

**TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE CARGAS: COMO SELECIONAR UM MÉTODO PARA CÁLCULO  
DE EMISSÃO DE CO<sub>2</sub> DA SUA FROTA?**

***ROAD CARGO TRANSPORT: HOW TO SELECT A METHOD TO CALCULATE CO<sub>2</sub> EMISSIONS  
FOR YOUR FLEET?***

***TRANSPORTE DE CARGAS POR CARRETERA: ¿CÓMO SELECCIONAR UN MÉTODO PARA  
CALCULAR LAS EMISIONES DE CO<sub>2</sub> DE SU FLOTA?***

**Luiz Eduardo Simão**

Universidade do Vale do Itajaí (Univali). Doutor em Engenharia de Produção e Sistemas pela UFSC. Doutorado Sanduíche no Fraunhofer Institute IML - Institute for Material Flow and Logistics, Alemanha.

E-mail: [luiz.es@univali.br](mailto:luiz.es@univali.br)

**Géssica Luiza Scariot**

Universidade do Vale do Itajaí (Univali). Mestre em Administração, Gestão, Internacionalização e Logística pela Univali.

E-mail: [gessica.scariot@hotmail.com](mailto:gessica.scariot@hotmail.com)

**Marcos Antonio Cezne**

Universidade do Vale do Itajaí (Univali). Mestre em Administração, Gestão Internacional e Logística pela Univali.

E-mail: [marcoscezne@gmail.com](mailto:marcoscezne@gmail.com)

Artigo recebido em 06/06/2021. Revisado por pares em 28/02/2022. Reformulado em 10/06/2022. Recomendado para publicação em 19/06/2022, por Ademar Dutra (Editor Científico). Publicado em 29/07/2022.. Avaliado pelo Sistema double blind review.

©Copyright 2021 UNISUL-PPGA/Revista Eletrônica de Estratégia & Negócios. Todos os direitos reservados. Permitida citação parcial, desde que identificada a fonte. Proibida a reprodução total. Revisão gramatical, ortográfica e ABNT de responsabilidade dos autores.

## **RESUMO**

O artigo apresenta um método para cálculo de emissão de CO<sub>2</sub> baseado no consumo de combustíveis no transporte rodoviário de cargas, através de estudo de caso único e abordagem conceitual de revisão de literatura para identificar os diferentes métodos de cálculo existentes. A seleção do método levou em consideração: facilidade de uso, número de variáveis necessárias para o cálculo e existência de informações sobre fatores de emissão. Os resultados indicaram uma emissão de CO<sub>2</sub> da frota de 1.643 toneladas/ano com o uso de biodiesel S-10, redução de 10,5% em relação ao total de emissão de CO<sub>2</sub> do diesel S-500.

**Palavras-chave:** transporte rodoviário; operações sustentáveis; cálculo CO<sub>2</sub>; mitigar; descarbonização.

## **ABSTRACT**

The article presents a method for calculating CO<sub>2</sub> emissions based on fuel consumption in road freight transport, through a single case study and a conceptual review of literature approach to identify the different existing calculation methods. The method selection took into account: ease of use, the number of variables needed for the calculation and the existence of information regarding emission factors. The results indicated a fleet's CO<sub>2</sub> emission rate of 1,643 tons/year with the use of S-10 biodiesel, indicating a reduction of 10.5% in relation to the total CO<sub>2</sub> emission of the S-500 diesel. The goal of this article is to present a way to select a practical method for calculating CO<sub>2</sub> emission based on fuel consumption for road freight transport companies.

**Keywords:** road transport; sustainable operations; CO<sub>2</sub> calculation; mitigate; decarbonization.

## **RESUMEN**

El presente artículo presenta un método para calcular las emisiones de CO<sub>2</sub> basado en el consumo de combustible en el transporte de mercancías por carretera, a través de un estudio de caso único y un abordaje conceptual de revisión bibliográfica para identificar los diferentes métodos de cálculo existentes. La selección del método tuvo en cuenta: facilidad de uso, número de variables necesarias para el cálculo y existencia de información sobre los factores de emisión. Los resultados indicaron una emisión de CO<sub>2</sub> de la flota de 1.643 toneladas/año con el uso de biodiésel S-10, una reducción del 10,5% con relación a la emisión total de CO<sub>2</sub> del diésel S-500.

**Palabras clave:** transporte por carretera; operaciones sostenibles; Cálculo de CO<sub>2</sub>, mitigación; descarbonización.

## **1 INTRODUÇÃO**

O transporte de cargas é um importante setor econômico alimentado pelo crescimento econômico, globalização dos mercados e urbanização. Estima-se que até 2050, o crescimento do transporte de mercadorias de superfície (rodovia e ferrovia) é projetado para variar de 100% e 430% nas economias não-OCDE. Em todo o mundo, o setor de transporte foi responsável por 23% das emissões totais de CO<sub>2</sub> provenientes da combustão de combustíveis, sendo que o transporte rodoviário foi responsável por 20% desse total (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2016). Segundo o relatório do IPCC (2014), o CO<sub>2</sub> é responsável por mais de 97% das emissões totais de Gases de Efeito Estufa (GEE) de fontes móveis.

Foi de 9,5% o aumento das emissões brutas de gases de efeito estufa no Brasil em 2020. No ano em que a pandemia da Covid-19 parou a economia mundial e causou uma inédita redução de quase 7% nas emissões globais, o país foi na contramão do resto do mundo, tornando-se possivelmente o único grande emissor do planeta a verificar alta. O total de emissões brutas atingiu 2,16 bilhões de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente (GtCO<sub>2</sub>e)<sup>2</sup> no ano de 2020, contra 1,97 bilhão de toneladas em 2019. O nível de emissões verificado em 2020 é o maior desde o ano de 2006 (SEEG, 2021).

Dada a importância do tema e do volume de emissões de CO<sub>2</sub> emitido pelo transporte rodoviário de cargas, a determinação das quantidades de emissões de CO<sub>2</sub> por parte da frota de caminhões de uma transportadora de cargas foi o objeto de estudo deste trabalho. Apesar de não ser considerado um gás poluente, é o gás do efeito estufa mais importante (GEE), e se o aquecimento global ultrapassar o limite de segurança de 2°C, as consequências poderiam estar entre ruim e catastrófico (IPCC, 2014). Como tal, os gases de efeito estufa poderão comprometer o ritmo da atividade econômica do país, já que “[...] poderão causar grandes impactos sobre a economia em decorrência de mudanças drásticas no meio ambiente diante do aquecimento do clima” conforme relatório do IPEA (MOTTA, 2011, p. 12).

Ainda na Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas (COP21), debateu-se maneiras de deter o aumento da temperatura do planeta abaixo dos 2°C, quando comparado à temperatura média pré-industrial, e a ajudar economicamente os países mais vulneráveis ao aquecimento global. Para a entrada em vigor do acordo, que substituiu a partir de 2020 o atual Protocolo de Kyoto, 55 países que representam 55% das emissões de GEE

precisavam ratificá-lo, o que foi alcançado em 4 de novembro de 2016. Até junho de 2017, 195 membros da Convenção assinaram o acordo, e 147 destes, entre eles o Brasil, o ratificaram (GOES *et al.*, 2020).

As contribuições acordadas pelos países no Acordo de Paris, não serão suficientes para manter o aquecimento do planeta em um nível seguro. É por isso que se insiste tanto em estimular um aumento de ambição entre os países para reduzir as emissões de gases de efeito estufa (COP 25). Uma das maneiras de elevar essa ambição e garantir que os objetivos de longo prazo do Acordo de Paris sejam cumpridos é através de mercados de carbono. Para isso, são necessárias regras robustas e bem estruturadas, com a agilidade necessária para atender a urgência climática, e que garantam a integridade ambiental do planeta.

A regulamentação em nível internacional desses mercados tem sido um desafio para negociadores climáticos, diplomatas, representantes de governos e do setor privado. No Brasil, um mercado de carbono pode gerar diversas oportunidades, visto que o país conta com um vasto portfólio de ativos de baixo carbono. Um posicionamento formal de apoio à precificação de carbono como uma ferramenta necessária para avanços econômicos, tanto para um mercado de carbono nacional quanto de âmbito global, com o incentivo e maximização das reduções de emissões adicionais em todos os setores e gerando financiamento para a adaptação climática, os mercados de carbono podem ajudar no combate às mudanças climáticas (COP26). No que diz respeito aos mercados de carbono, a meta da COP26 buscou estabelecer regras a fim de garantir que sejam robustas e alinhadas aos objetivos do Acordo de Paris.

Para melhorar a imagem e aumentar a eficiência nos negócios, mas também por causa de pressões legais, cada vez mais atenção está sendo dada às soluções “verdes”. Entretanto, atualmente, existe uma variedade considerável entre as metodologias existentes para o cálculo de emissões de CO<sub>2</sub> em serviços de transporte e seus bancos de dados recomendados. Assim, ter uma gama tão ampla de métodos e ferramentas de cálculo disponível para fazer o cálculo e a comparação direta dos resultados, mesmo para cadeias de suprimentos mais simples, tornam-se uma tarefa árdua. A multiplicidade de ferramentas e metodologias faz a escolha e a análise dos impactos (percebidos) na precisão dos cálculos ser difícil, especialmente no caso de cadeias de suprimentos multimodais complexas. Assim, o problema

de pesquisa a ser respondido nesse artigo é: como definir o melhor método para calcular a emissão CO<sub>2</sub> em empresas de transporte rodoviário de cargas ?

Essa pesquisa se justifica, pois, fornecedores logísticos, operadores de transporte, entre outros envolvidos nestas atividades, exigem um padrão de cálculo de CO<sub>2</sub> claro, global e transparente. Contudo, atualmente, há uma mistura de padrões apoiados pelo estado, padrões desenvolvidos por associações, recomendações de órgãos de pesquisa, abordagens regionais e padrões para modos de transporte individuais, mas falta um padrão global harmonizado (KELLNER; SCHNEIDERBAUER, 2019). Isso cria desafios em relação à compatibilidade e precisão entre os padrões, principalmente para aqueles que exigem padrões para vários modos de transporte.

Ainda é importante ressaltar o compromisso internacional acerca do impacto ambiental causado pela emissão de CO<sub>2</sub>, conforme vem sendo tratado em acordos internacionais, dentre eles a COP21, no intuito de frear o aquecimento global decorrente da emissão de poluentes (WILD, 2021).

Assim, o objetivo desse trabalho é a seleção de uma metodologia mais adequada, baseada em critérios menos complexos para determinar as quantidades de emissão de uma frota usada numa rede de transporte rodoviário de cargas.

Para fazer isso, o artigo está estruturado em quatro seções. Na primeira seção são apresentados a fundamentação teórica sobre a emissão de CO<sub>2</sub> no setor de transporte no Brasil e as principais metodologias usadas para fazer a medição dessas emissões. Na sequência, é apresentada a metodologia utilizada na pesquisa. A seguir é apresentado os dados do caso objeto de estudo, bem como a análise dos dados e a discussão dos resultados. Por fim, são apresentadas as conclusões.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

Estima-se que o transporte de superfície total (rodoviário e ferroviário) aumente de 32 bilhões de toneladas-quilômetro em 2015 para cerca de 83 bilhões de toneladas-quilômetro em 2050, representando cerca de 25% do total da movimentação global de mercadorias. O transporte de carga aumentará em todas as regiões, mas existem grandes diferenças entre as

economias da OCDE e não-OCDE. A maior parte do crescimento ocorrerá em economias em desenvolvimento, com os volumes triplicando nas economias não-OCDE para representar quase 80% de toda a demanda de transporte de carga em 2050 (OECD, 2017).

As empresas de transporte têm à sua disposição uma gama de diferentes modais de transporte possíveis pelos quais transportam as suas mercadorias. Para tomar essa decisão, cada vez mais atenção deve ser dada às soluções “verdes” para melhorar a imagem e aumentar a eficiência para os negócios, mas também por causa de pressões legais (LEONARDI; BAUMGARTNER, 2004). Nesse sentido, diferentes países já possuem sua própria legislação ou requisitos em matéria de contabilidade de CO<sub>2</sub>.

Do ponto de vista ambiental, a operação de transporte é a que merece maior destaque dentro da cadeia de suprimentos por ser a maior emissora de gases poluentes, nesse contexto, torna-se necessária a utilização de indicadores de desempenho que mensurem quão impactantes tais atividades estão sendo para o meio ambiente (SANTANA; OIKO, 2019).

No entanto, a matriz de transportes brasileira apresenta problemas estruturais relevantes, devido à falta de um planejamento integrado de desenvolvimento de seu sistema de transportes, que comprometem o desenvolvimento econômico e social do país, e, como consequências dessas lacunas, os desequilíbrios na matriz de transporte. Desigualdades entre regiões e barreiras para circulação de bens e pessoas comprometem a qualidade dos serviços prestados. Esses problemas estruturais tornam o modal rodoviário o mais utilizado, acarretando impactos econômicos e ambientais negativos (PLAZA *et al.*, 2020).

Com base nesses objetivos e pressões legais, uma série de iniciativas para calcular as emissões do frete transportes foram desenvolvidos. Assim, atualmente, existe uma variabilidade considerável entre as metodologias existentes para o cálculo de emissões de frete e seus bancos de dados recomendados, conforme resumido no Quadro 1.

## TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE CARGAS: COMO SELECIONAR UM MÉTODO PARA CÁLCULO DE EMISSÃO DE CO<sub>2</sub> DA SUA FROTA?

Luiz Eduardo Simão - Gêssica Luiza Scariot - Marcos Antonio Cezne

Quadro 1 – Metodologias, Ferramentas e Banco de Dados usadas para cálculo emissão CO<sub>2</sub> no transporte

Metodologia	Descrição
ARTEMIS	Banco de dados com emissões anuais detalhadas que incluem todos os modais, exceto ar. Transporte interno e manobras também incluído.
Bilan Carbone	Abordagem Francesa para cálculo no nível de veículo; também oferece uma abordagem em Tonelada-Quilômetro.
DEFRA	Banco de dados de fatores de emissão para combinação de diferentes tipos de veículos, combustível e fatores de utilização de capacidade.
DSLVL	Guias Prático baseada na norma EN16258, com foco em transporte rodoviário.
EcoTransIT World	Inclui uma base de dados detalhada e acurada a nível de veículo.
Protocolo GHG	Abordagem bem estruturada e com grande aceitação para medição de emissões no nível corporativo ou de produto.
HBEFA	Banco de dados com grande aceitação para emissões no nível de transporte rodoviário, válido para um limitado número de países.
JEC Emission Factors	Banco de dados para emissão na produção de combustíveis (WTT) e nos pontos de uso (TTW).
Map & Guide	Ferramenta de cálculo de emissão que implementa a norma EM 16258 usando dados da base HBEFA.
NTM	Ferramenta de cálculo com grande conhecimento apenas para membros com objetivo de cobrir todas as atividades logísticas.
World Ports Climate Initiative (WPCI)	Abordagem com grande aceitação para transporte marítimo de curto percurso, longo percurso e terminais.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2021.

Entretanto, isso tornou-se um problema porque metodologias diferentes recomendam o uso de diferentes fatores de emissão, tanto em termos de valores de emissões e unidades. De fato, ter uma gama tão ampla de métodos, base de dados com fatores de emissão e ferramentas de cálculo disponível para fazer o cálculo de emissão e a comparação direta dos resultados, mesmo para cadeias de suprimentos mais simples, podem tornar-se uma tarefa difícil. A multiplicidade de ferramentas, fatores de emissão e metodologias faz a escolha e a análise dos impactos (percebidos) na precisão dos cálculos ser difícil,

especialmente no caso de cadeias de suprimentos multimodais complexas. Como consequência, muitas vezes não haverá confiança ou clareza nos resultados obtidos.

As principais metodologias nesta área baseiam-se em dois grandes fundamentos: (1) metodologias baseadas no consumo de combustíveis; (2) metodologias baseadas em atividades. As metodologias baseadas no consumo de combustíveis usam dados reais de consumo de combustível como base para estimar as emissões associadas, com base no conteúdo do combustível e nos pressupostos em relação à sua combustão. Cálculo baseado em combustível é listado como a metodologia de primeira escolha para o GHG Protocol, e serve como metodologia primária para uso nos inventários nacionais de emissões do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) (AUVINEN *et al.*, 2011). Metodologias baseadas em combustíveis são o método preferido quando os registros históricos são de interesse e são por natureza um olhar para trás, contando com a contabilidade do combustível consumido, e exigiria pressupostos a serem feitos se usados para avaliar cenários futuros de melhoria.

Já as abordagens baseadas em atividades fornecem uma metodologia que, embora não seja tão precisa para medir as emissões históricas de CO<sub>2</sub> como abordagens baseadas no consumo de combustíveis, é muito melhor para situações de planejamento. Nos métodos baseados em atividade, algumas medidas de atividade, como quilômetros percorridos pelo veículo ou tonelada-km movidas, são multiplicadas por um fator de nível macro para estimar as emissões totais de CO<sub>2</sub>.

## 2.1 A EMISSÃO DE CO<sub>2</sub> NO TRANSPORTE DE CARGA NO BRASIL

O Brasil é um país em desenvolvimento caracterizado por uma economia complexa e dinâmica, sendo a décima terceira economia do mundo. É um país urbano-industrial, com o setor agropecuário de destaque na economia mundial. O Brasil figura também entre os maiores e mais eficientes produtores mundiais de vários produtos manufaturados, incluindo cimento, alumínio, produtos químicos, entre outros. No que diz respeito à participação dos setores da economia no Produto Interno Bruto (PIB), segundo o IBGE (2022), no ano de 2021, verificou-se o seguinte cenário: o PIB totalizou R\$ 8,7 trilhões, e cresceu 4,6%, frente ao déficit de 4,1% no ano de 2020, antes marcado por uma série de estabilidade na casa de 1% entre os



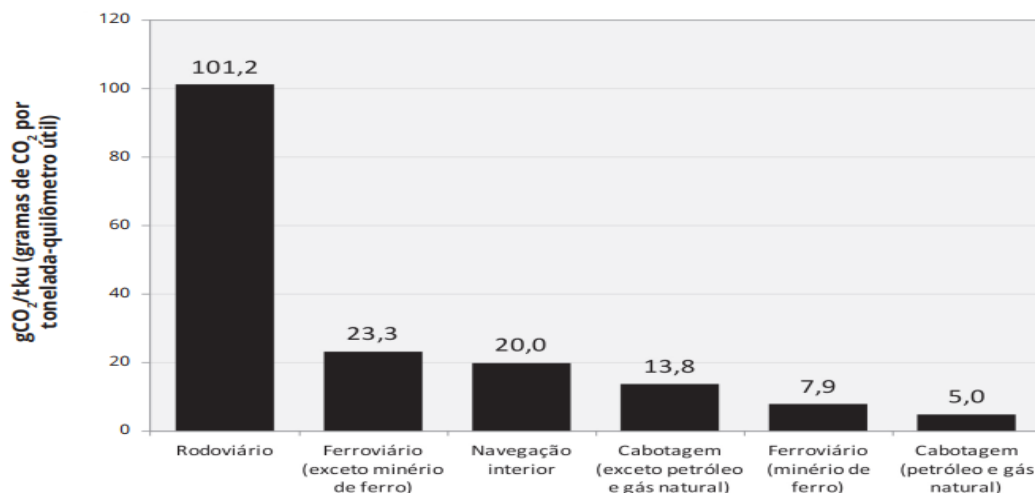
anos de 2017 e 2019. Nessa comparação, a participação da Agropecuária responde por 27,4% do PIB, os Serviços por 50,4% do PIB, e a Indústria por 22,2% do PIB.

De acordo com o Boletim Estatístico (CNT 2021), a matriz de transporte de cargas é realizada principalmente por via rodoviária (64,86%), seguida por ferrovia (14,95%), hidroviária (15,72%), dutoviária (4,45%) e aérea (0,3%). Essa divisão modal reflete a dependência do modal rodoviário para o sistema logístico de cargas, o que pode prejudicar o desenvolvimento econômico regional diante de falhas operacionais. Deve-se ainda considerar que em determinadas regiões do país não existem estruturas que permitam integração e deslocamento modal, ou as que operam são ineficientes, o que implica ainda mais no uso do modal rodoviário (PLAZA *et al.*, 2020).

Como parte do setor de serviços, o segmento de transportes é o maior emissor dentro dos setores analisados, sendo responsável por 47% do total das emissões dos setores de Energia e Processos Industriais e Uso de Produtos (PIUP), sendo que a Indústria vem a seguir, com 15% do total (SEEG, 2021). Dessa forma, por apresentar um consumo energético acima da média mundial, o setor de transportes brasileiro aparece como um problema no que se refere às emissões de GEE, sobretudo de seu principal gás, o Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>).

O segmento de transportes apresentou a maior taxa média de crescimento do consumo de energia – 4,4% ao ano, entre 2006 e 2016 (SEEG, 2018). Destaca-se que o perfil de demanda de energia nessa atividade é caracterizado pela predominância do modal rodoviário, que respondeu por 93,7% do consumo em 2016, e pela pesada dependência do petróleo (78% do consumo em 2016). Com relação a emissão específica de CO<sub>2</sub> por modal de transporte de carga no Brasil, a grande contribuição vem do modal rodoviário, haja vista que esse modal é responsável por 63% da movimentação de carga (SEEG, 2018), conforme resumido na Figura 1.

Figura 1 – Emissão específica de CO<sub>2</sub> por modo de transporte de carga no Brasil



Fonte: SEEG (2018).

Verifica-se na Figura 1 que o modal rodoviário tem participação majoritária nas emissões do segmento de transportes (92% em 2016), tendo, por isso, um grande potencial de redução de emissões a partir de políticas de transferência modal que priorizem modos menos intensivos em carbono, pois os veículos a diesel correspondem a 62,2% das emissões (EPE, 2006), além de melhorias na gestão das frotas, tecnologia em veículos e acessório (BARTHOLOMEU; PÉRA; CAIXETA-FILHO, 2016; LEONARDI; BAUMGARTNER, 2004).

O relatório SEEG (2018), afirma que essa situação é reflexo da grande importância que o petróleo ainda possui na matriz energética brasileira. Também indica que a busca pela redução das emissões desses setores, necessariamente, passa pelo desafio de viabilizar e incentivar o uso de fontes energéticas e tecnologias que substituam os derivados de petróleo ou, ao menos, possibilitem a diminuição de seus usos.

A análise das emissões do setor de energia, feita pelo SEEG (2018), mostra que o transporte de cargas no Brasil emitiu 101,9 MtCO<sub>2</sub>e em 2016, o que correspondeu a, aproximadamente, metade das emissões do segmento de transportes ou um quinto das emissões do universo dos setores de Energia e PIUP. A elevada predominância do modo rodoviário no país, quando comparado a outros países de dimensões, explica, em grande medida, a enorme importância que o óleo diesel tem no consumo energético dos transportes e nas emissões de GEE relacionadas à energia. Assim como a presença dos caminhões enquanto principal fonte emissora, não apenas no segmento de transportes, mas no setor de energia como um todo. Por isso, as emissões dessa categoria de veículos no Brasil (84,5

MtCO<sub>2</sub>e) são maiores, por exemplo, do que as emissões de toda a queima de combustíveis no segmento industrial (66,9 MtCO<sub>2</sub>e) ou mesmo do que as emissões do conjunto de termelétricas em operação em 2016 (54,2 MtCO<sub>2</sub>e).

Uma das conclusões do relatório SEEG (2018) é que será difícil descarbonizar esse segmento da economia, em especial após a paralisação dos caminhoneiros, que obrigou o governo a aumentar o subsídio ao óleo diesel. Ainda de acordo com relatório do SEEG (2018), a necessidade de descarbonizar a matriz de transportes esbarra na grande dependência que o país tem do modal rodoviário como opção para transportar cargas. O mesmo relatório ainda ressalta que dos seis países com maior extensão territorial do mundo, o Brasil é o que mais usa caminhões (65% da carga transportada, contra 53% na Austrália, o segundo colocado, e apenas 8% na Rússia). O SEEG (2018), afirma que esse predomínio deve se manter pelo futuro previsível do planejamento governamental.

Por fim, o relatório analítico do SEEG (2018) mostra que, em 2016, as emissões do setor de energia sofreram uma redução de 7,3% em relação ao ano anterior. Entretanto, o motivo para a redução se deve a alguns fatores como: a recessão econômica, que impactou a indústria e o transporte de cargas; a recuperação parcial dos reservatórios das hidrelétricas, o que permitiu desligar termelétricas fósseis que vinham sendo acionadas na estiagem; o aumento do uso de etanol no transporte de passageiros; e a expansão das usinas eólicas no Brasil.

Ainda, acerca das emissões, em 2015, a participação das emissões globais de logística de transporte (24%) foi a segunda maior (BDL, 2018). Da mesma forma, as projeções baseadas no International Transport Forum's International Freight Model preveem um aumento nas emissões de transporte de mercadorias relacionadas ao comércio por um fator de 3,9 pontos até 2050. Conseqüentemente, com base na Conferência do Clima de Paris em 2015 (COP21) e como parte do Pacto Verde Europeu, a Comissão da UE propôs em 2020 aumentar a meta de redução de emissões de GEE de 2030 da seguinte forma (Comissão da UE, 2020):

- a) Pelo menos 40% de redução nas emissões de gases de efeito estufa (a partir dos níveis de 1990);
- b) Pelo menos 32% de participação para energia renovável;
- c) Pelo menos 32,5% de melhoria na eficiência energética

A pandemia da Covid-19, que pela necessidade de medidas de distanciamento social causou retração das atividades econômicas no país e no mundo, foi a principal responsável pela diminuição das emissões do setor de energia. Esse setor pode ser dividido em seis grandes atividades emissoras, que estão intrinsecamente relacionadas com o desempenho econômico do Brasil. Em ordem decrescente de emissões em 2020, tais atividades são: (i) Transportes, (ii) Produção de Combustíveis, (iii) Consumo Energético Industrial, (iv) Geração de Eletricidade, (v) Consumo Energético em Edificações (residenciais, comerciais e públicas) e (vi) Agropecuária.

A queda de emissões em 2020 em relação a 2019 foi fruto do decréscimo das emissões de Transportes (-5,6%), que é, de longe, a atividade mais emissora do setor; da Indústria (-6,9%), que, em retração, vem diminuindo suas emissões desde 2015 (SEEG, 2021). No entanto o desmatamento na Amazônia em 2020 era 176% maior do que o compromisso fixado em lei, logo mesmo com diminuição de emissões de poluentes, o desmatamento continua em alta, o que faz com que os compromissos brasileiros em torno da redução do desmatamento se desfaça, e a política de clima nunca adquiriu um grau de institucionalidade que permitisse ao país realmente adotar uma estratégia de desenvolvimento amparada na redução de emissões e em medidas de adaptação à crise climática (SEEG, 2021).

Os números mostram que a atividade de transporte teve a maior queda absoluta de emissões do setor de energia. Enquanto em 2019 esse subsetor emitiu 196,5 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>e, o valor observado em 2020 foi de 185,4 milhões de toneladas. O decréscimo foi, portanto, de 11,1 milhões de toneladas, o que equivale às emissões geradas em todas as usinas termelétricas movidas a carvão mineral no país em 2020 (SEEG, 2021).

Já o consumo de óleo diesel, majoritariamente utilizado no transporte de cargas, manteve-se estável. Porém, a parcela de biodiesel – um biocombustível produzido principalmente por meio de soja – misturada ao diesel de petróleo continuou crescendo, passando de 10% do volume total de óleo diesel consumido em 2019 para 11% em 2020. A queima de biocombustíveis, segundo metodologia indicada pelo IPCC (2014) para inventariar emissões nacionais, é considerada neutra em emissões de CO<sub>2</sub>, pois todo carbono emitido fora anteriormente capturado da atmosfera durante o crescimento da cultura vegetal que serviu de matéria-prima para a fabricação desses combustíveis. Dessa maneira, o transporte de

cargas, um serviço que foi tido como essencial durante a pandemia COVID-2019, teve suas emissões diminuídas em apenas 1,6%, ou seja, teve suas emissões reduzidas, mas em intensidade bem menor (SEEG, 2021).

## 2.2 MÉTODOS PARA MEDIÇÃO DA EMISSÃO DE CO<sub>2</sub> NO TRANSPORTE

A escolha do método para avaliar as emissões de GEE como CO<sub>2</sub> é uma etapa importante para o desenvolvimento de práticas de gestão de frotas de transporte de cargas, com objetivo de mitigar o impacto do transporte de cargas no aquecimento global. Entretanto, devido à grande variedade de métodos existentes, a escolha do método que deve ser usado pode causar confusão nos gestores (AUVINEN *et al.*, 2011).

Vários métodos para cálculo da emissão de CO<sub>2</sub> produzidos no transporte de cargas estão disponíveis na literatura: (1) Modal Shift ONU (UNFCCC, 2010); (2) Top-down (IPCC, 2006); (3) Bottom-up (IPCC, 2006); (4) NTM (NTENT, 2005); (5) Global Logistics Emission Council (GLEC, 2016); (6) US Environmental Protection Agency (EPA, 2005); (7) European Environmental Agency (EEA, 2014); (8) Department for Environment, Food & Rural Affairs (DEFRA, 2015) e (9) European norm EN 16258 (EUROPEAN STANDARDS, 2012).

Dentre eles, quatro métodos destacam-se pela sua aplicabilidade: Top Down, Bottom Up, NTM e DEFRA. Os dois primeiros foram desenvolvidos pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), ligado a Organização das Nações Unidas (ONU), o penúltimo pela organização não-governamental sueca Network for Transport and Environment National Transport Model (NTENT) e último pelo departamento de meio ambiente do governo inglês (DEFRA).

O método *top-down* baseia-se nas emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) tendo como item para cálculo os dados de produção e consumo de energia, não importando a forma como a energia é consumida (IPCC, 2014). A estimativa das emissões de GEE pelo método *top-down* é recomendada pelo Ministério das Minas e Energia (SEEG, 2018) no Balanço Energético Nacional (BEN). O método é composto por seis passos lógicos, sustentados por equações para o cálculo da emissão real de CO<sub>2</sub>.

Já o método *bottom-up* é complementar ao método *top-down*. Ele pode ser feito quando se tem dados locais detalhados e confiáveis sobre a tecnologia de motorização utilizada, qualidade do combustível, consumo, quilometragem, fatores de emissão levantados em laboratórios locais, estado de manutenção da frota etc., para cada subgrupo de veículos com características similares. A grande vantagem do método *bottom-up* é que ele permite que sejam estudados diversos outros gases, além do CO<sub>2</sub> (IPCC, 2014). Além disso, uma vez que não existem fatores de emissão levantados localmente, a estimativa das emissões de GEE da frota diesel de caminhões em circulação no Brasil deve ser feita preferencialmente a partir dos fatores de emissão de CO<sub>2</sub> para veículos pesados europeus com autonomia/consumo assumido de 3,3 km/l ou 29,9 l/100km, uma vez que a tecnologia de motorização utilizada no Brasil se assemelha mais a dos veículos que circulam na Europa do que a dos veículos americanos (ALVARES JR.; LINKE, 2001).

O método NTM foi desenvolvido na Europa e é utilizado para calcular o impacto ambiental dos diversos tipos de transporte de forma detalhada (LOO, 2009). Neste método são definidos três níveis de detalhamento, sendo o primeiro nível o mais baixo e o terceiro o mais elevado, conforme Figura 2.

Figura 2 – Níveis de detalhamento do método NTM

Nível	Itens considerados
1	Idade média do veículo, tipo de motor, tipo de combustível e a utilização média de carga do veículo.
2	Diferenças entre os modelos de veículos, definição da utilização média dos motores, tipo de combustível e a capacidade média de carga do veículo.
3	Cálculo da emissão de dióxido de carbono de cada tipo de veículo de uma companhia.

Fonte: Loo (2009).

Entretanto, para realizar os cálculos são necessários softwares desenvolvidos pela própria NTM (AUVINEN *et al.*, 2011; LOO, 2009). O método é bastante apropriado para realizar o cálculo de emissão de CO<sub>2</sub> quando se possui dados detalhados do sistema que se deseja estudar, e por poder ser aplicado aos diversos modais de transporte: rodoviário, ferroviário, aquaviário e aéreo.

O método DEFRA é um guia para mensurar e reportar emissão de GEE para operações de transporte de cargas (AUVINEN *et al.*, 2011). O método DEFRA utiliza a abordagem *bottom-*

## TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE CARGAS: COMO SELECIONAR UM MÉTODO PARA CÁLCULO DE EMISSÃO DE CO<sub>2</sub> DA SUA FROTA?

Luiz Eduardo Simão - Géssica Luiza Scariot - Marcos Antonio Cezne

up para estimar as emissões de gases do efeito estufa da frota de caminhões, em que o cálculo de emissão de CO<sub>2</sub> é realizado considerando dados da quilometragem anual por tipo de veículos, seu consumo de combustível e fatores de emissão de cada tipo de veículo (MCKINNON, 2010). Esse método foi escolhido pois é mais fácil de calcular as emissões, uma vez que as empresas de transporte possuem dados de quilometragem e consumo de combustível de veículos, ademais já existem dados específicos de fatores de emissão por tipo de veículo confiáveis para a frota brasileira (BARTHOLOMEU; CAIXETA-FILHO, 2009; GHG PROTOCOL, 2010; IPCC, 2014).

O Quadro 2, apresenta a partir dos quatro métodos para cálculo da emissão de CO<sub>2</sub> produzidos no transporte de cargas mais utilizados, uma síntese das vantagens e desvantagens apresentadas em cada elemento.

Quadro 2 – Levantamento das vantagens e desvantagens de cada método

MÉTODO	VANTAGENS	DESVANTAGENS
TOP DOWN	Se baseia nas emissões de dióxido de carbono O item de cálculo são os dados de produção e consumo de energia (IPCC,2014)	Não leva em consideração como a energia é consumida (IPCC,2014)
BOTTOM UP	Permite que sejam estudados diversos outros gases além do CO <sub>2</sub> (IPCC,2014)	Necessita de dados locais detalhados e confiáveis sobre a tecnologia de motorização utilizada (IPCC,2014)
NTM	É utilizado para calcular diversos tipos de transporte de forma detalhada (LOO,2009)	Para realização dos cálculos são necessários softwares desenvolvidos pela própria NTM (LOO,2009; AUVINEN et al., 2011).
DEFRA	O cálculo de emissão de CO <sub>2</sub> é realizado considerando dados da quilometragem anual por tipo de veículos, o seu consumo de combustível e fatores de emissão de cada tipo de veículo (MCKINNON, 2010). As empresas de transporte possuem dados de quilometragem e consumo de combustível de veículos (BARTHOLOMEU; CAIXETA-FILHO, 2009; GHG PROTOCOL, 2010; IPCC, 2014).	Necessita de dados específicos de fatores de emissão por tipo de veículo (BARTHOLOMEU; CAIXETA-FILHO, 2009; GHG PROTOCOL, 2010; IPCC, 2014).

Fonte: Elaborado pelos autores, 2021.

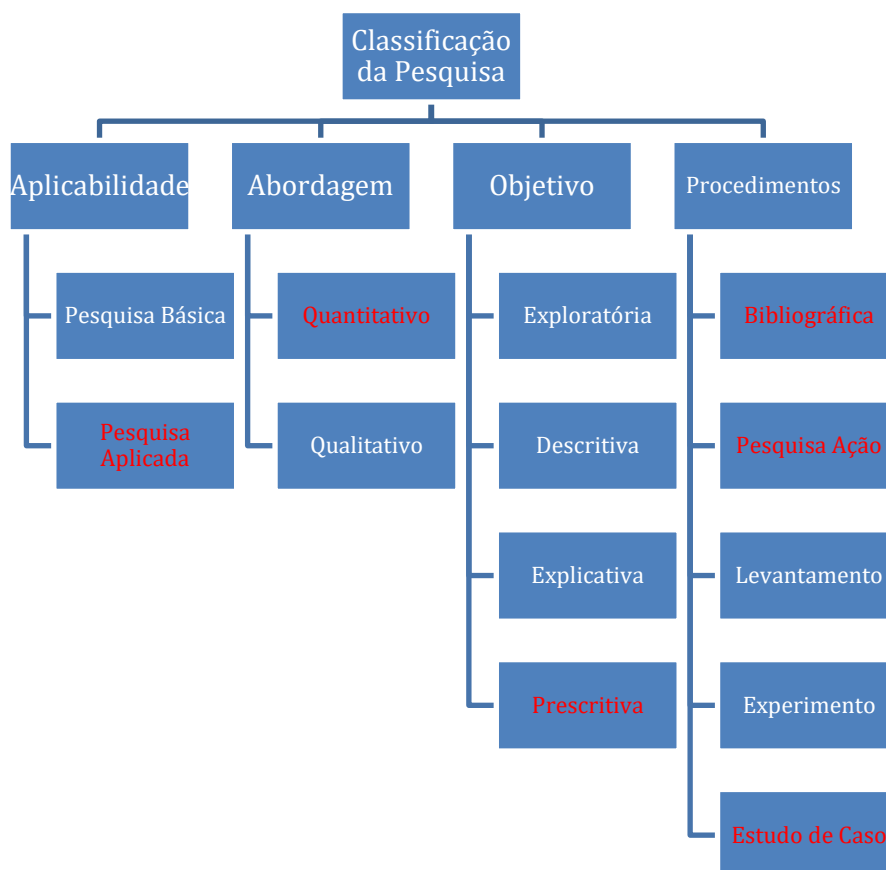
Com base no apresentado, apesar de várias iniciativas para calcular as emissões do frete transportes, mesmo com uma considerável quantidade de metodologias existentes para o cálculo de emissões de frete e seus bancos de dados recomendados, conforme resumido no Quadro 1 e na síntese dos quatro métodos para cálculo da emissão de CO<sub>2</sub> produzidos no transporte de cargas mais utilizados, ainda assim é possível perceber que atualmente está faltando um padrão global oficial e mais simples a ser utilizado pelas empresas de transportes.

### 3 METODOLOGIA

Uma das principais razões para as transportadoras de cargas calcularem suas emissões é prover informações aos seus clientes sobre o impacto ambiental de sua operação. Por isso, o objetivo deste trabalho é selecionar o melhor método para calcular a emissão CO<sub>2</sub> em frotas de veículos que possa ser usado pelas transportadoras rodoviárias de cargas brasileiras.

A Figura 2 mostra o referencial metodológico desta pesquisa, classificado quanto a sua aplicabilidade, forma de abordagem do problema, objetivos e procedimentos.

Figura 2 – Classificação metodológica da pesquisa



Fonte: Elaborado pelos autores, 2021.



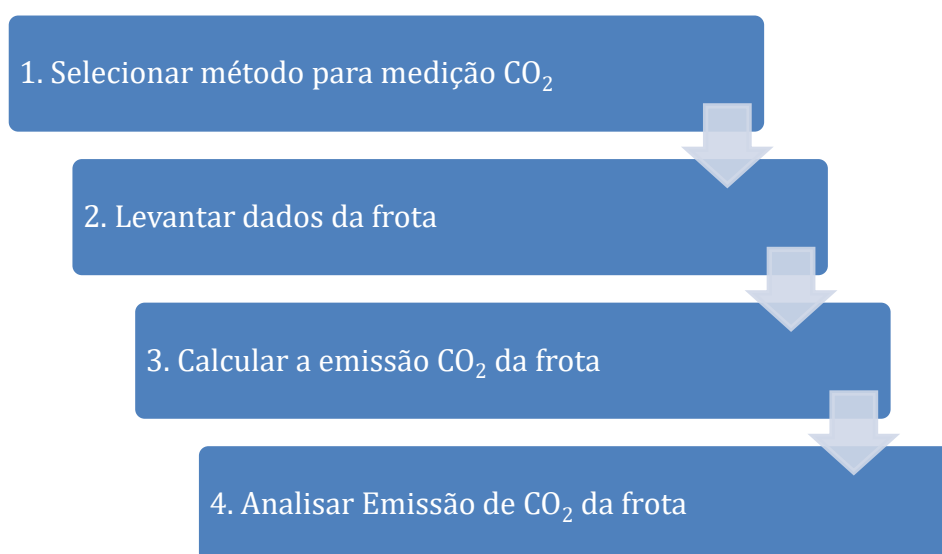
Conforme figura 2, a pesquisa é aplicada porque busca usar o progresso do conhecimento se preocupando com seu uso na prática. Sobre a forma de abordagem do problema, é quantitativa porque utiliza mensuração dos dados obtidos para discutir o problema. Quanto aos objetivos é prescritiva, pois procura prescrever como selecionar uma ferramenta já conhecida. Quanto aos procedimentos, a pesquisa é bibliográfica, pois foi realizado a partir de material já publicado. Para analisar o problema e propor uma solução para ele, o método aplicado foi a pesquisa-ação na forma de estudo de caso. Segundo Melo, Maia Filho e Chaces (2016, p. 154):

A pesquisa-ação é amplamente utilizada por pesquisadores das ciências humanas e sociais [...] a modalidade de pesquisa tem caráter cíclico, o que significa que há uma ação conjunta entre pesquisador e sujeitos desde a admissão da questão inicial aos efeitos decorrentes do estudo até a pesquisa-ação.

Já o estudo de caso “é uma estratégia de pesquisa que absorve interpretações específicas da coleta e análise de dados, auxiliando a alta administração na tomada de decisões.” (YIN, 2010, p. 15).

A operacionalização do método de pesquisa foi realizada em quatro etapas, conforme Figura 3.

Figura 3 – Operacionalização do método de pesquisa



Fonte: Elaborado pelos autores, 2021.

Na primeira etapa do método utilizado foi realizada uma revisão teórica para identificar os métodos de medição de emissão de CO<sub>2</sub> existentes na literatura. Apesar de existirem diversos métodos, foi selecionado o método proposto pelo DEFRA (2015) por conta da sua simplicidade de aplicação e necessidade de poucos dados, outrossim, porque já existem dados específicos confiáveis (IPCC, 2014) de fatores de emissão de CO<sub>2</sub> dos veículos da frota brasileira. O método DEFRA utiliza a abordagem baseada no consumo de energia (*botton-up*) que é recomendada para empresas de transporte (MCKINNON, 2010), uma vez que é o meio mais acurado para calcular as suas emissões (LEONARDI; MCKINNON; PALMER, 2010). O método proposto pelo DEFRA (2015) utiliza para o cálculo de emissão de CO<sub>2</sub> três variáveis: (1) a quilometragem anual por tipo de veículo; (2) o consumo de combustível dos veículos; e (3) os fatores de emissão de CO<sub>2</sub> dos veículos.

Após a seleção do método para medição da emissão de CO<sub>2</sub> na frota, foram coletados dados primários junto a transportadora objeto de análise. Os dados levantados são de uma amostra de 145 veículos utilizados, considerando um período de 365 dias. Primeiro, os veículos da frota foram classificados como veículos pesados do tipo bitrem, com cavalo 6x4, com capacidade máxima de 74 toneladas e com capacidade de carga máxima de 50 toneladas. Na sequência, foram levantados e tabulados os dados relativos ao total de quilômetros rodados de cada veículo durante o período analisado. Para cada um dos veículos, foram identificados o tipo de combustível, sendo então levantados e tabulados os dados do consumo de combustível durante o período analisado.

Finalmente, foram identificados os fatores de emissão dos tipos de veículos e tipos de combustíveis. Para a estimativa das emissões de gases do efeito estufa da frota diesel de caminhões em circulação no Brasil, deve ser feita preferencialmente a partir dos fatores de emissão de CO<sub>2</sub> para veículos pesados europeus com autonomia/consumo assumido de 3,3 km/l ou 29,9 l/100km (IPCC, 2014), uma vez que a tecnologia de motorização utilizada no Brasil se assemelha mais a dos veículos que circulam na Europa do que a dos veículos americanos (ALVARES JR.; LINKE, 2010). Os fatores de emissão de CO<sub>2</sub> para caminhões pesados acima de 44t a diesel S-500 da base de dados do DEFRA (2015) é de 2,71 KgCO<sub>2</sub>/litro enquanto para biodiesel S-10 é de 2,67 KgCO<sub>2</sub>/litro.

Contudo, nesse trabalho foram utilizados para os cálculos os fatores de emissão de CO<sub>2</sub> para caminhões pesados acima de 44t a diesel comum ou diesel S-500 de 2,69 KgCO<sub>2</sub>/litro consumido (IPCC, 2014). Já o fator de emissão de CO<sub>2</sub> utilizado para caminhões pesados acima de 44t usando biodiesel S-10 como combustível é de 2,43 KgCO<sub>2</sub>/litro consumido no Brasil (IPCC, 2014).

Com os dados levantados, a terceira etapa da metodologia foi aplicada a equação da Figura 4 para calcular a quantidade de emissão de CO<sub>2</sub> para o processo de transporte frota analisada, baseada em dados históricos de consumo de diesel e biodiesel.

Figura 4 – Fórmula para cálculo emissão CO<sub>2</sub> modal rodoviário usando diesel



Fonte: DEFRA (2015).

Portando, usando a fórmula da Figura 4, sabendo-se o fator de eficiência do consumo de combustíveis (2,69 KgCO<sub>2</sub>/litro diesel S-500) e o consumo total de biodiesel S-10 (2,43 KgCO<sub>2</sub>/litro), o total de emissão de CO<sub>2</sub> pode ser calculado.

A quantidade CO<sub>2</sub>eq significa que a emissão de CO<sub>2</sub> gerada é equivalente ao conteúdo de carbono resultante da queima do óleo diesel, uma vez que além do CO<sub>2</sub>, também são emitidos outros gases do efeito estufa como CH<sub>4</sub> e NO<sub>2</sub>, entre outros, os quais não são objeto desse estudo.

Por fim, os resultados dos cálculos do desempenho do sistema de distribuição em relação às emissões de CO<sub>2</sub> no processo de transporte, foram analisados quanto a quantidades, emissão por kg transportado e desempenho dos veículos. Os resultados encontrados são apresentados e discutidos na próxima seção.

#### **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

## TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE CARGAS: COMO SELECIONAR UM MÉTODO PARA CÁLCULO DE EMISSÃO DE CO<sub>2</sub> DA SUA FROTA?

Luiz Eduardo Simão - Gêssica Luiza Scariot - Marcos Antonio Cezne

Para este estudo, foi considerado uma empresa transportadora para o setor industrial, que transporta produtos de várias plantas dos fornecedores para as dos clientes nos estados de Santa Catarina, Paraná e São Paulo, utilizando caminhões bitrem, movidos a diesel comum (S-500) e biodiesel (S-10), com peso máximo de 74 toneladas e uma capacidade de carga máxima de 50 toneladas. Os dados de utilização da frota estão resumidos na Tabela 1.

Tabela 1 – Dados de operação da frota

Total de KM	Peso Bruto Transportado	Número Fretes	Litros Consumidos
<b>273.288</b>	<b>22.827.721</b>	<b>472</b>	<b>168.987,65</b>

Fonte: Elaborado pelos autores, 2020.

A Tabela 1 indica uma intensa movimentação de mercadorias pela frota de caminhões analisada (472 viagens), com um volume total de 22,827 toneladas no período estudado. A frota apresenta uma produtividade média de 83,5 kg/km e uma taxa de carregamento de 48,3 toneladas por veículo, indicando uma utilização da capacidade de carga alta (96,72%).

A análise dos dados indicou também um consumo médio de 1,61 km/litro da frota analisada, bem abaixo da média nacional de 2,20 km/litro (ALVARES JR.; LINKE, 2001), 2,75 km/litro para trabalhadores autônomos (CRUVINEL; PINTO; GRANEMANNE, 2012) e 2,135 km/litro (BARTHOLOMEU; PÉRA; CAIXETA-FILHO, 2016) identificado na literatura, apesar do uso de caminhões novos, todos acima do ano 2015 na frota analisada. Esse baixo desempenho com relação ao consumo médio pode ocorrer devido a problemas na eficiência na direção, tais como manutenções preventivas e treinamentos de motoristas ou limitação da velocidade do veículo devido ao tipo de carga transportada, ou ainda, condições de tráfego e das rodovias.

Os dados de emissão de CO<sub>2</sub> baseado na metodologia adotada, considerando os fatores de emissão para o diesel S-500 e para o biodiesel S-10, são apresentados na Tabela 2.

Considerando os fatores de emissão de CO<sub>2</sub> para caminhões pesados acima de 44t à diesel S-500 e biodiesel S-10, verifica-se que os fatores brasileiros indicados pelo IPCC (2,69 KgCO<sub>2</sub>/l e 2,43 KgCO<sub>2</sub>/l) são inferiores aos fatores indicados pelo DEFRA (2,73 KgCO<sub>2</sub>/l e 2,71

KgCO<sub>2</sub>/l). Isso pode indicar que a tecnologia dos veículos fabricados no Brasil é um pouco superior em relação aos veículos da Europa quanto a emissão de CO<sub>2</sub>.

Tabela 2 – Emissão de CO<sub>2</sub> da Frota considerando diferentes combustíveis

<b>Diesel S-500</b>	<b>Diesel S-10</b>
<b>Emissão CO2 (KgCO2)</b>	<b>Emissão CO2 (KgCO2)</b>
<b>457.957</b>	<b>410.640</b>

Fonte: Elaborado pelos autores, 2020.

A Tabela 2 indica também que a utilização de biodiesel S-10 reduz a emissão de CO<sub>2</sub> em aproximadamente 47.317 kg ou 10,3% quando comparado ao diesel comum. Assim, a projeção do total de emissão de CO<sub>2</sub> por ano do sistema de distribuição analisado será de 1.832 toneladas com diesel comum S-500 e 1.643 toneladas de biodiesel S-10. Assim, verifica-se que o aumento do uso do biodiesel na frota tem um impacto positivo na redução da emissão de CO<sub>2</sub>. Contudo, estudos indicam que apenas cerca de 4% das emissões são mitigadas quando o teor do biodiesel aumenta de 3% para 50% no diesel (BARTHOLOMEU; PÉRA; CAIXETA-FILHO, 2016). Isso indica que é preciso muito mais do que utilizar na frota brasileira em 100% de biodiesel.

Há dois aspectos principais do desempenho de GEE que têm importância para os gestores e público interessado (GHG PROTOCOL, 2010). Um deles diz respeito ao impacto climático total da organização – isto é, a quantidade absoluta de emissões de GEE liberada à atmosfera, conforme calculado anteriormente. O outro diz respeito às emissões de GEE da organização normalizadas por alguma métrica que resulte em um indicador em forma de razão (quociente). Assim, também deve ser calculado a quantidade total de emissão de CO<sub>2</sub> em relação ao total de toneladas transportada no período para se ter uma dimensão das diferenças entre os dois tipos de combustíveis. Para os veículos utilizando diesel comum S-500 foram emitidos 20,06 kg de CO<sub>2</sub> por cada tonelada transportada no período. Já para os veículos utilizando biodiesel S-10 foram emitidos 17,99 kg de CO<sub>2</sub> por tonelada transportada no período, indicando que vale a pena o uso de biodiesel S-10, haja vista a redução da emissão de CO<sub>2</sub>.

## **5 CONCLUSÕES**

A pandemia da COVID-19 escancarou a enorme dependência que o Brasil tem do óleo diesel. O Brasil é um dos maiores emissores de CO<sub>2</sub> no transporte de cargas, pois a sua matriz de transporte tem 65% do volume transportado pelo modal rodoviário. Apesar de existirem ações para aumentar a utilização de combustíveis com menor potencial de emissão de gases como CO<sub>2</sub> para mitigar o efeito estufa, verifica-se uma limitação nessa estratégia de aumento do teor de biodiesel no diesel. É preciso pensar em soluções como na redução da dependência do modal rodoviário, bem como a eletrificação da logística, que reduzam essa dependência, mas sem aumentar os custos do transporte de cargas.

Nesse sentido, setor de transporte de cargas é responsável por uma grande parcela das emissões de CO<sub>2</sub> no Brasil. Assim, a eletrificação dos transportes aparece como uma alternativa para cumprimento dos acordos climáticos. Assim, o transporte rodoviário de cargas, essencial para os negócios, tem relação direta com os compromissos de redução de emissões de gases do efeito estufa das empresas. É importante que o país desenvolva e coloque em prática um plano estratégico de transição energética, que estimule a descarbonização da sua frota. Nesse contexto, deve-se avaliar os aspectos ambientais e econômicos envolvidos na utilização dos veículos elétricos, bem como entender o papel que estes ocupam nas transformações em curso nos setores de transporte rodoviário de carga e energia. Constata-se o enorme potencial dos veículos elétricos (VEs) de reduzirem as emissões de CO<sub>2</sub> em países com a matriz energética composta majoritariamente por fontes limpas como o Brasil. Entretanto, apesar de apresentarem um custo operacional inferior, os VEs ainda apresentam um custo total superior aos dos veículos de combustão interna movidos à diesel e biodiesel.

Ainda, é preciso destacar o compromisso brasileiro assumido para a redução de emissão de gases de efeito estufa (COP21), o que leva a modificação da forma como o país se compromete a traçar estratégias para redução das emissões de poluentes. É necessário que ações para a diminuição de emissões brasileiras tenha um maior envolvimento por parte do governo e empresas. De todo modo, o principal resultado do Acordo de Paris é o sinal de que a transição dos combustíveis fósseis para uma economia mundial de baixo carbono desta vez

realmente começou e vai acontecer frente às metas propostas para redução de emissões de poluentes.

Para melhorar a imagem e aumentar a eficiência nos negócios, por conta das pressões legais, cada vez mais a atenção está sendo dada às soluções “verdes”. Assim, ter uma gama tão ampla de métodos e ferramentas de cálculo disponível para fazer o cálculo e a comparação direta dos resultados, mesmo para cadeias de suprimentos mais comuns, tornam-se uma tarefa árdua, o que a partir da utilização de métodos mais simples, com ferramentas e metodologias básicas permitem fazer a escolha e a tomada de decisões mais fáceis para os gestores das organizações.

No entanto, embora os biocombustíveis tenham contribuído significativamente para melhorar a intensidade de emissões do transporte rodoviário no Brasil, a descarbonização total do setor de transportes exige um aumento substancial na adoção de veículos com tecnologias alternativas, a exemplo de veículos elétricos, o que por vez demanda de um alto investimento. Ademais os esforços nacionais de mitigação dependem de qual caminho de desenvolvimento o país pretende seguir.

Por fim, enquanto políticas para a mudança das diminuições de emissões globais não apresentem mudanças significativas e forma rápida, é necessário que as empresas possam se conscientizar da relevância que as mesmas têm neste contexto, e definir o melhor método para calcular a emissão CO<sub>2</sub>, em empresas de transporte rodoviário de cargas é uma necessidade. Logo, as recomendações apresentadas nesta pesquisa fornecem uma abordagem simples e transparente com elementos facilmente encontrados nas empresas de transportes e que pela simplicidade da abordagem recomendada, essas empresas têm uma chance realista de implementação.

## REFERÊNCIAS

ALVARES JR., O. M.; LINKE, R. R. A. Metodologia simplificada de cálculo das emissões de gases do efeito estufa de frotas de veículos no Brasil. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v.11, n.2, p. 13-20, 2001.

AUVINEN, H. *et al.* COFRET D2.1 existing methods and tools for calculation of carbon footprint of transport and logistics. [S. l.: s. n.], 2011.

BARTHOLOMEU, D. B.; CAIXETA-FILHO, J. V. Quantification of the environmental impacts of road conditions in Brazil. **Ecological Economics**, v. 68, p. 1778–1786, 2009.

BARTHOLOMEU, D. B.; PÉRA, T. G.; CAIXETA-FILHO, J. V. Logística sustentável: avaliação de estratégias de redução das emissões de CO<sub>2</sub> no transporte rodoviário de cargas. **Journal of Transport Literature**, v. 10, n. 3, p. 15-19, 2016.

CNT. **Boletins técnicos**, Brasília, DF, jan. 2021. Disponível em: [http://www.portaludop.com.br/boletins-arquivos/162/2021/boletim\\_unificado\\_cnt\\_jan2021.pdf](http://www.portaludop.com.br/boletins-arquivos/162/2021/boletim_unificado_cnt_jan2021.pdf). Acesso em: 07 jun. 2022.

CRUVINEL, R. R. da S.; PINTO, P. V. H.; GRANEMANNE, S. R. Mensuração econômica da emissão de CO<sub>2</sub> da frota dos transportadores autônomos de cargas brasileiros. **Journal of Transport Literature**, v. 6, n. 2, p. 234-252, 2012.

DEFRA. **Guidance on measuring and reporting Greenhouse Gas (GHG) emissions from freight transport operations**. [London: DEFRA], 2015.

EPA. **Emission facts**: average carbon dioxide emissions resulting from gasoline and diesel fuel. Washington: EPA, 2005.

GHG PROTOCOL. **Especificações do Programa Brasileiro GHG Protocol**: contabilização, quantificação e publicação de inventários corporativos de emissões de gases de efeito estufa. [Rio de Janeiro]: FGV; World Resources Institute, 2010. *E-book*. Disponível em: [https://s3-sa-east-1.amazonaws.com/arquivos.gvces.com.br/arquivos\\_ghg/152/especificacoes\\_pb\\_ghgprotocol.pdf](https://s3-sa-east-1.amazonaws.com/arquivos.gvces.com.br/arquivos_ghg/152/especificacoes_pb_ghgprotocol.pdf). Acesso em: 23 ab. 2020.

GLEC. **Framework for logistics emissions methodologies**. Amsterdam: Smart Freight Center, 2016.

GOES, G. V. *et al.* MRV framework and prospective scenarios to monitor and ratchet up Brazilian transport mitigation targets. **Climatic Change**, v. 162, p. 2197–2217, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10584-020-02767-6>.

IBGE. **PIB cresce 1,1% em 2018 e fecha ano em R\$ 6,8 trilhões**. Rio de Janeiro, 28 fev. 2019. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/23886-pib-cresce-1-1-em-2018-e-fecha-ano-em-r-6-8-trilhoes>. Acesso em: 01 maio 2020.

IBGE. **Produto Interno Bruto – PIB**. Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/pib.php#:~:text=O%20que%20%C3%A9%20o%20PIB&text=O%20PIB%20do%20Brasil%20em,%24%20%20257%2C7%20bilh%C3%B5es>. Acesso em: 01 maio 2022.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. CO<sub>2</sub> emissions from fuel combustion by sector in 2014, in CO<sub>2</sub> Emissions from Fuel Combustion, IEA, 2016. *In*: CO<sub>2</sub> HIGHLIGHTS 2016 - EXCEL TABLES. Paris, 2016. <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/co2-emissions-from-fuel-combustion-highlights-2016.html>. Acesso em: 07 jun. 202.



IPCC. **Climate Change 2014**: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: IPCC, 2014. Disponível em: <http://ar5-syr.ipcc.ch/>. Acesso em: 01 maio 2022.

KELLNER, F.; SCHNEIDERBAUER, M. Further insights into the allocation of greenhouse gas emissions to shipments in road freight transportation: the pollution routing game. **European Journal of Operational Research**, v. 278, n. 1, p. 296–313, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2019.04.007>

LEONARDI, J.; BAUMGARTNER, M. CO<sub>2</sub> efficiency in road freight transportation: Status quo, measures and potential. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 9, n. 6, p. 451-464, 2004.

LEONARDI, J.; MCKINNON, A.; PALMER A. **Guidance on measuring and reporting greenhouse gas (GHG) emissions from freight transport operations**. London: Tech Rep, The UK's Department for Transport (DfT), 2010.

LOO, R. A **Methodology for Calculating CO<sub>2</sub> Emissions from transport and an evaluation of the impact of european union emission regulations**. 2009. Dissertation (Master Science in Operations Management and Logistics) - Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven, 2009. Disponível em <http://alexandria.tue.nl/extra1/afstversl/tm/te%20Loo%202009.pdf>. Acesso em: 24 maio 2019.

MCKINNON, A. C. Product-level carbon auditing of supply chains: environmental imperative or wasteful distraction?' **International Journal of Physical Distribution and Logistics Management**, v. 40, n. 1-2, p.42-60, 2010.

MELO, A. S.; MAIA FILHO, O. N.; CHACES, H. V. Lewin e a pesquisa-ação: gênese, aplicação e finalidade. **Fractal: Revista de Psicologia**, v. 28, n. 1, p. 153-159, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1984-0292/1162>

MOTTA, Ronaldo Seroa da *et al.* (ed.). **Mudança do clima no Brasil**: aspectos econômicos, sociais e regulatórios. Brasília: Ipea, 2011.

NTM. **Road Environmental data for international cargo transport**: road transport. [S. l.], NTM, 2008.

OECD. **ITF Transport Outlook 2017**. Paris: OECD Publishing, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1787/9789282108000-en>

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>

RIZET, C.; CRUZ, M.; MBACKÉ, M. Reducing Freight Transport CO<sub>2</sub> Emissions by Increasing the Load Factor. **Procedia: Social and Behavioral Sciences**, v. 48, p. 184-195, 2012.

SANTANA, M.; OIKO, O. T. Pegada de Carbono: Em busca de definição e método para uma Logística Verde. **GEPROS: Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, v. 14, n. 4, p. 197 - 214, 2019. DOI: <http://sx.doi.org/10.15675/gepros.v14i4.2334>

SEEG. **Emissões dos setores de energia, processos industriais e uso de produtos**: documento de análise. Brasília, DF: SEEG, 2018. Disponível em: <http://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2018/05/Relato%CC%81rios-SEEG-2018-Energia-Final-v1.pdf> Acesso em: 08 abr. 2020.

SEEG. **Emissões dos setores de energia, processos industriais e uso de produtos**: documento de análise. Brasília, DF: SEEG, 2021. Disponível em: <http://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2018/05/Relato%CC%81rios-SEEG-2018-Energia-Final-v1.pdf>. Acesso em: 02 abr. 2022.

EUROPEAN STANDARDS. **EN 16258** - Methodology for calculation and declaration of energy consumption and GHG emissions of transport services (freight and passengers). Pilsen: European Standars, 2012.

UNFCCC. **Modal shift transportation from road modal to a less intensive GHG emission**. Bonn: UNFCCC, 2010.

WILD, P. Recommendations for a future global CO<sub>2</sub>-calculation standard for transport and logistics. **Transportation Research Part D**, v. 9, n. 6, p. 1-25, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.103024>

YIN, R. K. **Estudo de caso**: planejamento e métodos. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.