da Universidade de Brasília

Professor XXXXX  
Decano de Ensino de Graduação

Professor Doutor José Márcio Carvalho  
Diretor da Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Gestão de Políticas Públicas

Professor Doutor Wagner Rodrigues dos Santos  
Chefe do Departamento de Ciências Contábeis e Atuarias

Professor XXXXX  
Coordenador de Graduação do curso de Ciências Contábeis - Diurno

Professor Doutor XXXXX  
Coordenador de Graduação do curso de Ciências Contábeis – Noturno

ARTHUR SAMUEL DA SILVA ABREU

**Custo Social da Emissão de Carbono nos Veículos Automotores do Brasil**

Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia ou Artigo) apresentado ao Departamento de Ciências Contábeis e Atuariais da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de Brasília como requisito parcial de obtenção do grau de Bacharel em Ciências Contábeis.

Prof. Responsável:  
Paulo Roberto Barbosa Lustosa

Linha de pesquisa:  
Contabilidade, organizações e sociedade

Área:  
Controladoria

Brasília, DF  
2025

CIP - Catalogação na Publicação

Abreu, Arthur.  
AA162c   Custo Social da Emissão de Carbono nos  
Veículos Automotores do Brasil / Arthur Abreu;  
Orientador: Paulo Roberto Barbosa Lustosa. -- Brasília,  
2025.  
37 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação - Ciências  
Contábeis) -- aqui Universidade de Brasília, 2025.

1. Contabilidade, organizações e sociedade. I. Barbosa  
Lustosa, Paulo Roberto, orient. II. Título.

Arthur Samuel da Silva Abreu

Custo Social da Emissão de Carbono nos Veículos Automotores do Brasil

Trabalho de Conclusão de Curso (Artigo) apresentado ao Departamento de Ciências Contábeis e Atuariais da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de Brasília como requisito parcial de obtenção do grau de Bacharel em Ciências Contábeis.

---

Prof. Paulo Roberto Barbosa Lustosa, Dr.  
Orientador  
Departamento de Ciências Contábeis e Atuariais  
Universidade Brasília (UnB)

---

Prof. Cláudio Moreira Santana, Me.  
Examinador  
Departamento de Ciências Contábeis e Atuariais  
Universidade de Brasília (UnB)

BRASÍLIA  
2025

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço imensamente aos meus pais, cujo apoio foi fundamental para que tudo fosse possível em minha vida. Saibam que são as pessoas em que mais me inspiro para conquistar tudo o que desejo.

Aos amigos, que, mesmo distantes, me incentivaram a concluir este importante passo em minha vida, saibam que sou muito grato por cada um de vocês.

À minha namorada, que, com sua paciência e inteligência, não me deixou desistir em nenhum momento, me auxiliando diretamente na conclusão desta pesquisa.

Aos colegas e amigos da UnB, que estiveram ao meu lado desde o primeiro dia em que cheguei à universidade, me trazendo momentos de alegria e aprendizados que, sem dúvida, foram essenciais para que eu chegasse até aqui.

## **RESUMO**

### **Contexto**

O setor de transportes no Brasil é um dos principais responsáveis pelas emissões de gases de efeito estufa, impactando significativamente o meio ambiente e a economia.

### **Objetivo**

Este estudo investiga o custo social da emissão de carbono pelos veículos automotores no Brasil, analisando a frota nacional e aplicando metodologias para quantificar as emissões de CO<sub>2</sub> e seu custo de remoção.

### **Metodologia**

Este estudo utiliza dados do Ministério dos Transportes para analisar a frota nacional e sua intensidade de uso. As emissões de CO<sub>2</sub> foram calculadas com base no fator de emissão dos combustíveis e na quilometragem média anual dos veículos. O custo social da remoção do carbono foi estimado com base na precificação do carbono adotada em estudos internacionais.

### **Resultados**

Os resultados indicam que, em 2024, o custo social da remoção do carbono emitido pelos veículos atingiu 18 bilhões de dólares anuais. Caminhões e ônibus, apesar de representarem uma pequena parcela da frota, são responsáveis por 44% desse custo devido ao alto consumo de diesel e quilometragem alta.

### **Conclusões**

Essa pesquisa reforça a necessidade de políticas públicas para diminuir esses impactos, incluindo a eletrificação da frota, a criação de um mercado regulado de carbono e a taxa progressiva de combustíveis fósseis.

**Palavras-chave:** Custo social do carbono, emissões de CO<sub>2</sub>, transporte, mercado de carbono, sustentabilidade.

## **ABSTRACT**

### **Context**

**The transportation sector in Brazil is one of the main contributors to greenhouse gas emissions, significantly impacting the environment and the economy.**

### **Objective**

This study investigates the social cost of carbon emissions from motor vehicles in Brazil, analyzing the national fleet and applying methodologies to quantify CO<sub>2</sub> emissions and their removal costs.

### **Methodology**

This study uses data from the Ministry of Transport to analyze the national fleet and its usage intensity. CO<sub>2</sub> emissions were calculated based on fuel emission factors and the average annual mileage of vehicles. The social cost of carbon removal was estimated using carbon pricing adopted in international studies.

### **Results**

The results indicate that, in 2024, the social cost of removing carbon emitted by vehicles reached 18 billion dollars annually. Trucks and buses, despite representing a small portion of the fleet, account for 44% of this cost due to high diesel consumption and mileage.

### **Conclusions**

This research reinforces the need for public policies to mitigate these impacts, including fleet electrification, the creation of a regulated carbon market, and progressive taxation of fossil fuels.

**Keywords: Social cost of carbon, CO<sub>2</sub> emissions, transportation, carbon market, sustainability.**

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Níveis de CO2 na atmosfera .....	16
Gráfico 2 – Quantidade de veículos.....	20
Gráfico 3 – Proporção das emissões por categoria de veículos.....	27
Gráfico 4 – Proporção de emissões de CO2 por região do Brasil .....	29

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Distribuição dos veículos no Brasil, por tipo e região .....	21
Tabela 2 – Custo social da remoção de CO2.....	26
Tabela 3 – Emissões de CO2 por região .....	28

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Categorização dos veículos .....	19
Quadro 2 – Intensidade do uso de veículos por Km/ano (média) .....	23
Quadro 3 – Exemplo de cálculo real custo social da remoção do carbono em KG.....	25

## **LISTA DE SIGLA E ACRÓNIMOS**

CO<sub>2</sub> - Dióxido de carbono

CO<sub>2</sub>e - equivalentes de carbono

CSC - Custo Social Do Carbono

GEE - Gases de Efeito Estufa

OMM -Organização Meteorológica Mundial

## SUMÁRIO

RESUMO .....	5
ABSTRACT .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
LISTA DE GRÁFICOS .....	6
LISTA DE TABELAS .....	8
LISTA DE QUADROS .....	9
LISTA DE SIGLA E ACRÓNIMOS .....	10
1 INTRODUÇÃO .....	12
2 REFERENCIAL TEORICO .....	13
2.1 Conceito De Custo Social Do Carbono (CSC) .....	13
2.2 Classificação das Emissões de GEE: do Escopo 1 ao Escopo 3.....	14
2.3 Monitoramento Global das Emissões de Carbono .....	15
2.4 O Valor de Mercado do Carbono .....	16
3 PROCEDER METODOLÓGICO .....	18
3.1 Frota de Veiculos .....	18
3.2 Equação Para o Cálculo das Emissões em 2024 .....	22
3.3 Equação Para o Cálculo do Custo de Remoção do Carbono .....	23
4 RESULTADOS E ANÁLISES.....	26
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	31
REFERÊNCIAS .....	31

# 1 INTRODUÇÃO

O Brasil é reconhecido por sua significativa produção de energia limpa. Segundo a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (2024), o Brasil tem 93,1% de energia proveniente de fontes renováveis como a energia hidrelétrica, solar e a produção de biocombustíveis, com destaque para o etanol. Contudo, essa realidade contrasta com o setor de transportes, onde cerca de 118 milhões de veículos automotores configuram uma das principais fontes de emissões de gases de efeito estufa no país (Brasil, 2024).

Globalmente, o setor de transportes é responsável por mais de sete bilhões de toneladas métricas de dióxido de carbono por ano, sendo este setor o segundo maior emissor de CO<sub>2</sub> em 2023, atrás apenas da indústria de energia, conforme o Banco de Dados de Emissões para Pesquisa Atmosférica Global.

Com esse cenário podemos destacar a forte dependência do transporte rodoviário, impulsionada por investimentos históricos cada vez maiores, que acaba agravando o cenário e reforçando os impactos ambientais e sociais das emissões. Apesar dos avanços tecnológicos, como a introdução de veículos elétricos e híbridos, o crescimento contínuo da frota nacional torna as emissões de carbono um problema cada vez mais preocupante, exigindo análises mais aprofundadas sobre suas consequências sociais.

Isto posto, surge a necessidade de investigar a emissão de carbono dos veículos automotores no Brasil, permitindo assim mensurar o custo social<sup>1</sup> para remoção desse carbono da atmosfera<sup>2</sup>.

Para tanto, foram coletados dados do Ministério do Transporte sobre a quantidade e tipos de veículos a combustão atualmente em circulação no Brasil. Com essas informações, podemos separar os veículos em diferentes categorias (como automóveis, caminhões, ônibus e motocicletas) e analisarmos a média de distância que cada veículo faz por cada categoria. Com esses dados, foi possível estimar o custo social ligado à emissão de carbono gerado por esses veículos. Além disso, essa análise permite identificar os segmentos mais impactantes em termos de emissões e direcionar políticas públicas e estratégias de mitigação de forma mais eficaz.

Dos resultados obtidos neste estudo, observou-se que o custo social para remoção do carbono emitido pela frota brasileira de setembro de 2024 alcançou 18 bilhões de dólares por ano. Esse valor foi calculado com base na quantidade total de CO<sub>2</sub> emitida por veículos a combustão, considerando metodologias de cálculo das emissões e de precificação de carbono. A análise por categoria de veículos revelou que caminhões e ônibus, embora representem apenas 5% da frota nacional, são responsáveis por 44% do custo total, devido ao alto consumo de diesel e à quilometragem média anual muito elevada. Em contrapartida, automóveis e motocicletas, que compõem 82% da frota, contribuíram com 21% do custo, refletindo a combinação entre o baixo consumo de combustível e do fator de emissão.

Esta pesquisa contribui muito para o debate sobre sustentabilidade e emissões no setor de transportes brasileiro ao quantificar o custo social ligados as emissões de carbono, que é de

---

<sup>1</sup> A expressão “custo social”, no sentido usado pela Economia (e.g., Coase, 1961), inclui os custos de produção e os custos das externalidades negativas. Neste trabalho, esse termo se restringe apenas aos custos das externalidades negativas da poluição oriunda de veículos automotores movidos a combustíveis fósseis.

<sup>2</sup> Nesse trabalho, o custo social da poluição gerada por veículos automotores a combustão será calculada pelo que seria gasto para restaurar o ambiente à condição anterior a poluição.

aproximadamente 18 bilhões de dólares anuais. Os resultados também fornecem evidências para a formulação de políticas públicas, como a taxação progressiva de combustíveis fósseis e a criação de fundos de compensação ambiental.

## **2 REFERENCIAL TEORICO**

### **2.1 Conceito De Custo Social Do Carbono (CSC)**

O CSC é um método muito usado para avaliar o impacto econômico das emissões de CO<sub>2</sub>. Ele calcula os danos diretos e indiretos que foram gerados por uma tonelada adicional de dióxido de carbono, considerando tanto os impactos presentes quanto os futuros. Isso faz com que o CSC se torne um parâmetro crucial para o desenvolvimento de políticas de redução dessa emissão (Fleurbaey, 2019).

O CSC é tido como uma das principais discussões hoje no mundo quando falamos de mudanças climáticas. Quando se observam as empresas responsáveis pela grande emissão de CO<sub>2</sub>, nota-se a ausência de uma obrigatoriedade para que arquem com os impactos gerados por suas atividades econômicas.

Estudos como o de Souza et al. (2023) demonstram que a produção de energia renovável está associada à redução do CSC, sugerindo que investimentos em fontes limpas podem mitigar custos ambientais. Por outro lado, municípios com maior PIB apresentam valores mais elevados de carbono, indicando uma relação complexa entre desenvolvimento econômico e externalidades ambientais.

Ao abordar os impactos econômicos e sociais das emissões, é possível identificar as externalidades negativas que hoje mais afetam o bem-estar coletivo. A prioridade nessa análise das políticas públicas e empresariais é fundamental para diminuir os danos ao meio ambiente e à sociedade, contribuindo para um caminho de desenvolvimento sustentável. Como afirma DIAS (1994), custo social das emissões é:

Os custos sociais estão relacionados aos efeitos secundários da existência dos transportes, sendo gerados por "poluidores" que afetam a coletividade e não são pagos por esses responsáveis, ou seja, não são internalizados por quem os causou. Por isso, também são conhecidos como custos externos. Esses custos gerados pelo setor de transportes incluem, entre outros fatores, poluição atmosférica, acidentes, ruído e congestionamento. (DIAS, 1994, p. 5).

Vale ressaltar que parte significativa dos danos climáticos como perda de biodiversidade, impactos na saúde e riscos existenciais são de difícil monetização, exigindo critérios éticos para sua valoração no cálculo do CSC (Fleurbaey et al., 2019).

Grande parte do custo social hoje não é atribuído diretamente às empresas ou ao preço direto dos produtos vendidos, exemplo disso são os veículos automotores hoje no Brasil. A internalização citada por DIAS (1994) pode ocorrer por meio de políticas como a criação de impostos sobre o carbono emitido para as empresas ou a exigência de pagamentos de acordo com sua emissão.

## 2.2 Classificação das Emissões de GEE: do Escopo 1 ao Escopo 3

O conceito de emissão de carbono se refere à liberação de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) na atmosfera, principalmente devido a atividades humanas como por exemplo o transporte. A emissão de carbono está diretamente associada à pegada de carbono, que pode ser acumulada em nível produto, atividade, cidade, região ou país. A pegada de carbono pode ser medida de forma direta ou indireta. Na pegada direta, o foco é na produção dos GEE<sup>3</sup> de forma direta, pela fonte que o gerou. Na pegada indireta, o foco é nos produtos e serviços que são consumidos. Por essa razão, O *GHG Protocol*, que é a metodologia mais conhecida para o cálculo das emissões de GEE<sup>3</sup> pelas corporações, adota uma visão mista de mensuração, na perspectiva da geração (emissões diretas, denominadas de Escopo 1), e pela ótica do consumo (emissões indiretas, denominadas de Escopo 2 e Escopo 3).

O *GHG Protocol* é uma parceria entre grandes ONGs e governos com o objetivo de estabelecer padrões internacionais para contabilizar e gerar relatos de emissões dos gases de efeito estufa (GEE), com o objetivo de promover a adoção de práticas para mitigar as emissões e contribuir para alcançar um planeta com baixa emissão desses gases. Este protocolo classificou as emissões em escopos, sendo eles o escopo 1, 2 e 3. Essa classificação auxilia a entender quais são as fontes de emissões de uma empresa, ajudando assim o entendimento para a redução dele.

O escopo 1 é classificado como emissões diretas e se refere as emissões de gases de efeito estufa (GEE) vindas de fontes que são de propriedade ou controladas pela empresa como por exemplo a combustão de combustível em caldeiras industriais, veículos ou equipamentos próprios e os processos industriais da empresa que liberam o GEE diretamente.

Observa-se que o escopo 1 é de grande importância para monitorar e calcular essas emissões, pois são as emissões mais diretas que estão relacionadas a operação principal da empresa. A implementação de estratégias para reduzir as emissões de escopo 1 é essencial, visto que essas emissões são mais fáceis de identificar e controlar, permitindo ações mais eficazes na mitigação de impactos ambientais.

O escopo 2, por sua vez, refere-se às emissões indiretas associadas ao consumo de energia. Embora a energia adquirida e utilizada pela empresa não seja gerada diretamente por ela, as emissões ocorrem nas instalações do fornecedor de energia. No entanto, essas emissões são atribuídas às empresas que consomem a energia, pois a quantidade de gases emitidos está diretamente proporcional à demanda de energia da empresa.

Dessa forma, por mais que a empresa que adquire essa energia não possa controlar diretamente a emissão nas instalações do fornecedor, ela pode influenciar a redução dessas emissões diminuindo seu consumo de energia na empresa, e ao escolher práticas internas que reduzam o seu consumo de energia (como por exemplo a implementação de tecnologias mais sustentáveis ou a mudança para fontes de energia renováveis), a empresa consegue reduzir sua demanda, e assim, diminuir as emissões relacionadas à geração de energia.

Por fim temos o escopo 3, que é classificado como outras emissões de GEE indiretas, que por sua vez são resultantes dos produtos que são oferecidos pelas empresas. Esse escopo inclui, por exemplo, o transporte e a distribuição de produtos, a produção e transformação de

---

<sup>3</sup> Quando o trabalho menciona Gases de Efeito Estufa (GEE), é importante esclarecer que, para fins desta pesquisa, os GEE serão tratados como equivalentes de carbono (CO<sub>2</sub>e).

produtos adquiridos, viagens, descarte de resíduos e principalmente o uso de produtos vendidos, como é o caso dos veículos automotores.

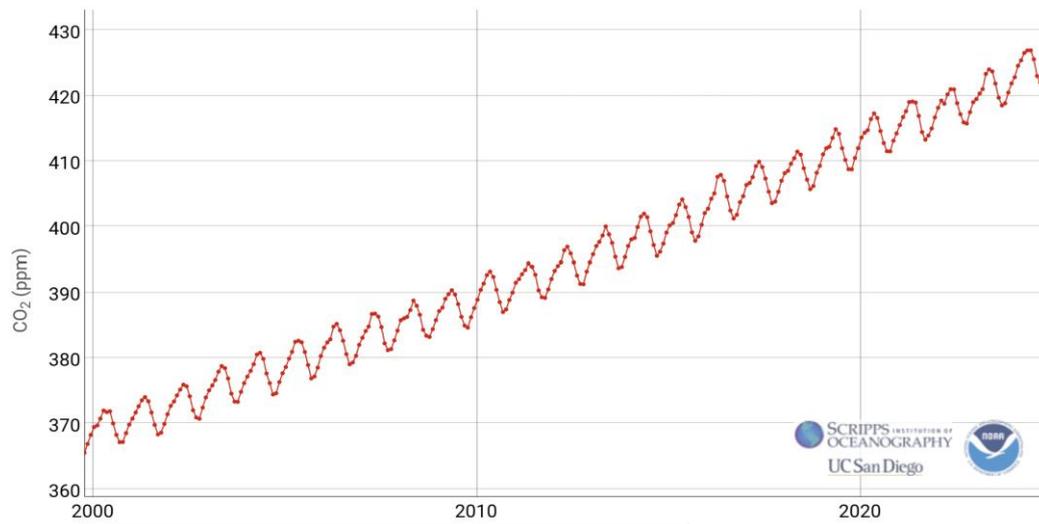
Os veículos a combustão que são vendidos pelas empresas são um caso interessante. Além de serem uma grande fonte de emissões indiretas, associadas a cada uma das milhares de peças que compõem o veículo, são também uma fonte de emissões diretas, pois a energia que possibilita o movimento do veículo resulta da queima de combustíveis fósseis (principalmente, gasolina e óleo diesel) que geram carbono para a atmosfera. Portanto, para a emissão direta dos veículos ser mensurada e reportada no sistema contábil das empresas é necessário a fábrica estimar quanto cada veículo geraria de carbono ao longo de toda a sua vida útil e reportar essa informação como escopo 3, que é um processo bastante complexo e impreciso. É bem mais simples, como proposto neste trabalho, estimar diretamente a emissão dos veículos a combustão, como se o conjunto de pessoas físicas proprietárias dos veículos fossem uma entidade contábil, responsável pela emissão direta.

Segundo o Departamento de Energia dos EUA (2021) para os carros movidos a gasolina, cerca de 9% das emissões correspondem a fabricação do veículo, 17% vêm da produção e distribuição de combustível que o veículo vem a utilizar, e 74% das emissões de escapamento durante o uso. Isto acaba evidenciando a importância das empresas em calcular as suas externalidades negativas, principalmente as do setor automotivo, adotando assim políticas contábeis e práticas ambientais para a redução dos seus impactos.

Neste sentido temos no Brasil O Programa Brasileiro GHG Protocol, que foi criado em 2008 com o objetivo de adaptar o método GHG Protocol para o Brasil, ajudando as empresas a calcular e dizer quais as suas emissões de gases do efeito estufa (GEE). O programa atua na promoção a cultura de cálculo das emissões no Brasil, fornecendo as ferramentas possíveis dos padrões internacionais para a contabilização das emissões de GEE por parte das empresas.

### **2.3 Monitoramento Global das Emissões de Carbono**

Os níveis de concentração de CO<sub>2</sub> no mundo atingem níveis extremamente altos. Segundo dados do Laboratório de Monitoramento Global (GML, na sigla em inglês) da Administração Nacional Oceânica e Atmosférica (NOAA, na sigla em inglês), responsável pela pesquisa e monitoramento dos gases de efeito estufa, os níveis globais de CO<sub>2</sub> na atmosfera superam os 420 ppm (partes por milhão). O cálculo de ppm é feito medindo a quantidade de moléculas de CO<sub>2</sub> em um milhão de moléculas de ar seco, com medições realizadas na camada atmosférica entre 8 e 12 quilômetros acima do solo. Essa medida permite acompanhar com precisão as variações na concentração de gases na atmosfera e avaliar seu impacto no aquecimento global. Os dados de CO<sub>2</sub> na atmosfera são coletados em Mauna Loa (Havai), conforme detalhado no Gráfico 1, que ilustra a evolução dessas concentrações ao longo do tempo.

Gráfico 1 – Níveis de CO<sub>2</sub> na atmosfera

Fonte: Laboratório de Monitoramento Global (GML, na sigla em inglês) 2024

Como podemos observar no gráfico acima, os níveis de CO<sub>2</sub> na atmosfera aumentaram de 365 ppm em 2002 para mais de 420 ppm atualmente, um crescimento de 15%. Esse aumento mostra como os impactos das ações humanas comprometem o planeta, especialmente com a queima de combustíveis fósseis.

Segundo dados da Organização Meteorológica Mundial (OMM) o dióxido de carbono é um dos principais gases de efeito estufa (GEE) no planeta, ele é responsável por cerca de 64% do efeito de aquecimento do clima, principalmente por fontes oriundas da queima de combustíveis fósseis.

Se os níveis de CO<sub>2</sub> continuarem a crescer dessa forma, a Administração Nacional Oceânica e Atmosférica (NOAA) prevê que, até 2100, a concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera possa atingir entre 540 e 970 ppm. Para HANSEN (2008), a concentração de CO<sub>2</sub> precisa ser reduzida e estabilizada para um nível abaixo de 350 ppm para que assim evitemos os efeitos mais graves com as mudanças climáticas e garantimos um clima estável. Esse fato pode ser alcançado com a diminuição do uso de combustíveis fósseis.

## 2.4 O Valor de Mercado do Carbono

O preço do carbono desempenha um papel fundamental no combate às mudanças climáticas, pois atribui um custo às emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Essa medida tem como objetivo incentivar a redução da emissão desses gases. Esse preço pode ser definido de diferentes maneiras, como por meio de mercados de carbono onde créditos são comprados e vendidos ou de impostos que cobram mais daqueles que emitem maiores quantidades de poluentes. Essa abordagem busca mostrar os custos reais que essas emissões causam ao planeta e estimular soluções melhores. Para isso, existem quatro instrumentos principais para ajustar o preço do carbono (ParlAmericas, 2017):

1. **Impostos sobre as emissões:** Tributação direta sobre os emissores.
2. **Sistemas de negociação de emissões ou cap-and-trade:** Estabelecimento de limites de emissões e criação de um mercado para negociação de créditos de carbono.

3. **Impostos sobre combustíveis ou insumos:** Tributação direta sobre combustíveis fósseis.
4. **Instrumentos híbridos:** Combinação de impostos sobre emissões e sistemas de cap-and-trade.

Esses mecanismos visam incorporar os impactos financeiros reais que tais emissões geram para o planeta, além de incentivar o desenvolvimento de alternativas mais sustentáveis.

A ideia de precificar o carbono ganhou força no mundo com o Protocolo de Quioto (1997), um marco na luta contra as mudanças climáticas. Esse acordo global estabeleceu metas de redução das emissões de gases do efeito estufa para países desenvolvidos e abriu espaço para o mercado de carbono. Esse mercado foi pensado para que países ou empresas que ultrapassassem suas metas de redução pudessem vender os "créditos de carbono" que sobraram para aqueles que não conseguiram atingir a meta.

Zanetti (2019) destaca que, no Brasil, os créditos de carbono vindos de reflorestamento e manejo sustentável podem gerar renda, fortalecer o setor rural e ainda ajudar a reduzir as emissões globais de CO<sub>2</sub>. Também aponta que o mercado voluntário de carbono tem sido uma ótima oportunidade para países em desenvolvimento, onde as florestas nativas são essenciais para compensar as emissões de carbono.

Em 2023, os esquemas de precificação do carbono geraram um valor recorde de 104 bilhões de dólares, segundo o Banco Mundial (2024). Mais da metade desse valor foi destinado a programas relacionados ao clima e à natureza. Porém, apesar desse avanço, os preços atuais do carbono ainda não são suficientes para provocar mudanças significativas nas emissões globais. A "High-Level Commission on Carbon Prices", a comissão do Banco Mundial (2024) diz que, para alcançar as metas do Acordo de Paris e limitar o aumento da temperatura global abaixo de 2°C, o preço do carbono deveria ficar entre 63 dólares e 127 dólares por tonelada até 2030, já o IPCC estima que o custo por tonelada de CO<sub>2</sub>e precisaria ficar entre 226 e 385 dólares, mas apenas 7 instrumentos de precificação do carbono atingiram o valor mínimo de 63 dólares em 2024.

Na América Latina, os preços do carbono variam consideravelmente entre os países. O Chile adotou um imposto sobre o carbono de aproximadamente 32 dólares por tonelada de CO<sub>2</sub>e, já a Argentina definiu um valor de 10 dólares por tonelada. O México, por sua vez, pois um imposto mais baixo, que gira em torno de 3,50 dólares por tonelada (Campoli, J. S., & Feijó, J. R. 2022).

No Brasil, a precificação do carbono vem sendo estimado em valores crescentes ao longo do tempo. Entre 2015 e 2019, o preço foi de 19,70 dólares por tonelada de CO<sub>2</sub>e, aumentando para 22,60 dólares no período de 2020-2024, e projetado para atingir 29,10 dólares entre 2030 e 2049, chegando a 49,20 dólares depois de 2050. Esses valores de carbono são considerados ainda fracos para incentivar uma mudança significativa no padrão de emissões do país (Campoli, J. S., & Feijó, J. R. 2022).

### 3 PROCEDER METODOLÓGICO

#### 3.1 Frota de Veículos

Para entender os impactos das emissões de CO<sub>2</sub> no setor de transportes, é importante primeiro analisarmos a composição da frota de veículos no Brasil. Na categorização dos tipos de veículos, foi feita uma abordagem específica, onde não foram considerados quadriciclos, sidecars, tratores de esteira, chassi plataforma, reboques e semirreboques. Esses veículos foram excluídos da análise devido às suas emissões reduzidas de CO<sub>2</sub>, que não tem impacto significativo no contexto geral do transporte no país.

Para fins metodológicos, este estudo adotou uma abordagem contábil que tratará o Brasil como uma entidade empresarial hipotética, em que emissões diretas de CO<sub>2</sub> pela frota veicular correspondem ao Escopo 1 do GHG Protocol. Sob essa perspectiva, calculamos o passivo hipotético gerado pelas operações dessa "empresa", isto é, as externalidades não internalizadas do setor de transportes.

Além disso, para padronizar e facilitar a comparação dos resultados, foi utilizada a premissa de que todos os veículos analisados são movidos a combustíveis fósseis, como gasolina e diesel, dependendo da categoria do veículo. Essa abordagem foi escolhida para simplificar a análise das emissões e garantir maior coerência na comparação dos impactos ambientais. Como o foco da pesquisa é as emissões de CO<sub>2</sub> provenientes da queima de combustíveis fósseis, essa ideia permite eliminar variáveis que poderiam dificultar a análise, como a crescente participação dos veículos elétricos e híbridos, que tem padrões de emissões diferentes, e quase nulo.

Esta seção apresenta dados sobre a frota de veículos e sua dependência de combustíveis fósseis, fatores essenciais para o cálculo do custo social das emissões. Para essa análise, os veículos foram classificados em seis categorias principais: automóveis, caminhões, ônibus, caminhonetes, motocicletas e outros. Conforme ilustrado no quadro 1, cada categoria possui suas características:

- Automóveis (gasolina) tem consumo médio de 12 km/L;
- Caminhões (diesel) consomem 5,44 km/L;
- Ônibus (diesel) apresentam o menor rendimento (2,66 km/L);
- Caminhonetes (diesel) têm consumo intermediário (9,09 km/L);
- Motocicletas (gasolina) são as mais eficientes (40 km/L);
- “Outros” englobam veículos especializados com consumo variável (10,25 km/L média).

Quadro 1 – Categorização dos veículos<sup>45</sup>

Categoria	Combustível	Consumo médio	Definição
Automóvel	Gasolina	12 km/L	Veículo motorizado de pequeno porte projetado para transporte de passageiros, geralmente com capacidade para até cinco pessoas.
Caminhão	Diesel	5,44 km/L	Veículo de grande porte utilizado para transporte de cargas em diversos setores, podendo ter diferentes configurações para atender a demandas específicas.
Ônibus	Diesel	2,66 km/L	Veículo projetado para o transporte coletivo de passageiros, com capacidade variando de dezenas a centenas de pessoas, usado em trajetos urbanos e rodoviários.
Caminhonete	Diesel	9,09 km/L	Veículo de porte médio, com cabine para passageiros e uma área traseira aberta ou fechada para transporte de pequenas cargas.
Motocicleta	Gasolina	40 km/L	Veículos motorizados de duas rodas, projetados para o transporte individual ou de duas pessoas, sendo rápido e econômicos.
Outros	Gasolina/Diesel	10,25 km/L	Categoria que abrange veículos especializados, como tratores, quadriciclos e outros.

Fonte: Elaboração própria

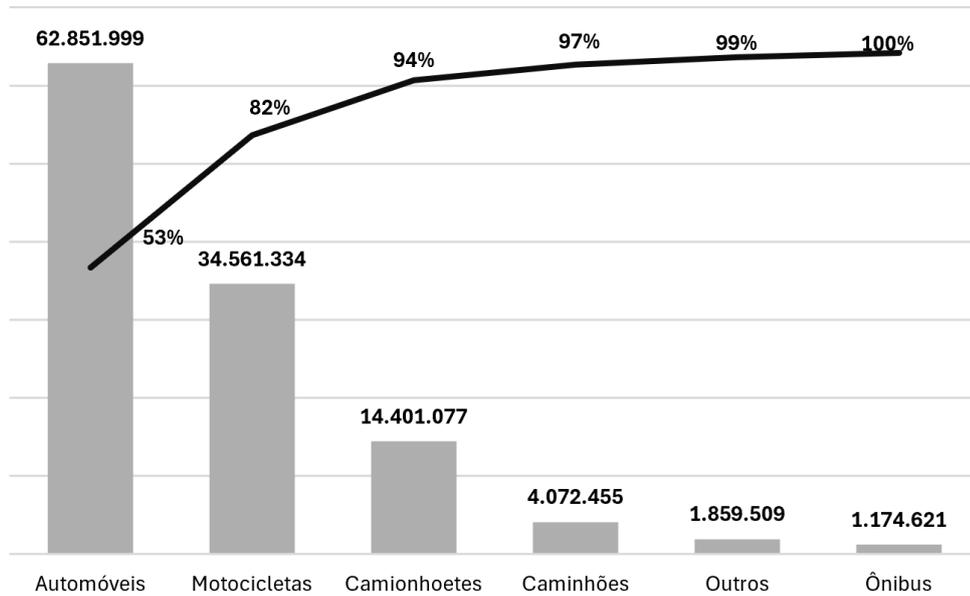
De acordo com dados do Ministério dos Transportes, a frota de veículos no Brasil atingiu 118 milhões de unidades em setembro de 2024. Os automóveis lideram com 62 milhões de unidades (53% do total), seguidos pelas motocicletas (34 milhões), que correspondem a cerca de 30% da frota. As caminhonetes ocupam o terceiro lugar (14 milhões), enquanto caminhões (4 milhões), outros (1,8 milhão) e ônibus (1,1 milhões) completam o total.

Conforme detalhado no Gráfico 2, essa disparidade reflete não apenas os padrões de mobilidade, mas também o impacto desproporcional de categorias como automóveis e motocicletas no consumo de combustíveis e nas emissões de CO<sub>2</sub>.

<sup>4</sup> A categoria "caminhão" inclui caminhões e caminhões-trator; "caminhonete" abrange caminhonetes e camionetas; "ônibus" compreende ônibus e micro-ônibus; "motocicleta" inclui motocicletas, ciclomotores e motonetas; e a categoria "outros" engloba quadriciclos, tratores de rodas, triciclos e utilitários. A categoria "automóveis" abrange os carros leves, como veículos de passeio.

<sup>5</sup> Os dados sobre a média de quilômetros por litro foram obtidos do BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários: Relatório Final. Brasília: MMA, 2011

Gráfico 2 – Quantidade de veículos



Fonte: Elaboração própria, com dados do Ministério do Transporte (2024)

Segundo os dados atualizados do Ministério dos Transportes (2024), a Tabela 1 detalha a frota brasileira por região, com base nos dados coletados em setembro de 2024. Os dados mostram as diferenças geográficas na concentração de automóveis, motocicletas, caminhonetes e outras categorias. Historicamente, o Sudeste lidera em números absolutos, concentrando a maior parcela da frota nacional, seguido pelas regiões Sul, Nordeste, Norte e Centro-Oeste. Essa distribuição reflete fatores como densidade populacional, desenvolvimento econômico regional e infraestrutura de mobilidade.

Por exemplo, a região Sudeste, com grandes centros urbanos como São Paulo e Rio de Janeiro, tende a ter maior quantidade de automóveis e motocicletas, enquanto o Nordeste apresenta alta proporção de motocicletas, pois nessa região existem mais áreas de menor estrutura viária.

Tabela 1 – Distribuição dos veículos no Brasil, por tipo e região

<b>Grandes Regiões e Tipos de Veículos</b>	<b>TOTAL</b>	<b>%</b>
	<b>118.920.995</b>	<b>100%</b>
<b>Norte</b>	<b>6.784.335</b>	<b>5,70%</b>
Automoveis	2.146.883	31,64%
Motocicletas	3.475.150	51,22%
Caminhonete	801.202	11,81%
Caminhão	223.998	3,30%
Ônibus	68.667	1,01%
Outros	68.435	1,01%
<b>Nordeste</b>	<b>21.511.722</b>	<b>18,09%</b>
Automoveis	8.182.401	38,04%
Motocicletas	10.008.405	46,53%
Caminhonete	2.156.595	10,03%
Caminhão	622.843	2,90%
Ônibus	255.181	1,19%
Outros	286.297	1,33%
<b>Sudeste</b>	<b>56.817.962</b>	<b>47,78%</b>
Automoveis	33.755.494	59,41%
Motocicletas	12.997.292	22,88%
Caminhonete	6.843.938	12,05%
Caminhão	1.752.688	3,08%
Ônibus	569.816	1,00%
Outros	898.734	1,58%
<b>Sul</b>	<b>22.683.099</b>	<b>19,07%</b>
Automoveis	13.364.715	58,92%
Motocicletas	4.642.268	20,47%
Caminhonete	3.045.258	13,43%
Caminhão	1.021.256	4,50%
Ônibus	183.270	0,81%
Outros	426.332	1,88%
<b>Centro-Oeste</b>	<b>11.123.877</b>	<b>9,35%</b>
Automoveis	5.402.506	48,57%
Motocicletas	3.438.219	30,91%
Caminhonete	1.554.084	13,97%
Caminhão	451.670	4,06%
Ônibus	97.687	0,88%
Outros	179.711	1,62%

Fonte: Elaboração própria, com dados do Ministerio do Transporte (2024)

### 3.2 Equação Para o Cálculo das Emissões em 2024

Para calcular as emissões de carbono neste trabalho, primeiro foi adotada uma abordagem para o fator de emissão baseada na proposta de CARVALHO (2011). A metodologia de CARVALHO (2011) para encontrar o fator de emissão do CO<sub>2</sub> utilizada considera a relação entre o consumo de combustível, o tipo de combustível e os fatores de emissão específicos para cada categoria de veículo.

Para as emissões da gasolina, segundo CARVALHO (2011) as emissões ficam em torno de 2,8 kg de CO<sub>2</sub> por litro de combustível, isso inclui tanto as emissões geradas na combustão da gasolina (2,28 kg de CO<sub>2</sub> por litro) quanto as emissões associadas à sua produção e distribuição (0,5 kg de CO<sub>2</sub> por litro). Para o diesel, o valor das emissões é de 2,6 kg de CO<sub>2</sub> por litro, e ao adicionar 0,5 kg de CO<sub>2</sub> devido à sua produção e distribuição, o diesel emite cerca de 3,1 kg de CO<sub>2</sub> por litro de combustível.

As emissões totais ligadas a cada categoria de veículo serão calculadas com base na metodologia descrita por BRASIL (2011), que utiliza uma equação que considera variáveis como o fator de emissão, o tamanho da frota em circulação, a intensidade de uso dos veículos e o tipo de combustível consumido. A fórmula mencionada é:

$$E = Fe \times Fr \times Iu^6$$

Onde:

- *E* é a taxa anual de emissão do poluente considerado (kg/ano).
- *Fe* é o fator de emissão do poluente, citadas na forma da massa do poluente emitida por quilômetro percorrido (kg/km), que muda de acordo com o tipo de combustível.
- *Fr* é a frota circulante de veículos do ano-modelo considerado (número de veículos).
- *Iu* é a intensidade de uso dos veículos, expressa em termos de quilometragem anual percorrida (km/ano).

Para o fator de emissão, serão utilizados os valores propostos por CARVALHO (2011), que indicam emissões de 2,8 kg de CO<sub>2</sub> por litro de gasolina consumido e 3,1 kg de CO<sub>2</sub> por litro de diesel consumido. Porém, para a aplicação da fórmula descrita por BRASIL (2011), é necessário que o fator de emissão seja utilizado em termos de quilômetro rodado. Como os valores fornecidos por CARVALHO (2011) estão em kg de CO<sub>2</sub> por litro de combustível, será necessário realizar uma conversão para conseguir o fator de emissão por quilômetro percorrido. Para isso, consideramos o consumo médio de cada tipo de automovel, o que nos permitirá transformar os valores em kg de CO<sub>2</sub> por litro para kg de CO<sub>2</sub> por km rodado, já quanto à frota circulante, os dados fornecidos pelo Ministério dos Transportes serão utilizados como referência.

Os dados utilizados para a intensidade de uso <sup>7</sup> nesta pesquisa foram ajustados com base na idade média da frota nacional de veículos, pois, a intensidade de uso dos veículos tende a cair conforme a sua idade BRASIL (2011). Então, em 2023, a idade média dos veículos no

<sup>6</sup> A equação proposta por Brasil (2011) foi adaptada neste trabalho para apresentar os valores em kg/ano.

<sup>7</sup> Sobre a intensidade de uso foi calculada uma média dos km/ano para ônibus e caminhões, visto que essas categorias estão divididas em três tipos diferentes na pesquisa utilizada.

Brasil foi de 16,4 anos, de acordo com dados da Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2024). Com essa idade média descrita, podemos considerar os valores de quilometragem anual fornecidos pelo 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários (BRASIL, 2011), que mostra a intensidade de uso de veículos de acordo com sua idade:

Quadro 2 – Intensidade do uso de veículos por Km/ano (média)

Automóveis	Caminhonetes	Motocicletas	Ônibus	Caminhões	Outros
10.400	13.600	5.600	146.200	150.640	28.313

Fonte: elaboração própria a partir de BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. 2011

**Observações:**

Sobre a intensidade de uso foi calculada uma média dos km/ano para ônibus e caminhões, visto que essas categorias estão divididas em três tipos diferentes na pesquisa utilizada.

A categoria "caminhão" inclui caminhões e caminhões-trator; "caminhonete" abrange caminhonetes e camionetas; "ônibus" compreende ônibus e micro-ônibus;

"motocicleta" inclui motocicletas, ciclomotores e motonetas; e a categoria "outros" engloba quadriciclos, tratores de rodas, triciclos e utilitários. A categoria "automóveis" abrange os carros leves, como veículos de passeio.

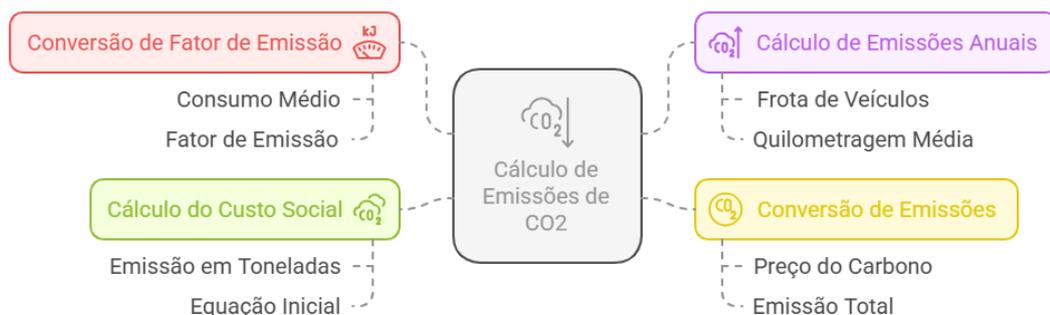
Para o cálculo da intensidade de uso da categoria "outros", foi utilizada uma média ponderada, considerando os diferentes pesos atribuídos a cada componente, de forma a refletir sua relevância proporcional no resultado.

Para motocicletas e automóveis (veículos leves), será adotado o fator de emissão da gasolina, uma vez que esse é o combustível predominante nessas categorias, conforme dados da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). Já para as demais categorias como ônibus, caminhões e caminhonetes, utilizaremos o fator de emissão do diesel, devido ao uso majoritário desse combustível em frotas comerciais e de transporte de carga.

Isto posto, poderemos analisar os dados de acordo com cada categoria de veículos, identificando quais contribuem mais significativamente para as emissões totais de CO<sub>2</sub>. Essa análise permitirá destacar o impacto dos caminhões, que são historicamente os maiores emissores no setor de transporte. Além disso, ao analisar as emissões por estado, poderemos compreender como a distribuição da frota dos veículos influenciam nos níveis de emissões.

### 3.3 Equação Para o Cálculo do Custo de Remoção do Carbono

Cálculo de Emissões de CO<sub>2</sub> e Custo Social



Para este estudo, será utilizado o valor de 22,60 dólares por tonelada de CO<sub>2</sub>, conforme proposto por Campoli e Feijó (2022) para o período desta pesquisa. A partir desse valor, é

possível estimar o custo real associado à remoção das emissões de carbono, utilizando a seguinte equação:

$$Cr = E \times Pc$$

Onde:

- Cr: Custo de remoção do carbono (em dólares);
- E: Quantidade de CO2 emitida (em toneladas);
- Pc: Preço do carbono (em dólares por toneladas de CO2).

#### Fórmulas utilizadas

Conversão do fator de emissão (Fe) de kg CO2 por litro para kg CO2 por km

$$Fe \text{ (kg/km)} = \frac{\text{Emissão por litro (Kg CO2)}}{\text{Consumo médio (km/L)}}$$

Cálculo das emissões anuais em quilogramas (kg)

$$E = Fe \times Fr \times Iu$$

Conversão de kg para toneladas

$$E \text{ (ton)} = \frac{E}{1.000}$$

Cálculo do custo social

$$Cr = E \times Pc$$

Quadro 3 – Exemplo de cálculo real custo social da remoção do carbono em KG

<b>Etapa</b>	<b>Fórmula</b>	<b>Exemplo</b>	<b>Cálculo</b>
Conversão do fator de emissão (Fe) de kg CO2 por litro para kg CO2 por km	$Fe \text{ (kg/km)} = \frac{\text{Emissão por litro (Kg CO2)}}{\text{Consumo médio (km/L)}}$	Se o consumo médio do veículo é de 12 km/L e o fator de emissão de 2,8 kg CO2 por litro de gasolina consumida	$Fe = \frac{2,8 \text{ kg CO2/L}}{12 \text{ km/L}} = 0,233 \text{ kg CO2/km}$
Cálculo das emissões anuais em quilogramas (kg)	$E = Fe \times Fr \times Iu$	Para uma frota de 1.000 veículos e quilometragem média de 15.000 km/ano	$E \text{ (kg)} = 0,233 \text{ kg/km} \times 1.000 \times 15.000 = 3.495.000 \text{ kg/ano CO2.}$
Conversão de kg para toneladas	$E \text{ (ton)} = \frac{E}{1.000}$	Como o preço do carbono (Pc) é definido por tonelada, convertemos a emissão total	$E \text{ (ton)} = \frac{3.495.000}{1.000} = 3.495 \text{ toneladas}$
Cálculo do custo social	$Cr = E \times Pc$	Aplica-se a equação inicial com a emissão em toneladas	$Cr = 3.495 \text{ ton} \times 22,60 \text{ dolares} = 78.987 \text{ dolares}$

Observação: Na conversão do fator de emissão, o fator de emissão fornecido por Carvalho é de 2,8 kg CO2 por litro de gasolina consumida.

## 4 RESULTADOS E ANÁLISES

Nesta seção, serão apresentados os resultados obtidos a partir das metodologias descritas anteriormente, iniciando com a análise das emissões totais de CO<sub>2</sub> por ano e o custo social total por categoria de veículos, resumidos na tabela 2.

Tabela 2 – Custo social da remoção de CO<sub>2</sub>  
Custo Social da Emissão de Carbono nos Veículos Automotores do Brasil

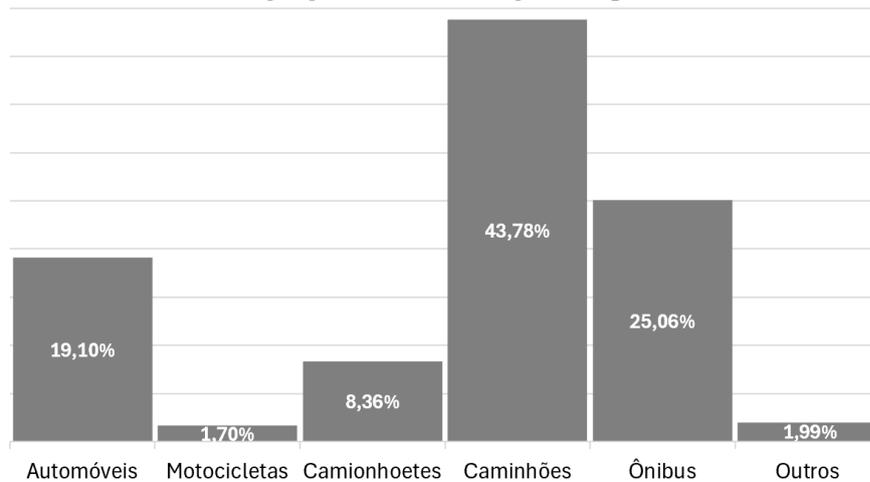
Categoria	Frota	Intensidade de uso (km)	Consumo/L	Fator de emissão (km)	Emissões totais (toneladas)	Custo da remoção de CO <sub>2</sub> por ano (Bilhões)
Automóveis	62.851.999	10.400	12,00	0,23	152.520.851	\$ 3,44
Motocicletas	34.561.334	5.600	40,00	0,07	13.548.043	\$ 0,30
Camionhoetes	14.401.077	13.600	9,09	0,34	66.793.114	\$ 1,50
Caminhões	4.072.455	150.640	5,44	0,57	349.590.317	\$ 7,90
Ônibus	1.174.621	146.200	2,66	1,17	200.135.989	\$ 4,52
Outros	1.859.509	28.313	10,25	0,30	15.923.111	\$ 0,35
<b>TOTAL</b>	<b>118.920.995</b>	<b>354.753</b>	-	-	<b>798.511.425</b>	<b>\$ 18,01</b>

Fonte: Elaboração própria

Para 2024, temos um total de 18 bilhões de dólares de custo de remoção de CO<sub>2</sub> emitido pelos veículos no Brasil. Esse valor mostra o impacto econômico das emissões geradas pela frota veicular e o custo necessário para mitigar os efeitos dessas emissões. Os caminhões e os ônibus representam 44% dessas emissões em 2024, mostrando a relevância desses segmentos no total das emissões do setor de transporte. Caminhões, por exemplo, rodam em média 150.640 km/ano que é quase 15 vezes mais que os automóveis, mas tem autonomia de apenas 5,44 km por litro de diesel e combustível com fator de emissão 11% superior ao da gasolina (3,1 kg CO<sub>2</sub> por litro contra 2,8 kg CO<sub>2</sub> por litro). Essa junção entre quilometragem alta e tecnologia ultrapassada mostra por que essa categoria sozinha emite 349,6 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> por ano.

Já os ônibus, embora tenham frota menor (1.174.621 milhões), também se destacam por sua alta quilometragem (146.200 km por ano) e o consumo baixo (2,66 km por litro), resultando em 200,1 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> por ano. Conforme ilustrado na Gráfico 3, é possível observar como cada categoria contribui para o total de emissões, mostrando a relação entre frota, eficiência e impacto ambiental. Os automóveis, que dominam a frota (52%), contribuem com apenas 19% do custo total, graças a sua menor quilometragem anual (10.400 km) e maior eficiência (12 km por litro).

Gráfico 3 – Proporção das emissões por categoria de veículos



Fonte: Elaboração própria

Em uma análise detalhada da frota brasileira, percebe-se uma disparidade grande entre o tamanho das categorias de veículos e seu impacto ambiental. Enquanto caminhões e ônibus representam apenas 13% da frota total, são responsáveis por 69% das emissões de CO<sub>2</sub>, um desequilíbrio que mostra que precisamos rapidamente de políticas específicas para esses segmentos.

Os ônibus ganham destaque neste quesito de desequilíbrio. Com uma frota de 1,17 milhão de unidades, consomem em média 2,66 km por litro, sendo o índice mais baixo dentre todas as categorias. Isso os coloca como o segundo maior emissor do setor (200,1 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>/ano), mesmo representando 1% da frota total. O uso intenso em rotas urbanas e interestaduais, somado à sua forte dependência do diesel em seu principal combustível, nos traz esses resultados alarmantes.

No entanto, a transição para ônibus elétricos e com biodiesel surge como uma solução estratégica importante para o Brasil. Estudos indicam que substituir a frota atual por modelos elétricos reduziria as emissões de CO<sub>2</sub> em até 91,4%, considerando que a matriz energética brasileira já é de grande parte renovável. Além disso, os motores elétricos atingem eficiência energética de 59-62%, contra 17-21% dos motores a diesel, otimizando assim o consumo (Vaz et al., 2015).

Em cidades como São Paulo e Curitiba já existem projetos-pilotos onde mostram que os ônibus elétricos já reduziram os custos operacionais em 30%, demonstrando a possibilidade econômica dessa transição (LIMA et al. 2019).

Em contraste, as motocicletas apresentam um impacto ambiental significativamente menor. Com um consumo médio de 40 km por litro e uma quilometragem anual reduzida de aproximadamente 5.600 km, elas emitem uma quantidade muito menor de CO<sub>2</sub> quando se compara com a outros veículos. Apesar de representarem 29% da frota brasileira, sua participação nas emissões totais é de apenas 1,7%. Esse baixo impacto ambiental, junto do menor custo operacional e à alta eficiência no consumo de combustível, faz das motocicletas uma alternativa mais sustentável dentro do setor de transportes individuais.

Além da análise nacional, é preciso compreender as diferenças em um olhar regional nas emissões de CO<sub>2</sub> pelo setor de transporte. O Tabela 3 mostra a distribuição das emissões de CO<sub>2</sub> por estado brasileiro, destacando variações significativas entre regiões.

Tabela 3 – Emissões de CO2 por região

Grandes Regiões e Tipos de Veículos	Quantidade (und)	Emissão CO2 (toneladas)
	<b>118.920.995</b>	<b>798.511.425</b>
<b>Norte</b>	<b>6.784.335</b>	<b>41.802.370</b>
Automoveis	2.146.883	5.209.769
Motocicletas	3.475.150	1.362.259
Caminhonete	801.202	3.716.026
Caminhão	223.998	19.228.581
Ônibus	68.667	11.699.721
Outros	68.435	586.014
<b>Nordeste</b>	<b>21.511.722</b>	<b>133.178.375</b>
Automoveis	8.182.401	19.855.960
Motocicletas	10.008.405	3.923.295
Caminhonete	2.156.595	10.002.425
Caminhão	622.843	53.466.492
Ônibus	255.181	43.478.621
Outros	286.297	2.451.582
<b>Sudeste</b>	<b>56.817.962</b>	<b>373.989.415</b>
Automoveis	33.755.494	81.913.332
Motocicletas	12.997.292	5.094.938
Caminhonete	6.843.938	31.742.621
Caminhão	1.752.688	150.455.377
Ônibus	569.816	97.087.221
Outros	898.734	7.695.925
<b>Sul</b>	<b>22.683.099</b>	<b>170.919.785</b>
Automoveis	13.364.715	32.431.708
Motocicletas	4.642.268	1.819.769
Caminhonete	3.045.258	14.124.101
Caminhão	1.021.256	87.667.318
Ônibus	183.270	31.226.176
Outros	426.332	3.650.712
<b>Centro-Oeste</b>	<b>11.123.877</b>	<b>78.621.480</b>
Automoveis	5.402.506	13.110.081
Motocicletas	3.438.219	1.347.782
Caminhonete	1.554.084	7.207.941
Caminhão	451.670	38.772.548
Ônibus	97.687	16.644.249
Outros	179.711	1.538.878

Fonte: Elaboração própria

Os dados revelam diferenças significativas nas emissões de CO2 entre as regiões brasileiras. O Sudeste lidera as emissões nacionais, contribuindo com 47% do total (373,9 milhões de toneladas), seguido pelo Sul (21%), Nordeste (17%), Centro-Oeste (10%) e Norte (5%). Essa diferença está diretamente ligada à concentração populacional, disparidades socioeconômicas, de infraestrutura e de matriz energética.

Como principal polo econômico do país, o Sudeste destaca-se pelas elevadas emissões de caminhões (150,4 milhões de toneladas) e ônibus (97 milhões de toneladas), que juntos representam 66% das emissões regionais. Esse cenário está associado à intensa logística de cargas (portos, indústrias) e à demanda por transporte público em metrópoles como São Paulo e Rio de Janeiro. Apesar de os automóveis representarem 59% da frota regional, suas emissões

são relativamente menores (81,9 milhões de toneladas), devido à maior eficiência energética e à adoção parcial de biocombustíveis. Segundo a CETESB (2022), a eficiência energética e o uso de biocombustíveis no Sudeste têm contribuído para a redução de emissões por automóveis, ainda que a frota continue em crescimento (CETESB, 2022).

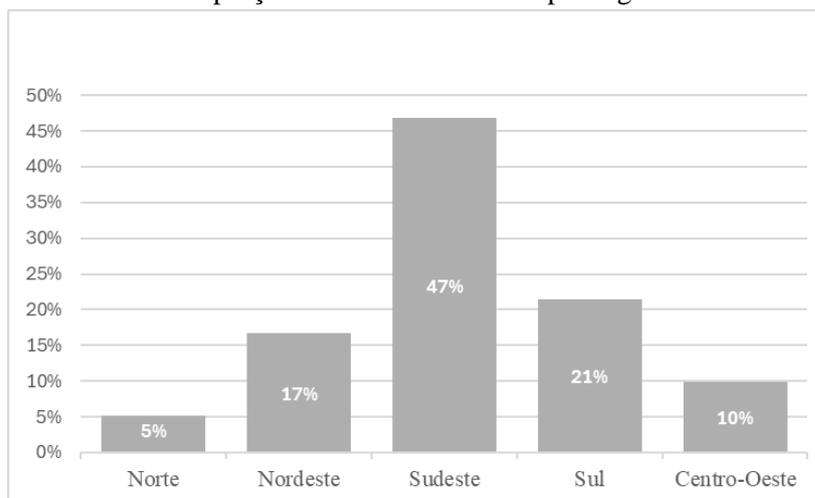
No Nordeste, os caminhões emitem 53,4 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> (40% do total regional), seguidos pelos ônibus (43,4 milhões de toneladas). A dependência do diesel em rotas interestaduais com caminhões e ônibus justificam essas emissões elevadas. Mesmo com o grande uso de motocicletas na região, elas emitem apenas 3,9 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>, evidenciando seu papel menos impactante, já que as motocicletas são as que tem a menor emissão de CO<sub>2</sub> dentre todas as categorias. Além disso, o Nordeste é a única região do Brasil onde o número de motocicletas (10.008.405) supera o de automóveis (8.182.401), ajudando assim na redução das emissões totais da região. Esse fenômeno pode ser explicado por fatores econômicos e sociais, como o menor custo de aquisição e manutenção das motocicletas, além da sua eficiência em deslocamentos urbanos e rurais de curta distância. Segundo especialistas consultados pelo G1, essa grande diferença de motocicletas sobre automóveis na região ocorre devido a fatores socioeconômicos, como a renda média da população e a facilidade de acesso ao crédito para compra de motocicletas (G1, 2024).

O centro oeste aparece com 10% das emissões do país (78,6 milhões de toneladas) sendo a segunda região em que menos emite CO<sub>2</sub>, atrás apenas do Norte. Os Caminhões foram responsáveis por 38,7 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>, e os ônibus 16,6 milhões de toneladas. Os dois somam 70% das emissões. Apesar de a frota de automóveis (5,4 milhões) ser maior que a de caminhão (451.670) ela emite 66% menos CO<sub>2</sub>.

A região Sul emite 170,9 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>, representando 21% do total nacional. Com uma frota de 22,7 milhões de veículos, a distribuição das emissões por categoria é destacada por diferenças significativas entre os caminhões e os automóveis.

A região Norte é a que menos emite CO<sub>2</sub> no Brasil, representando apenas 5,2% do total nacional conforme apresentado no gráfico 4, mesmo ocupando 45% do território nacional conforme o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2023).

Gráfico 4 – Proporção de emissões de CO<sub>2</sub> por região do Brasil



Fonte: Elaboração própria

Após a apresentação desses dados, é importante discutir algumas alternativas viáveis para este cenário apresentado, a eletrificação da frota se mostra como uma estratégia importante para enfrentar os impactos climáticos e econômicos ligados às emissões do setor de transportes.

Os veículos elétricos oferecem vantagens significativas que além de reduzirem a dependência de combustíveis fósseis e diminuírem os custos sociais da poluição, se mostram com uma enorme eficiência energética, muito superior aos motores a combustão, o que diminui o desperdício de energia a longo prazo. Outros estudos mostram que veículos elétricos e híbridos podem alcançar 57,6% de economia de energia em trajetos urbanos, graças a sistemas de propulsão otimizados e frenagem regenerativa SÁNCHEZ (2012). Já para Pereira et al. (2015), a eletrificação de frotas leves já demonstrou reduções de CO<sub>2</sub> em até 163 vezes em comparação aos veículos convencionais, reforçando que a transição para tecnologias limpas é tecnicamente viável.

Porém, no Brasil, a inicialização dessa tecnologia possui obstáculos enraizados. O alto custo das baterias e a insuficiente infraestrutura de recarga limitam seu sucesso no mercado nacional (Cordeiro e Losekann, 2024). E, a matriz energética brasileira, que está fortemente ligada em biocombustíveis como o etanol que já desempenha um papel de extrema importância na redução de emissões, acaba criando um cenário de competição entre tecnologias. Esse problema pode atrasar a transição para a mobilidade elétrica. Como demonstrado por Pereira et al. (2015), parcerias entre setores público e privado podem impulsionar a demanda por veículos elétricos, reduzindo custos por escala e incentivando a indústria nacional.

Experiências internacionais mostram que a expansão dos veículos elétricos depende de estratégias pelo governo. Incentivos fiscais, subsídios diretos à aquisição e investimentos em infraestrutura de recarga como a instalação de pontos em lugares públicos e em centros urbanos são medidas eficazes para acelerar a adoção de todos (Cordeiro e Losekann, 2024).

É importante dizer também que as categorias que mais emitem CO<sub>2</sub> (caminhões e ônibus) sejam justamente as que dependem fortemente do diesel, um combustível fóssil de alto fator de emissão. Segundo o Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG), o diesel foi responsável por 57% das emissões do setor de transporte no Brasil.

Uma alternativa em vigor hoje no Brasil focada nos veículos pesados que mais emitem CO<sub>2</sub> é o Programa Renovar. Esse programa tem como principal objetivo retirar de circulação caminhões e ônibus antigos, substituindo-os por modelos mais eficientes e menos poluentes.

Porém, esse programa é voluntário, o que pode limitar seu impacto na renovação da frota nacional de veículos pesados. Caso fosse obrigatório, poderia garantir a uma substituição mais rápida de veículos altamente poluentes, modernizando mais rapidamente o setor e reduzindo de forma relevante as emissões de CO<sub>2</sub>.

Outro ponto importante nesse debate de redução das emissões seria a criação do mercado de carbono no Brasil. Porém, esse avanço já deu um passo significativo em dezembro de 2024 quando o presidente Luiz Inácio Lula da Silva sancionou a Lei nº 15.042, que institui o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE), estabelecendo as bases para um mercado regulado de carbono no Brasil. Essa lei permite que as emissões dos gases que são poluentes se transformem em ativos financeiros negociáveis. A regulamentação do mercado de carbono no Brasil vem para incentivar a redução das emissões e amenizar as mudanças climáticas, fazendo com que as empresas compensem as emissões por meio da compra de créditos que são ligados a iniciativas de preservação ambiental.

Com isto posto, a combinação estratégica entre eletrificação da frota, regras mais rígidas de programas como o Renovar (tornando o programa obrigatório para acelerar a substituição de veículos pesados), aumento da infraestrutura para tecnologias limpas e a consolidação do mercado de carbono brasileiro, pode ajudar com uma redução grande das emissões de CO<sub>2</sub> pelos combustíveis fósseis nos próximos anos. Com um trabalho conjunto entre ações do

governo, investimento privado e engajamento social, será possível reverter obstáculos técnicos e econômicos na redução de CO<sub>2</sub> dos veículos, possibilitando um futuro de mobilidade sustentável e uma redução drástica das emissões.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados desta pesquisa mostram a urgência de enfrentar os custos socioambientais ligados às emissões de carbono por veículos automotores no Brasil. O estudo aponta que a remoção dessas emissões em 2024 demandaria um investimento social estimado em 18 bilhões, valor que mostra a grandeza econômica do impacto ambiental gerado pelo setor de transportes. A análise mostrou uma diferença de emissões crítica entre as categorias, sendo os maiores responsáveis ônibus e caminhões.

Das estratégias recomendadas, destaca-se a eletrificação de ônibus urbanos e de carga, aliada a políticas de renovação da frota com incentivos fiscais para veículos limpos. A criação de uma taxa progressiva sobre combustíveis fósseis, onde combinada com a internalização dos custos ambientais com mecanismos de precificação de carbono, vem como um caminho para responsabilizar os poluidores. Juntamente disso, é muito importante ampliar investimentos em transporte coletivo de baixa emissão, como uma frota que em grande parte utilize de biocombustíveis e reduzindo a participação de veículos individuais.

Este trabalho também foi importante ao quantificar o custo social das emissões do setor de transportes no Brasil, oferecendo uma base de valores corretos para debates sobre a emissão de CO<sub>2</sub>. Com a implementação e continuidade das propostas apresentadas, não só reduziriam os danos ambientais provenientes dos veículos, mas também reduziriam gastos públicos com saúde e ajuda em desastres climáticos indiretamente ligados as emissões dos veículos.

A transição para um setor de transportes de baixo carbono não é apenas uma necessidade ambiental, mas uma oportunidade para mudar de vez a mobilidade brasileira, com alternativas mais eficientes, justa e alinhada ao grande poder energético renovável do país.

Isto posto, o estudo abre espaço para pesquisas futuras que explorem a aplicação de tecnologias limpas e analisem os efeitos das políticas propostas, especialmente em regiões de maior volume de emissão, como o sudeste.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCMBUSTÍVEIS. Dados estatísticos. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/dados-estatisticos>. Acesso em: 20 jan. 2025.

ANTHESIS. Entendendo as emissões dos escopos 1, 2 e 3. Disponível em: <https://www.anthesisgroup.com/br/solucoes/net-zero/escopos-1-2-e-3/>. Acesso em: 27 nov. 2024.

BRASIL. Frota de veículos 2024. Disponível em <https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/transito/conteudo-Senatran/estatisticas-frota-de-veiculos-senatran>. Acesso em: 28 nov. 2024.

BRASIL. Lei nº 15.042, de 11 de dezembro de 2024. Institui o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE); e altera as Leis nºs 12.187, de 29 de dezembro de 2009, 12.651, de 25 de maio de 2012 (Código Florestal), 6.385, de 7 de dezembro de 1976 (Lei da Comissão de Valores Mobiliários), e 6.015, de 31 de dezembro de 1973 (Lei de Registros Públicos). Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, p. 4, 12 dez. 2024. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2024/lei-15042-11-dezembro-2024-796690-publicacaooriginal-173745-pl.html>. Acesso em: 6 fev. 2025.

BRASIL. Ministério da Fazenda. Sancionada a lei que estabelece as bases para um mercado regulado de carbono no Brasil. 19 dez. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/fazenda/pt-br/assuntos/noticias/2024/dezembro/Sancionada-a-lei-que-estabelece-as-bases-para-um-mercado-regulado-de-carbono-no-Brasil>. Acesso em: 4 fev. 2025.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários: relatório final. Brasília: MMA, 2011. Disponível em: <https://energiaambiente.org.br/produto/1o-inventario-nacional-de-emissoes-atmosfericas-por-veiculos-automotores-rodoviaros>. Acesso em: 19 jan. 2025.

CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. Estudos Especiais. 2024. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/dados-e-analises/estudos-especiais>. Acesso em: 1 dez. 2024.

CAMPOLI, J. S.; FEIJÓ, J. R. Preço do carbono para projetos de investimentos de infraestrutura no Brasil. Nota Técnica IPEA nº 102. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2022. Disponível em: [https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/11449/1/NT\\_102\\_Diset\\_Preco\\_Carbono.pdf](https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/11449/1/NT_102_Diset_Preco_Carbono.pdf). Acesso em: 1 fev. 2025.

CARVALHO, C. H. R. de. Emissões relativas de poluentes do transporte motorizado de passageiros nos grandes centros urbanos brasileiros. Texto para Discussão (TD) 1606. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), 2011. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/1578>. Acesso em: 26 jan. 2025.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Relatório de Emissões Veiculares no Estado de São Paulo 2020. São Paulo: CETESB, 2022. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/veicular/wp-content/uploads/sites/6/2022/03/Relatorio-Emissoes-Veiculares-2020.pdf>. Acesso em: 2 fev. 2025.

CORDEIRO, A. C.; LOSEKANN, L. Os desafios do processo de difusão do carro elétrico no Brasil. 2024. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/28a7/04c844642997f2143aab25578215f3257293.pdf>. Acesso em: 3 fev. 2025.

DIAS, C. M. dos S. P. O custo social da poluição atmosférica e dos acidentes, dos transportes rodoviários e ferroviários portugueses. 1994. Dissertação (Mestrado) – Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 1994. Disponível em: <https://www.proquest.com/openview/9d899eaf142b7d7c4ff8b7d99137beef/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2026366&diss=y>. Acesso em: 27 nov. 2024.

EUROPEAN COMMISSION. Joint Research Centre; CRIPPA, M.; GUIZZARDI, D.; PAGANI, F.; BANJA, M. et al. GHG emissions of all world countries. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2024. Disponível em: <https://data.europa.eu/doi/10.2760/4002897>. Acesso em: 19

jan. 2025.

FLEURBAEY, M. et al. The Social Cost of Carbon: Valuing Inequality, Risk, and Population for Climate Policy. *The Monist*, v. 102, n. 1, p. 84–109, 2019. Disponível em: <https://academic.oup.com/monist/article/102/1/84/5255707>. Acesso em: 5 fev. 2025.

FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS. Programa Brasileiro GHG Protocol. Disponível em: <https://eaesp.fgv.br/centros/centro-estudos-sustentabilidade/projetos/programa-brasileiro-ghg-protocol>. Acesso em: 28 nov. 2024.

G1. 1 em cada 3 cidades tem mais motos que carros: infográfico mostra a situação na sua. *G1*, 06 jan. 2024. Disponível em: <https://g1.globo.com/carros/noticia/2024/01/06/1-em-cada-3-cidades-tem-mais-motos-que-carros-infografico-mostra-a-situacao-na-sua.ghtml>. Acesso em: 2 fev. 2025.

HANSEN, J.; SATO, M.; RAHMSTORF, S. Target Atmospheric CO<sub>2</sub>: Where Should Humanity Aim? Submitted April 7, 2008. Disponível em: <https://www.pnas.org/content/early/2008/04/14/0802136105>. Acesso em: 28 nov. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Áreas Territoriais. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/15761-areas-dos-municipios.html>. Acesso em: 2 fev. 2025.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. 2023: Summary for Policymakers. *Climate Change 2023: Synthesis Report*. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001>. Acesso em: 13 jan. 2025.

LIMA, G. C. L. de S. et al. Mobilidade elétrica: o ônibus elétrico aplicado ao transporte público no Brasil. *Revista dos Transportes Públicos - ANTP*, v. 41, n. 2, p. 53-72, 2019. Disponível em: <https://files.antp.org.br/2019/7/29/rtp152-4.pdf>. Acesso em: 1 fev. 2025.

MOREIRA, H. M.; GIOMETTI, A. B. dos R. O Protocolo de Quioto e as possibilidades de inserção do Brasil no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo por meio de projetos em energia limpa. *Revista de Direito Ambiental*, São Paulo, v. 30, n. 1, p. 123-145, jan./abr. 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cint/a/9RkZZcmTbc6mm8wRHHc5j3Q/#>. Acesso em: 13 jan. 2025.

ORGANIZAÇÃO METEOROLÓGICA MUNDIAL (WMO). Concentrações de gases de efeito estufa atingem recorde histórico. Novamente. 15 nov. 2023. Disponível em: <https://wmo.int/news/media-centre/greenhouse-gas-concentrations-hit-record-high-again>. Acesso em: 5 fev. 2025.

PEREIRA, E. A.; ESPANA GOMEZ, J. P.; SOUZA, A. C. da S.; ARRUDA, F. S. de. Análise comparativa dos custos dos veículos de combustão interna e veículos elétricos: estudo de caso dos Correios. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA EM TRANSPORTE DA ANPET, XXIX, 2015, Ouro Preto. Anais [...]. Ouro Preto: ANPET, 2015. Disponível em: [http://146.164.5.73:20080/ssat/interface/content/anais\\_2015/TrabalhosFormatados/798AC.pdf](http://146.164.5.73:20080/ssat/interface/content/anais_2015/TrabalhosFormatados/798AC.pdf). Acesso em: 6 fev. 2025.

SEEG – Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa. *SEEG Brasil*. Disponível em: <https://seeg.eco.br/>. Acesso em: 4 fev. 2025.

ZANETTI, E. *Mudanças climáticas globais, florestas, madeira e mercado de carbono*. Disponível em: <http://www.diadecampo.com.br/...> Acesso em: 4 fev. 2025.