

# **ANÁLISE COMPARATIVA DA EMISSÃO DE CO<sub>2</sub> ENTRE OS MODAIS HIDROVIÁRIO E RODOVIÁRIO**

## **COMPARATIVE ANALYSIS OF CO<sub>2</sub> EMISSIONS BETWEEN WATERWAY AND ROAD MODES**

**Ana Paula Lima da Silva**

apls1@discente.ifpe.edu.br

**Ronaldo Faustino da Silva**

ronaldofaustino@recife.ifpe.edu.br

---

### **RESUMO**

São notórias as variações climáticas presentes no cotidiano do brasileiro, o aumento da temperatura tem gerado alteração no ecossistema do planeta Terra. Sabe-se que o modal rodoviário, enquanto principal instrumento de transporte de carga no Brasil, apresenta alto índice de consumo de diesel e emissão de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) por tonelada de carga. Diante disto, este artigo visa calcular e comparar a quantidade de CO<sub>2</sub> liberada pela queima de diesel em veículos de carga do setor logístico de transporte entre dois modais de transporte distintos, o rodoviário e o hidroviário, este último considerado uma opção para mitigar os impactos das mudanças climáticas resultantes da emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE). Através de dados hipotéticos, estimou-se a quantidade de veículos para transportar 285.275 toneladas de carga estimadas conforme posto de contagem do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) no município de Alhandra, Paraíba. Realizou-se o cálculo do consumo de combustível e emissão de CO<sub>2</sub> para 9532 caminhões, com capacidade de carga variável de 15 ton à 55 ton. Em relação ao modo hidroviário, foram utilizados 24 comboios para transportar o mesmo volume de carga. Os resultados apresentados se mostraram eficientes, uma vez que o transporte hidroviário apresentou redução relativa de 83,35% na emissão de CO<sub>2</sub>, quando comparado com o modal rodoviário. Dessa forma, conclui-se que o sistema aquaviário, devido à capacidade de armazenamento de carga maior, se torna um agente colaborador, uma vez que necessita de menos viagens para transportar o mesmo volume de material.

Palavras-chave: Transporte. Sustentabilidade. Gases. Combustível.

### **ABSTRACT**

The climatic variations present in the daily life of Brazilians are notorious, the increase in temperature has generated changes in the ecosystem of planet Earth. It is known

that road transport, as the main instrument of cargo transport in Brazil, has a high rate of diesel consumption and carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions per ton of cargo. In view of this, this article aims to calculate and compare the amount of CO<sub>2</sub> released by burning diesel in cargo vehicles in the transport logistics sector between two different modes of transport, road and waterway, the latter considered an option to mitigate the impacts of climate changes resulting from the emission of Greenhouse Gases (GHG). Using hypothetical data, the number of vehicles to transport 285,275 tons of cargo was estimated according to the counting station of the National Department of Transport Infrastructure (DNIT) in the municipality of Alhandra, Paraíba. The calculation of fuel consumption and CO<sub>2</sub> emissions was carried out for 9532 trucks, with variable load capacity from 15 ton to 55 ton. In relation to the waterway mode, 24 trains were used to transport the same volume of cargo. The results presented proved to be efficient, since waterway transport presented a relative reduction of 83.35% in CO<sub>2</sub> emissions, when compared to road transport. Therefore, it is concluded that the waterway system, due to its greater cargo storage capacity, becomes a collaborative agent, as it requires fewer trips to transport the same volume of material.

Keywords: Transport. Sustainability. Gases. Fuel.

---

## 1 INTRODUÇÃO

A ciência geográfica institui uma relação entre a sociedade e a natureza, diversificando conceitos estabelecidos para diversos assuntos, um deles é o transporte (Paixão e Joia, 2019). O transporte é a base de qualquer atividade econômica, uma vez que, sem ele, não há desenvolvimento em uma cidade, região ou país. Dado que as necessidades de recursos materiais e de vida dos seres humanos não são lineares, o transporte é indispensável para locomoção de pessoas, bens e materiais (Padillo et al., 2020). Atrelado ao desenvolvimento econômico, bem como surgimento de serviços de transportes motorizados, estão os problemas ambientais causados pela queima de combustíveis fósseis, poluição sonora e congestionamento em vias rodoviárias, comprometendo a mobilidade urbana (Santos, 2019). A indústria de transportes é responsável por 15,9% do total de emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) no planeta (GE et al., 2022) e representa 44,4% das emissões de Gases de Efeito Estufa - GEE (Empresa de Pesquisa Energética - EPE, 2022). Em 2019, o setor de transporte foi o segundo maior poluidor mundial, totalizando 24,5% das emissões a nível global, atrás apenas das termelétricas, cuja marca para emissões de GEE no mesmo ano foi de 33.621 milhões de toneladas – ton (International Energy Agency - IEA, 2023).

O sistema logístico do Brasil está predominantemente baseado no transporte rodoviário. No entanto, é importante destacar que a infraestrutura de estradas não acompanha a demanda do setor, uma vez que apenas 12,4% das vias do país são pavimentadas. Essa situação agrava a ocorrência de diversos problemas, como extravio de cargas, atrasos, acidentes fatais, desperdício de combustível e um aumento na emissão de gases poluentes, entre outros (Confederação Nacional dos Transportes - CNT, 2019). Em contrapartida, há o sistema aquaviário, que oferece grande capacidade de armazenamento de produtos e insumos, além de ser eficiente no transporte, consumindo pouco combustível e, por isso, gerando menores emissões

de gases poluentes (Portos e Navios, 2020). O país possui 63 mil quilômetros de extensão pelas águas, mas só utiliza apenas 19 mil quilômetros da capacidade de transporte hidroviário, devido à carência de uma infraestrutura apropriada para a operação, à escassez de investimentos e planejamento no sistema aquaviário de transporte de cargas." (Teixeira, 2019). O Brasil conta com 63 mil quilômetros de extensão de vias navegáveis, mas apenas 19 mil quilômetros são aproveitados para o transporte hidroviário. Essa subutilização se deve à carência de infraestrutura apropriada, à insuficiência de investimentos e à falta de um planejamento eficiente.

Estudos vêm sendo realizados, graças à preocupação com o impacto ocasionados por ações que estão diretamente ligadas à emissão de CO<sub>2</sub> pelo transporte de cargas no Brasil (Bartholomeu et al., 2016; Péra et al., 2019).

Porém, para que haja redução dessas externalidades, é necessário que a mobilidade se torne mais sustentável, de maneira a atender o setor econômico, social e ambiental (Santos, 2019).

O presente trabalho tem por objetivo comparar os resultados referentes ao consumo de diesel e emissão de dióxido de carbono em dois modos de transporte distintos, o rodoviário e o fluvial, sendo este último, uma alternativa para minimizar os efeitos das mudanças climáticas.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

O transporte no Brasil sofreu diversas intervenções em relação à prioridade dos modais em todo território nacional, pois os modais são escolhidos de acordo com a demanda de cada setor, seja populacional ou industrial (Rodrigues e Castro, 2011). Este tópico aborda aspectos sobre emissão de gases de efeito estufa, com ênfase no dióxido de carbono, classificando os veículos de acordo com os modos de transporte rodoviário e hidroviário e caracterizar os sistemas de transportes de carga da cidade de Recife.

### **2.1 Emissão de Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>)**

A revolução industrial, ocorrida desde a metade do século XVII, marcou o início de uma era exploratória de recursos naturais, ocasionando prejuízo para o meio ambiente e os seres vivos. As mudanças climáticas observadas atualmente são consequências da queima de combustíveis fósseis e gases de efeito estufa (GEE), o que implica em perda socioeconômica e ambiental à saúde da população brasileira (Leite, 2020).

Os Gases de Efeito Estufa absorvem parte da radiação infravermelha emitida pelo Sol, dificultando a reflexão dessa energia no espaço, como resultado, a Terra mantém uma temperatura em torno de 14°C (O ECO - ECO, 2014). A queima de combustíveis fósseis (petróleo, gasolina, diesel, gás natural e carvão mineral) é responsável por 81% das emissões de dióxido de carbono, seguido do desmatamento de florestas e do agronegócio; e como consequência dessa combustão, tem-se o aumento da temperatura (aquecimento global) e mudanças climáticas (Leite et al., 2020).

O Intergovernmental Panel On Climate Change – IPCC (2006) afirma que o setor de transporte se encarrega por pelo menos 1/4 da emissão de CO<sub>2</sub>.

Em contrapartida, no ano de 2020, o Brasil registrou aumento de 9,5% de emissão bruta de gases poluentes de efeito estufa, sendo o único país do mundo a registrar alta durante esse período. Com base nos dados do Sistema de Estimativas e

Emissões de Gases - SEEG, em 2022 houve um aumento de 11,22% na emissão de CO<sub>2</sub> (SEEG, 2024).

No ano de 2016, na 21ª Conferência das Partes (COP21), o Brasil estabeleceu um compromisso com o Acordo de Paris, cuja prerrogativa estabelece como meta o combate à ameaça global de mudanças climáticas, além de fortalecer os países na elaboração de estratégias para mitigar os impactos resultantes dessas alterações (Ministério do Meio Ambiente, 2023).

O Brasil, como signatário, em sua NDC (Nationally Determined Contributions), comprometeu-se com a redução de 37% de GEE até 2025 (de todo conjunto que rege a economia), totalizando a redução de 43% em 2035, tomando como base os dados de 2005 (Ministério do Meio Ambiente, 2023).

## **2.2 Modal Rodoviário**

O modal Rodoviário é o modo de transporte mais utilizado, seja para transporte de pessoas ou cargas. Embora que durante a revolução industrial o modal ferroviário tenha avançado, no século XX o veículo automotor surge como agente impulsionador do transporte rodoviário, abrangendo a demanda do setor mercantil, quanto à locomoção de pessoas (Padillo et al., 2020).

A Confederação Nacional dos Transportes (CNT, 2022) discorre sobre modais de transporte e suas confluências para o avanço do Brasil. O transporte rodoviário é o que atrai mais lucro, visto à flexibilidade de deslocamento intermunicipal, estadual e até regional mantendo baixo custo. O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2021), através da Pesquisa Anual de Serviços, constatou que o transporte rodoviário respondeu por 9,31% referente ao transporte de passageiros e 43,97% no que diz respeito ao transporte de carga de toda receita operacional líquida do setor de transportes. Isso apenas destaca a importância do modal para a economia nacional, considerando seu desempenho em conectar bens e serviços e facilitar o transporte de cargas através do setor logístico.

Em razão da alta demanda, o transporte rodoviário gera impactos ambientais, tais como: emissão de poluentes atmosféricos, aumento do nível de ruídos, proliferação de vetores e doenças e aumento de material particulado (Menezes, 2019). Silva et al., 2020, afirma que esse modal de transporte ainda depende bastante de fonte de energia não renovável para o seu funcionamento, o que resulta em altas emissões de gases poluentes e de efeito estufa. De outra perspectiva, o transporte rodoviário oferece a vantagem de um atendimento personalizado, permitindo a consolidação de diversos volumes em diferentes locais, além de se conectar a outros modos de transporte. O modal rodoviário proporciona uma maior facilidade para os serviços de coleta e entrega na porta do cliente, possibilitando o embarque e desembarque no local de origem e destino. Isso garante tanto a regularidade quanto a disponibilidade do serviço, além de oferecer flexibilidade na escolha de rotas e horários, o que traz um alto nível de conforto. Também se configura como uma opção rápida e eficiente para a entrega de produtos em pequenas quantidades e em distâncias curtas (Padillo et al., 2020).

## **2.3 Modal Hidroviário**

Conforme afirma a Agência Nacional de Águas – ANA (2010), hidrovia pode ser classificada como via interior ou via navegável, comumente atribuída a algum trecho

navegável, como rio, lagoas ou lagos. Entretanto, utiliza-se genericamente o termo hidrovias interiores para denominar vias navegáveis que dispõem de balização e sinalização, ou seja, vias que oferecem segurança aos tripulantes, cargas e embarcações (Ministério dos transportes, 2014).

No Brasil, existem cerca de 63 mil quilômetros de faixa fluvial que poderiam ser aplicados em navegação para transporte comercial de carga e passageiros, porém o país faz uso de apenas 19 mil km, equivalente a 30,9%, sendo que apenas 5% da movimentação utilizada de movimentação comporta o setor logístico de cargas (Nascimento, 2019).

São 12 as regiões hidrográficas do Brasil: Atlântico Leste, Amazônica, Atlântico Sudeste, Atlântico Nordeste Ocidental, Atlântico Nordeste Oriental, Tocantins - Araguaia, Parnaíba, Atlântico Sul, Uruguai, Paraná, Paraíba e São Francisco, sabendo que este último corta o estado de Pernambuco (CNT, 2019). Existe um crescimento na demanda de transporte nos últimos anos, através dos rios que cortam o território brasileiro, o que comprova o potencial do mesmo em contribuir com o setor econômico do país (CNT, 2019).

## **2.4 Caracterização do sistema de transporte de carga**

O entendimento e conceituação do setor logístico de transporte de cargas evoluíram por diversas perspectivas e integrações ao longo dos anos, principalmente envolvendo o século XX, com preocupações diferenciadas (Péra, 2022).

O transporte de cargas é uma atividade importante para a economia brasileira, mantendo-se através da globalização mercantil, viabilidade econômica e crescimento urbano (IEA, 2016).

Conforme levantamento do Boletim Estatístico da Confederação Nacional de Transporte - CNT (2024), a distribuição do transporte de carga demonstra que o modal rodoviário responde por 64,85% da demanda. Em segundo lugar, aparece o modal hidroviário (ou cabotagem) com 15,72%. Os outros modos de transporte, que incluem ferroviário, dutoviário e aéreo, compartilham o percentual restante. Essa divisão da matriz de transporte demonstra a dependência do setor logístico em relação ao modo rodoviário, o que pode resultar em objeções na economia regional, visto as falhas de operação. Além disso, o Brasil possui algumas regiões cuja estrutura não comporta o sistema de integração e deslocamento de outros modais, ou demonstram-se ineficientes, resultando no maior uso do modal rodoviário (Plaza et al., 2020).

Na cidade de Recife, além do sistema rodoviário de transporte de carga, tem-se o Porto do Recife, criado por volta do século XVI, com utilização do sistema de cabotagem, o qual desempenha um papel importante na importação e exportação de cargas. De acordo com a comparação anual sobre o movimento total de cargas, em 2023, o sistema de navegação de longo curso registrou a movimentação de mais de 1.000.000 de toneladas. (Porto do Recife, 2024).

## **3 METODOLOGIA**

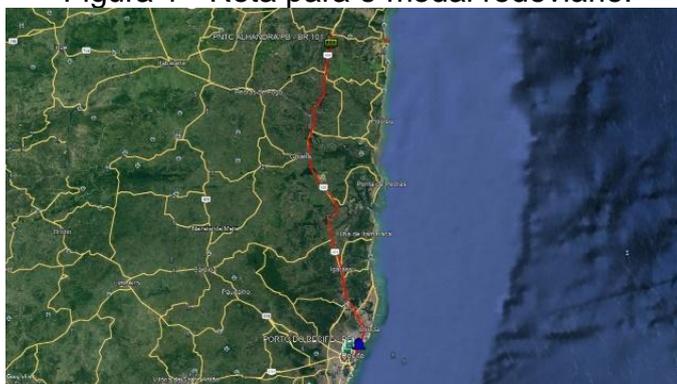
A análise da liberação de CO<sub>2</sub> entre dois diferentes modos de transporte foi realizada devido à significativa emissão desse gás gerada pela combustão do diesel. Para avaliar o consumo de diesel e emissão de dióxido de carbono, foram calculados os gastos de combustível nos sistemas de transporte terrestre e aquático, valendo-se

da metodologia proposta pelo Painel Internacional de Mudanças Climáticas (IPCC, 2014).

### 3.1 Área de estudo

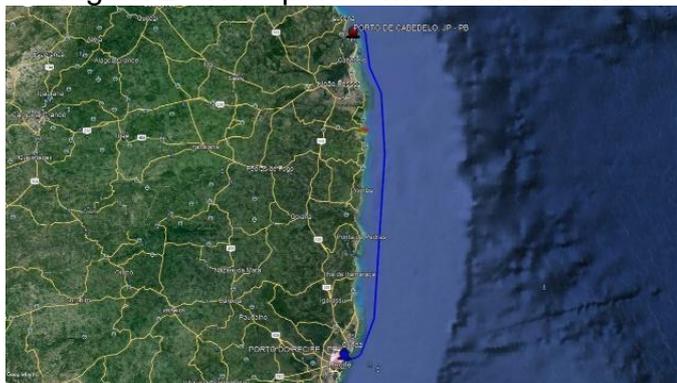
A opção pelos trechos rodoviário e hidroviário é fundamentada pelo fato de que o estado da Paraíba representa um ponto de convergência dos meios de transporte abordados nesta investigação. No que diz respeito ao transporte rodoviário, foi levado em conta o posto de contagem de tráfego do Departamento Nacional de Infraestrutura dos Transportes (DNIT) localizado no município de Alhandra – Paraíba, correspondente às coordenadas: latitude -7.294667, longitude -34.937694. A rota do sistema rodoviário inicia-se no posto de contagem previamente mencionado e se estende até o Porto do Recife Antigo, na cidade de Recife, cobrindo uma distância de 101,87 quilômetros, conforme evidenciado na figura 1. Já a rota hidroviária é caracterizada pela presença do Porto do Recife, que está localizado na capital pernambucana, com as coordenadas lat -8.046 e long -34.868, seguindo até o Porto de Cabedelo, cujas coordenadas são lat -6.9707 e long -34.839, no município de Cabedelo, Paraíba, conforme a figura 2. Esta trajetória totaliza 134 quilômetros. As informações sobre os postos dos modos de transporte utilizados neste estudo foram extraídas do Visualizador de Informações Geográficas do DNIT (2024).

Figura 1 - Rota para o modal rodoviário.



Fonte: Adaptado do Google Earth, 2024.

Figura 2 - Rota para o modal hidroviário.

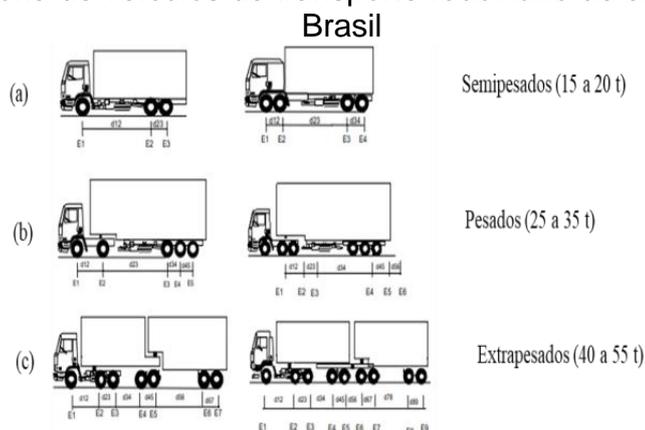


Fonte: Adaptado do Google Earth, 2024.

### 3.2 Caracterização dos veículos

Para o modal rodoviário foi utilizado o caminhão como meio de transporte logístico, o qual adota-se veículos com os seguintes eixos: 4, 5, 6, 7, 8 e 9. A capacidade de transporte de cada veículo irá variar conforme o número de eixos, sendo assim, tem-se caminhões com capacidade variando de 15 ton à 20 ton (semipesados), 25 ton à 35 ton (pesados) e 40 ton à 55 ton (extrapesados). A figura 3 ilustra os veículos típicos aplicados ao transporte rodoviário de cargas no Brasil, classificados conforme as suas respectivas capacidades de carga.

Figura 3: Categoria de veículos de transporte rodoviário de cargas utilizados no



Fonte: DNIT, 2020.

A Tabela 1 mostra os veículos juntamente com suas respectivas classificações: caminhões de 4 eixos são considerados semipesados; aqueles com 5 e 6 eixos são classificados como pesados; e, por último, as carretas que têm de 7 a 9 eixos são classificadas como extrapesadas.

Tabela 1: Classificação veicular conforme capacidade de carga e número de eixos.

CLASSIFICAÇÃO	NÚMERO DE EIXOS	CAPACIDADE DE CARGA DO VEÍCULO (T)
Semipesado	4	20
Pesado	5	30
	6	35
Extrapesado	7	40
	8	45
	9	55

Fonte: Adaptado da Agência Nacional de Transportes Terrestres - ANTT, 2024.

Para determinar o uso de combustível por quilômetro para cada tipo de caminhão, separou-se os veículos conforme classificação do eixo e capacidade de carga.

O Ministério dos Transportes junto a Agência Nacional de Transportes Terrestres - ANTT (2024) disponibiliza uma tabela que apresenta o rendimento médio em quilômetros por litro (km/l) para cada tipo de caminhão, separado conforme seu número de eixos. Um resumo dessa informação pode ser encontrado na tabela 2.

Tabela 2: Relação de rendimento médio segundo o Ministério dos Transportes

NÚMERO DE EIXOS DA COMPOSIÇÃO VEICULAR	RENDIMENTO MÉDIO (KM/LITRO)
2	3,950
3	3,000
4	2,650
5	2,300
6	2,000
7	2,000
9	1,725

Fonte: Adaptado da ANTT, 2024.

Com base nos valores apresentados na tabela 2, encontrou-se o rendimento médio em litro por quilômetro para os caminhões com eixos 4, 5, 6, 7 e 9. Quanto aos veículos com 8 eixos, calculou-se a média considerando os rendimentos das carretas com 7 e 9 eixos. Na tabela 3 é possível verificar os rendimentos encontrados para cada veículo, conforme classificação de peso, número de eixos e capacidade de carga.

Tabela 3: Consumo médio de combustível de caminhão

CLASSIFICAÇÃO	NÚMERO DE EIXOS	CAPACIDADE DE CARGA DO VEÍCULO (T)	CONSUMO MÉDIO DE COMBUSTÍVEL POR VEÍCULO (L/KM)
Semipesado	4	20	0,38
Pesado	5	30	0,43
	6	35	0,50
	7	40	0,50
Extrapesado	8	45	0,54
	9	55	0,58

Fonte: Elaboração própria, 2024.

Em relação ao modo hidroviário, o comboio adotado possui cerca de 200 metros de comprimento por 30 metros de largura, com capacidade de 12 mil toneladas (Barros et al, 2019). O consumo de combustível para o comboio é de 21,647 litros por quilômetros, conforme define a Empresa De Planejamento E Logística – EPL (2017).

Quanto ao fator de emissão de dióxido de carbono, o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores - PROCONVE (2020) junto ao Programa de Controle de Emissões Veiculares – PROMOT, define o fator de emissão de GEE para os dois modais de transporte abordados nesse trabalho. Considerando que o diesel é o combustível utilizado em ambos os modos de transporte, foi determinado o fator de emissão de dióxido de carbono como sendo 2,603 kg/l.

### 3.3 Carga

Para a estimativa das cargas transportadas, foram utilizados os dados mais recentes do Plano Nacional de Contagem de Tráfego (PNTC) do DNIT, correspondentes ao ano de 2022, localizado no município de Alhandra, Paraíba (PB), no KM 103 da BR 101. O PNTC disponibiliza pelo menos cinco tipos de tabelas: volume horário, volume total diário, volume médio diário conforme o tipo de dia da

semana (VMDd), variação do volume médio semanal (VMDs) e variação do volume médio mensal (VMDm). Será utilizada a tabela VMDm para estimar o volume de carga a ser transportada, a qual foi elaborada através do Termo de Execução Descentralizada (TED) firmado entre o DNIT e a Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). A seleção desta tabela ocorreu devido à sua estrutura, que calcula o total de veículos circulando em um mês, dividido pelos dias desse mês. Na tabela 4, é possível visualizar a quantidade de veículos categorizados por tipo de eixo nos meses de fevereiro, março, abril, maio e dezembro de 2022.

Tabela 4: Quantidade de veículo por eixo registrado no ano de 2022.

EIXOS	FEVEREIRO	MARÇO	ABRIL	MAIO	DEZEMBRO
4	681	650	654	681	681
5	501	480	473	497	501
6	481	476	475	507	528
7	146	129	134	142	157
8	12	12	11	11	12
9	101	93	91	86	129

Fonte: Adaptado do DNIT, 2022.

A quantidade de carga a ser transportada foi calculada multiplicando-se a capacidade de carga de cada veículo pelo número total de caminhões, de acordo com o tipo de eixo (4, 5, 6, 7, 8 e 9). Os resultados que indicam o total de carga transportada anualmente em toneladas, de acordo com o tipo de veículo, estão disponíveis na tabela 5.

Tabela 5: Volume de carga transportada em um ano

Eixos	Total caminhões/ANO	Carga transportada por ano (t)	Média de caminhões por mês (considerando 5 meses)
4	3347	66940	8295
5	2452	73560	490
6	2467	86345	493
7	708	28320	142
8	58	2610	12
9	500	27500	100

Carga total = 285275 toneladas

Fonte: Adaptado do DNIT, 2022.

Serão transportadas um total de 265.614 mil toneladas de carga pelos dois modos de transporte discutidos neste estudo.

### 3.4 Metodologia IPCC

Para analisar a emissão de dióxido de carbono em dois modais de transporte distintos (hidroviário e rodoviário), utilizou-se a base metodológica do Painel Internacional de Mudanças do Clima (IPCC), cujo modelo é adotado pelo Governo Federal, a fim de registrar emissões de GEE, juntamente ao Sistema de Registro Nacional de Emissões – SIRENE em 2014. Outro ponto relevante é a sistemática adotada, pois a abordagem da metodologia utilizada para o cálculo estimativo referente à emissão do CO<sub>2</sub> limita-se às propagações diretas de dióxido de carbono (IPCC, 2014).

Assim, com base na metodologia do IPCC, foram definidas as Equações i e ii:

$$CC = \sum V x D x Consumo \quad (i)$$

Onde:

**CC** = Consumo do Combustível: Consumo total a ser estimado de combustível (t);

**V** = Veículos: Número de veículos;

**D** = Distância: Distância anual percorrida por veículos (km);

**Consumo**: consumo médio de combustível por veículo (L/km)

$$E = \sum a [ CC x (FEa / 10^6) ] \quad (ii)$$

Em que:

- **E** = Emissões: Emissões diretas de CO<sub>2</sub> (t);
- **CC** = Consumo do Combustível: Consumo total a ser estimado de combustível (t);
- **FEa**: Fator de emissão (g/l);
- **a**: Refere-se ao tipo de combustível, para essa situação é o diesel;
- 1.000.000: fator de conversão de grama para tonelada.

O cálculo do consumo de combustível pelos dois modos de transporte abordados neste trabalho é estimado por meio da equação 1, a qual é determinada com base no combustível consumido conforme autonomia de cada tipo de veículo, ou seja, a distância que o veículo pode percorrer consumindo uma quantidade específica de combustível. Por outro lado, o cálculo da emissão de dióxido de carbono (Equação 2) se fundamenta em dois critérios. O primeiro deles é o Fator de Emissão (FE), que representa a quantidade de poluentes liberada pelos veículos ao percorrer uma certa distância (CETESB, 2020). Nesse contexto, a Equação 1 contribui para a estimativa das emissões de CO<sub>2</sub>. Entre os parâmetros mencionados na equação anterior, encontram-se os tipos de veículos, que incluem os caminhões de carga com 4 a 9 eixos para o transporte rodoviário e os comboios utilizados na navegação. Além disso, consideram-se a distância viajada e o fator de consumo, que é definido pela autonomia de cada veículo. Para o cálculo das emissões de CO<sub>2</sub> desconsiderou-se o peso dos veículos de ambos os modais.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Iniciando a análise dos resultados gerados a partir da comparação da emissão de dióxido de carbono entre dois modais de transporte, na tabela 6 é apresentado um resumo com aspectos sobre os modos rodoviário e hidroviário.

Tabela 6: Extensão a percorrer, consumo de combustível dos veículos e fator de emissão de CO2.

CATEGORIA DE VEÍCULOS (Caminhões)	MODAL	EXTENSÃO (KM)	CONSUMO MÉDIO DE COMBUSTÍVEL POR VEÍCULO (L/KM)	FATOR DE EMISSÃO DE CO2 (KG/L)
4 Eixos	Rodoviário	101,87	0,38	2,603
5 Eixos			0,43	
6 Eixos			0,50	
7 Eixos			0,50	
8 Eixos			0,54	
9 Eixos			0,58	
Comboio	Hidroviário	138,15	21,647	2,603

Fonte: Elaboração própria, 2024.

Nota-se que o comboio fluvial consome até 57 vezes mais combustível que os caminhões, considerando um percurso de um quilômetro, porém, o fator de emissão de CO2 calculado manteve-se igual para ambos os modos.

#### 4.1 Consumo de Combustível e Emissão total de CO2

A partir dos dados levantados, calculou-se o volume de combustível consumido e emissão direta de CO2 por tipo de veículo. Foram utilizados 9532 caminhões ao longo da BR 101 para transportar 285.275 ton de carga. Em contrapartida, o modo aquaviário precisou de 24 comboios, aproximadamente, para locomover o mesmo volume de carga. As tabelas 7 e 8 demonstram os resultados descritos.

Tabela 7: Consumo do combustível e emissão de CO2 na BR 101/PB até o Porto do Recife.

EIXOS	TOTAL CAMINHÕES	CONSUMO TOTAL DE COMBUSTÍVEL POR VEÍCULO (L)	EMIÇÃO DE CO2 (T/L)
4	3347	129564,38	0,33700
5	2452	107407,65	0,28000
6	2467	125656,65	0,32700
7	708	36061,98	0,09400
8	58	3190,57	0,00800
9	500	29542,30	0,07700

Fonte: Elaboração própria, 2024.

Tabela 8: Consumo do combustível e emissão de CO2 por comboios no modo hidroviário.

TOTAL COMBOIOS	CONSUMO DE COMBUSTÍVEL (L)	EMIÇÃO DE CO2 (T/L)
4	11961,87	0,031
5	14952,34	0,039
5	14952,34	0,039
5	14952,34	0,039
5	14952,34	0,039

Fonte: Elaboração própria, 2024.

Na tabela 9, nota-se que a quantidade total de CO2 emitida pelo transporte hidroviário foi inferior à do transporte rodoviário, uma vez que a capacidade de carga do trem é aproximadamente 200 vezes superior à dos caminhões.

Em 2023, na 11ª edição do SEEG e através do Observatório do Clima em 2023, foram divulgados resultados que revelam aumento no consumo de diesel no setor de transporte rodoviário pelo segundo ano consecutivo, e isso levou a um acréscimo de 6% no volume de CO2. Esse acréscimo foi observado na comparação realizada neste trabalho. A queima de combustível no sistema de transporte rodoviário foi 83,35% maior em relação ao comboio fluvial.

Tabela 9: Comparação do gasto de diesel e emissão de CO2 entre os modos rodoviário e hidroviário.

MODO DE TRANSPORTE	CONSUMO TOTAL DE COMBUSTÍVEL (L)	EMISSÃO TOTAL DE CO2 (T/L)	CONSUMO DE COMBUSTÍVEL (em porcentagem)	EMISSÃO DE CO2 (em porcentagem)
Rodoviário	431423,53	1,123	100%	100%
Hidroviário	71771,23	0,187	16,65%	16,65%

Fonte: Elaboração própria, 2024.

A tabela 10 apresenta resultados de uma simulação cujo objetivo foi de comparar a emissão de CO2 entre os modais, considerando que cada caminhão estaria transportando um volume de 12.000 toneladas de carga, equivalente à capacidade do veículo fluvial. Os dados revelam que veículos com menor capacidade tendem a apresentar um consumo de combustível mais elevado, resultando, assim, em uma maior emissão de dióxido de carbono. Entretanto, o caminhão com 7 eixos apresentou emissão de CO2 maior que a carreta com 8 eixos, fato explicado pela capacidade de carga (caminhão 7 eixos = 40 ton e caminhão 8 eixos = 45 ton) e principalmente pelo rendimento médio, pois a tabela da ANTT (2024) define rendimento de 2 km/l para ambos veículos.

Tabela 10: Comparação de emissão de CO2 por tipo de veículo para transporte de um volume de 12000 t.

VEÍCULO	QUANTIDADE DE VEÍCULOS NECESSÁRIOS	CONSUMO DE COMBUSTÍVEL (L)	EMISSÃO DE CO2 (T/L)	EMISSÃO DE CO2 (em porcentagem)
Caminhão 4 eixos	600,00	23226,36	0,0605	100,00%
Caminhão 5 eixos	400,00	20374,00	0,0530	87,60%
Caminhão 6 eixos	343,00	17470,71	0,0455	75,21%
Caminhão 7 eixos	300,00	17725,38	0,0461	76,20%
Caminhão 8 eixos	267,00	15775,59	0,0411	67,93%
Caminhão 9 eixos	219,00	12939,53	0,0337	55,70%
Comboio Fluvial	1,00	2990,47	0,0078	12,89%

Fonte: Elaboração própria, 2024.

Outra simulação foi realizada para comparar a capacidade de emissão de GEE de acordo com os tipos de veículos. Desta vez, os cálculos visam investigar quanto CO2 seria emitido caso a carga total (285.275 ton) fosse transportada por um só tipo de veículo, mantendo a mesma distância de percurso já determinada para cada modal. Realizando comparação entre o veículo de menor capacidade de carga (4 eixos) com

as demais carretas, encontramos aumento de quase 45% em emissão de gás poluente. Em comparação com o comboio fluvial, o caminhão semipesado (4 eixos) é capaz de emitir, aproximadamente, 8 vezes mais CO<sub>2</sub>. Nota-se que quanto maior a capacidade de carga do caminhão, menor a taxa de emissão de dióxido de carbono. Os resultados encontrados estão dispostos na tabela 11.

Tabela 11: Comparação de emissão de CO<sub>2</sub> para transporte da carga total transportada, separada por trecho e tipo de veículo.

VEÍCULO	CARGA TRANSPORTADA (T)	CAPACIDADE UNITÁRIA (T)	QUANTIDADE DE VEÍCULOS	CONSUMO DE COMBUSTÍVEL (L)	EMIÇÃO DE CO <sub>2</sub> (T)	EMIÇÃO DE CO <sub>2</sub> (em porcentagem)
Caminhão 4 eixos	285275	20	14264	552168,00	1,437	100,00%
Caminhão 5 eixos	285275	30	9509	484340,92	1,261	87,75%
Caminhão 6 eixos	285275	35	8151	415171,19	1,081	75,23%
Caminhão 7 eixos	285275	40	7132	421391,37	1,097	76,34%
Caminhão 8 eixos	285275	45	6339	374537,28	0,975	67,85%
Caminhão 9 eixos	285275	55	5187	306471,82	0,798	55,53%
Comboio Fluvial	285275	12000	24	71771,23	0,187	13,01%

Fonte: Elaboração própria, 2024.

Branco et al (2023) afirma que à medida que aumenta a participação de caminhões com maior capacidade de transporte de carga (caminhões de 7 a 9 eixos com capacidade de carga até 55 ton), colabora para a possibilidade de redução de CO<sub>2</sub>. Esse fato foi observado na simulação apresentada na imagem acima, pois conforme aumenta a capacidade de carga dos caminhões, há uma redução no consumo de combustível, conseqüentemente também colabora para mitigar o dióxido de carbono liberado na queima do diesel.

## 5 CONCLUSÕES

O estudo analisou a emissão de gases de efeito estufa (GEE) por dois modais de transporte diferentes, o hidroviário e rodoviário, demonstrando a relevância das variáveis ambientais quando se trata de transporte de carga em área urbana. Para o volume de carga total transportada, o modo hidroviário mostrou-se mais viável quanto à emissão de dióxido de carbono na queima do combustível, reduzindo em mais de 1/6 a emissão de CO<sub>2</sub>, quando comparado ao modo rodoviário. Tomando como referência o veículo com menor capacidade (caminhão de 4 eixos, adotando 100% de emissão relativa), os resultados obtidos na simulação revelaram que houve um decréscimo de 44,30% de gás emitido pelo caminhão de 9 eixos, quanto os demais veículos (5, 6, 7 e 8 eixos) apresentaram uma redução da taxa de emissão de CO<sub>2</sub> entre 12 e 32%. Esses resultados demonstram que veículos com maior capacidade de carga irão contribuir para mitigação dos efeitos da queima do combustível, uma vez que precisarão de menos viagens para transportar um determinado volume de material. A utilização de hidrovias na matriz de transporte coopera para a mitigação da emissão de gases poluentes e reduz o custo ambiental, pois utilizando comboios fluviais possuem capacidade de armazenamento até 218 vezes maior que um caminhão de 9 eixos (55 ton). Cabe destacar que o objeto deste estudo não visou observar os custos das ações, mas sim, estimar a emissão de GEE.

## REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Trechos Hidroviários. Catálogo de Metadados da ANA**. Brasil, 2010. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/48e26e99-db01-45dc-a270-79f27680167b>. Acesso em 18 nov 2023.
- BARROS, Bruna R. C et al. **Comparação de emissão de CO2 entre os modos rodoviário e hidroviário – ensaio sobre o corredor norte/eixo Tocantins**. Diretoria de Infraestrutura Aquaviária, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes Brasília. Distrito Federal (DF), Brasil, 2017. Acesso em: 21 nov 2023.
- BRANCO, José E. H. *et al.* **Acões e políticas para redução da emissão de CO2 no transporte de cargas no Brasil**. Transportes, Piracicaba, São Paulo, Brasil, Vol. 31. N. 2. P. 18. Julho 2023.
- BARTHOLOMEU, Daniela B.; PÉRA, Thiago G.; FILHO, José V. C. **Sustentável: avaliação de estratégias de redução das emissões de CO2 no transporte rodoviário de cargas**. The Journal of Transport Literature, Universidade de São Paulo (USP), Piracicaba, Brasil, v. 10, n. 3, p. 15-19, julho, 2016.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES, CNT. Boletins técnicos, Brasília, DF, fev. 2024. Disponível em: <https://cnt.org.br/boletins>. Acesso em: 08 mar. 2024.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES, CNT. **Pesquisa CNT de rodovias 2019. CNT, SEST, SENAT**. Brasília, p. 238. 2019.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES, CNT. **O transporte move o Brasil: propostas da CNT ao país**. 1 ed., vol. 1, Brasília, CNT, 2022. 1 vols. Acesso em 23 nov 2023.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Quadro de Fabricantes de Veículos**. Brasília: DNIT, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/rodovias/operacoes-rodoviaras/pesagem/QFV2012ABRIL.pdf>. Acesso em 16 mar 2024.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Plano Nacional de Contagem de Tráfego, PNTC**. Brasil, 2022. Disponível em: <https://servicos.dnit.gov.br/dadospntc/ContagemContinua>. Acesso em: 20 fev 2024.
- ECO. **Gases do efeito estufa: Dióxido de Carbono (CO2) e Metano (CH4)**. Eco, 2014. Disponível em: <https://oeco.org.br/dicionario-ambiental/28261-gases-do-efeito-estufa-dioxido-de-carbono-co2-e-metano-ch4/>. Acesso em 18 nov 2023.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, EPE. **BEN - Balanço Energético Nacional**. Brasil, 2022. Disponível em: <http://shinyepe.brazilsouth.cloudapp.azure.com:3838/ben/>. Acesso em: 20 mar 2024.
- EMPRESA DE PLANEJAMENTO E LOGÍSTICA, EPL. **Estudo dos custos de transporte hidroviário no Brasil – elaboração de ferramenta de simulação**. Governo Federal - Brasil, 2017. Disponível em: <https://www.epl.gov.br/frete/source/data/coastal-waterways.xlsx>. Acesso em: 28 nov 2023.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **CO2 emissions from fuel combustion by sector in 2014, in CO2 Emissions from Fuel Combustion, IEA**. Paris, 2016. Disponível em: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/co2-emissions-from-fuel-combustion-highlights-2016.html>. Acesso em: 08 mar. 2024.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA. **Energy system of Brazil**. Brazil Countries & Regions, 2023. Disponível em: <https://www.iea.org/countries/brazil>. Acesso em: 12 dez 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Áreas Territoriais**. IBGE, 2021. Disponível em:

<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/servicos/9028-pesquisa-anual-de-servicos.html?edicao=37743&t=resultados>. Acesso em 24 nov 2023.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. **Climate Change 2014 Synthesis Report Fifth Assessment Report**. IPCC, 2014. Disponível em: <http://ar5-syr.ipcc.ch/>. Acesso em 25 nov 2023.

GARG, Amit; KAZUNARI, Kainou; PULLES, Tinus. **IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. 2006. N. 29. Vol. 2. Energy. Intergovernmental Panel On Climate Change – IPCC. Japão, 2006. Disponível em: [http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/2\\_Volume2/V2\\_1\\_Ch1\\_Introduction.pdf](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/2_Volume2/V2_1_Ch1_Introduction.pdf). Acesso em: 17 nov 2023.

LEITE, Vinicius P. et al. **Emissões de gases de efeito estufa no estado de São Paulo: análise do setor de transportes e impactos na saúde**. Vitale, 2020. Disponível em: <https://periodicos.furg.br/vittalle/article/view/12220/8382>. Acesso em 20 nov 2023.

MENEZES, V. S. **Impactos Ambientais do Transporte Rodoviário**. UFF - Universidade Federal Fluminense, 13 p. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: [https://www.academia.edu/98048505/IMPACTOS\\_AMBIENTAIS\\_DO\\_TRANSPORTE\\_E\\_RODOVI%C3%81RIO](https://www.academia.edu/98048505/IMPACTOS_AMBIENTAIS_DO_TRANSPORTE_E_RODOVI%C3%81RIO). Acesso em: 15 jan 2024.

MINISTÉRIO DAS RELAÇÕES EXTERIORES. **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](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: 2 nov 2023.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Acordo de Paris**. GOV.BR Brasil, 2023. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/acordo-de-paris.html>. Acesso em: 21 nov 2023.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. **Agência Nacional De Transportes Terrestres, Antt. Agência Nacional De Transportes Terrestres, ANTT**. GOV.BR Brasil, 2024. Disponível em: [https://anttlegis.antt.gov.br/action/ActionDatalegis.php?acao=abrirTextoAto&link=S&tipo=POR&numeroAto=00000001&seqAto=ATT&valorAno=2024&orgao=SUROC/ANTT/MT&codTipo=&desItem=&desItemFim=&cod\\_modulo=421&cod\\_menu=7782](https://anttlegis.antt.gov.br/action/ActionDatalegis.php?acao=abrirTextoAto&link=S&tipo=POR&numeroAto=00000001&seqAto=ATT&valorAno=2024&orgao=SUROC/ANTT/MT&codTipo=&desItem=&desItemFim=&cod_modulo=421&cod_menu=7782). Acesso em: 18 mar 2024.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. **Conceitos Hidroviários**. GOV.BR Brasil, 2014. Disponível em: <https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/dados-de-transportes/sistema-de-transportes/conceitos-hidroviarios>. Acesso em 18 nov 2023.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. **Lei nº 13.703, de 08 de agosto de 2018. Institui A Política Nacional De Pisos Mínimos Do Transporte Rodoviário De Cargas**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 09 ago. 2018, Resolução nº 6.034, de 18 de janeiro de 2024. Disponível em:

[https://anttlegis.antt.gov.br/action/ActionDatalegis.php?acao=abrirTextoAto&link=S&tipo=POR&numeroAto=00000001&seqAto=ATT&valorAno=2024&orgao=SUROC/ANTT/MT&codTipo=&desItem=&desItemFim=&cod\\_modulo=421&cod\\_menu=7782](https://anttlegis.antt.gov.br/action/ActionDatalegis.php?acao=abrirTextoAto&link=S&tipo=POR&numeroAto=00000001&seqAto=ATT&valorAno=2024&orgao=SUROC/ANTT/MT&codTipo=&desItem=&desItemFim=&cod_modulo=421&cod_menu=7782). Acesso em: 15 de março de 2024.

NASCIMENTO, Luciano. **Brasil utiliza 30% dos rios para transporte comercial, diz CNT**. Agência Brasil, 2019. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2019-10/brasil-utiliza-30-dos-rios-para-transporte-comercial-diz-cnt>. Acesso em 18 nov 2023.

PADILLO, Alejandro R.; SILVEIRA, Caroline A.; TORRES, Tânia B. **Sistemas de Transporte: Introdução, conceitos e Panorama**. 1 ed. Cachoeira do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil: Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, 2020. ISBN 978-65-88377-00-0.

PAIXÃO, Alfredo A.; JOIA, Paulo R. TRANSPORTE RODOVIÁRIO E ORGANIZAÇÃO ESPACIAL NA MICRORREGIÃO GEOGRÁFICA DE AQUIDAUANA (MS). 2019. P. 14. Vol. 23. Ciência Geográfica – Bauru, São Paulo, 2019.

PÉRA, Thiago G.; BARTHOLOMEU, D.B.; C.T. Su et al. (2019) **Evaluation of green transport corridors of Brazilian soybean exports to China**. Brazilian Journal of Operations & Production Management, v. 16, n. 3, p. 398-412. DOI: 10.14488 / BJOPM. 2019. v16. n3. a4.

PÉRA, Thiago G. **Efeitos das mudanças tecnológicas e infraestruturais do transporte para o fomento da logística verde da soja brasileira: abordagens multiobjetivos**. 2022. p. 172. Economia Aplicada – Universidade de São Paulo (USP), Piracicaba, São Paulo, 2022.

PLAZA, C. V. et al. **Economic and environmental location of logistics integration centers: the Brazilian soybean transportation case**. TOP 28, p. 749–77, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11750-020-00566-x>.

PORTOS E NAVIOS. **Cabotagem e transporte aquaviário protagonizam crescimento no Brasil**. Portos e Navios, 2020. Disponível em: <https://www.portosenavios.com.br/noticias/navegacao-e-marinha/cabotagem-e-transporte-aquaviario-protagonizam-crescimento-no-brasil>. Acesso em: 18 mar 2024.

POTENZA, Renata F. *et al.* **Análise das emissões de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas climáticas do Brasil: 1970-2021**. Vol 4. Brasil: SEEG, 2023. Disponível em: <https://www.oc.eco.br/wp-content/uploads/2023/03/SEEG-10-anos-v4.pdf>. Acesso em: 01 mar 2024.

PROCONVE PROMOT. **Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores**. 3 ed. vol. 2. Brasília, 2020. Disponível em: [https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/emissoes-e-residuos/emissoes/arquivos/manual%20proconve%20promot\\_portugues.pdf](https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/emissoes-e-residuos/emissoes/arquivos/manual%20proconve%20promot_portugues.pdf). 584 vols. Acesso em: 28 nov 2023.

RECIFE. Porto do Recife S.A, 2024. **História do Porto do Recife S.A**. Disponível em: <https://www.portodorecife.pe.gov.br/>. Acesso em: 01 mar. 2024.

RODRIGUES, S. de M.; CASTRO, F. M. de M. **Transporte fluvial e turismo: uma análise das potencialidades dos cânions do rio São Francisco e do atracadouro da Terra Caída em Sergipe (Brasil)**. Turismo e Sociedade, vol. 4, n. 2. Outubro, 2011, p. 323-342. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/tes.v4i2.24766>. Acesso em 17 nov 2023.

SANTOS, Júlio C. **O Papel do Transporte Fluvial na Mobilidade Urbana Sustentável Estudo de caso: Brusque -SC – Brasil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana Ramo Cidades Sustentáveis). Novembro, 2019. Disponível em: <https://www.proquest.com/openview/3f5424bdd127462e0d931615e841f2ef/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2026366&diss=y>. Acesso em 21 nov 2023.

SILVA, P. B. *et al.* **Potencial De Redução De Emissão De CO2 Pelo Uso De Transporte Ferroviário: Um Estudo De Caso No Brasil.** 2020. P. 17. Vol. 6. Transportes – Universidade de Brasília (UNB), Brasília, 2019. ISSN 2447-6102.

SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES E REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA - SEEG. **Emissões dos setores de energia, processos industriais e uso de produtos: documento de análise.** SEEG Brasil, 2021. Disponível em: <http://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2018/05/Relato%CC%81rios-SEEG-2018-Energia-Final-v1.pdf>. Acesso em 22 nov 2023.

TEIXEIRA, C. **Para desenvolver o modal hidroviário.** CNT, 2019. Disponível em: <https://cnt.org.br/agencia-cnt/para-desenvolver-o-modal-hidroviario>. Acesso em: 10 outubro 2021.

VGEO. **DNITGeo.** GOV BR, 2024. Disponível em: <http://servicos.dnit.gov.br/vgeo/>. Acesso em: 18 mar 2024.

GE, Mengpin; FRIEDRICH, Johannes; VIGNA, Leandro. **4 Charts Explain Greenhouse Gas Emissions by Countries and Sectors.** World Resources Institute, 2022. Disponível em: <https://www.wri.org/insights/4-charts-explain-greenhouse-gas-emissions-countries-and-sectors>. Acesso em: 23 mar 2024.