

ANÁLISE DA EMISSÃO DE GÁS CARBÔNICO NO TRANSPORTE FERROVIÁRIO DE CALCÁRIO ENTRE BARRA MANSA E ARCOS

ANÁLISIS DE LA EMISIÓN DE GASES CARBÓNICOS EN EL TRANSPORTE FERROVIARIO DE CALCARIO ENTRE BARRA MANSA Y ARCOS

ANALYSIS OF CARBONIC GAS EMISSION IN THE RAILWAY TRANSPORT OF CALCARIO BETWEEN BAR MANSA AND ARCOS

Marcelo Puello de Barros Gil*
marcelo.gil@engenharia.ufjf.br

Ualison Rebula de Oliveira*
ualison.oliveira@gmail.com

* Universidade Federal Fluminense, Niteroi, RJ, Brasil

Resumo

Realizar transporte de forma eficiente e com menor impacto possível financeiro e ambiental é um desafio. Para abastecer uma fábrica cal no sul fluminense há dois modais principais: ferroviário e rodoviário. Ambos possuem a emissão de gás carbônico como um dos principais resíduos na queima de combustível fósseis, e este gás é um dos principais agentes causadores do aquecimento global. Entretanto geralmente este fator não é mensurado pelas empresas de transportes por causa da sua dificuldade de estimar quantitativamente estas emissões. Este trabalho utilizou a metodologia Top Down e apresenta dados estratificados e parametrizados dos últimos 6 anos sobre a emissão de CO₂ utilizando metodologia Top Down pelo dois modais estudados e as compara. Os resultados demonstram que o modal ferroviário possui uma emissão de dióxido de carbono 62% menor que o modal rodoviário.

PALAVRAS CHAVE: transporte; ferrovias; poluição; CO₂; dióxido de carbono

Resumen

Realizar el transporte de forma eficiente y con el menor impacto económico y medio ambiental posible es un reto. Para abastecer una planta de cal en el sur de Río de Janeiro, existen dos modos principales: ferrocarril y carretera. Ambos tienen la emisión de dióxido de carbono como uno de los principales residuos en la quema de combustibles fósiles, y este gas es uno de los principales agentes causantes del calentamiento global. Sin embargo, este factor generalmente no es medido por las empresas de transporte debido a la dificultad para estimar cuantitativamente estas emisiones. Este trabajo utilizó la metodología Top Down y presenta datos estratificados y parametrizados de los últimos 6 años sobre la emisión de CO₂ utilizando la metodología Top Down por los dos modales estudiados y los compara. Los resultados muestran que el modal ferroviario tiene una emisión de dióxido de carbono un 62% menor que el modal vial.

PALABRAS CLAVE: transporte; ferrocarriles; contaminación; CO₂.

Abstract

Carrying out transport efficiently and with the least possible financial and environmental impact is a challenge. To supply a lime plant in the south of Rio de Janeiro, there are two main modes: rail and road. Both have the emission of carbon dioxide as one of the main residues in the burning of fossil fuels, and this gas is one of the main agents causing global warming. However, this factor is generally not measured by transport companies because of their difficulty in quantitatively estimating these emissions. This work used the Top Down methodology and presents stratified and parameterized data

from the last 6 years on CO₂ emission using Top Down methodology by the two studied modals and compares them. The results show that the rail modal has a carbon dioxide emission 62% lower than the road modal.

Keywords: transport; railroads; pollution; CO₂

1. Introdução

Na cadeia logística o modal ferroviário está inserido de forma a facilitar trocas comerciais e o crescimento econômico. Sendo considerado de menor valor na relação do custo operacional por volume transportado, quando comparado ao rodoviário alcançando maior competitividade para grandes volumes e longas distancias (GOMES, MACEDO, 2012).

Matos (1990) relata que modal ferroviário já obteve destaque ja obteve destaque maior no século XIX, a partir disto o setor ferroviário foi amplamente difundido com investimento do governo e incentivo privado. Era utilizado para exportação principalmente do café e da cana de açúcar.

O transporte ferroviário é o meio mais apropriado para transporte de grandes volumes, com baixo impacto ambiental e baixo custo por unidade. Para que este transporte seja vantajoso e ofereça diferenciação de custo competitiva há a necessidade de transporte de grande volume para diluição do alto custo fixo que o sistema necessita (FALCÃO, 2013).

Desde a revolução industrial há pesquisas para se estudar eficiência. Segundo Santos (2011) as avaliações de desempenho de empresas privadas que tem sob sua concessão bens públicos, no caso da ferrovia como material rodante, locomotivas, via permanente, entre outros, é uma tarefa muito complexa. Pois ao mesmo tempo que possuem a necessidade obter lucro com transportes tem de conciliar com as obrigações sociais estabelecida no contrato de concessão.

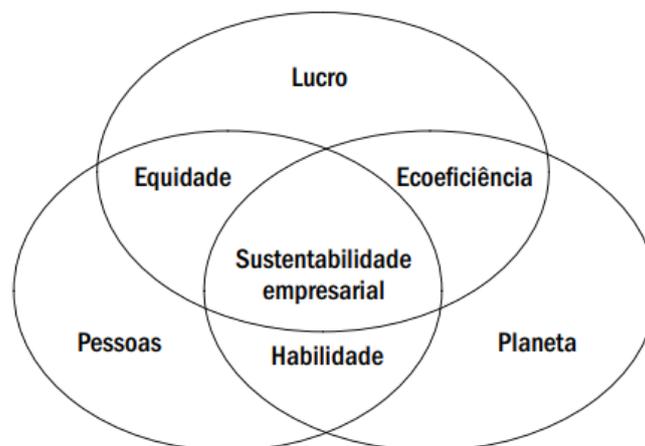
Há grande dificuldade de estabelecer parâmetros reais de eficiência, sendo necessários estabelecer relações que aproximem do real. Albuquerque (2006) cita os indicadores de desempenho como a melhor forma de analisar as questões de eficiência de transporte. Ainda salienta que as empresas maiores conseguem obter um diferencial competitivo, pois tem grande capacidade e mão de obra para efetuar medições de desempenho corretamente.

As pesquisas relacionadas com sustentabilidade no Brasil começaram no início da década de 90. Assim, houve demora para as empresas nacionais começarem a ter preocupação com meio ambiente. Atualmente em um mundo globalizado e com informações tão dinâmicas todos possuem preocupação com meio ambiente e sustentabilidade. Jacobi (2003) afirma que a sustentabilidade tem um papel central na reflexão entre desenvolvimento e as alternativas que se configuram para o mesmo ocorrer.

Leal Jr (2010) salienta que o poder público tem sua preocupação ambiental mediante legislações e assinaturas de protocolo, enquanto as empresas privadas buscam proteger sua imagem perante aos clientes. E integrando este contexto uma atividade que pode fazer diferença é o transporte tanto de cargas como de passageiros, tornando esta atividade com viés mais sustentável em virtude do alto volume de atividade realizada em todas cidades com alto potencial de redução de danos ambientais.

Barbieri et al. (2010) indica que o desenvolvimento sustentável apesar de um conceito novo foi aderido por muitas empresas rapidamente. As grandes corporações atualmente necessitam deste conceito para obter um diferencial competitivo no mercado. E conforme a figura 01, demonstra a relação do desenvolvimento sustentável.

Figura 01: Representação de desenvolvimento sustentável



Fonte: Adaptado de Barbieri et al. (2010).

Para Assis (2014) as medidas de ecoeficiências são definidas com uma relação entre o retorno econômico e o efeito ambiental indesejável além da necessidade da escolha de medidas de desempenho que reflitam o real desempenho. Estas medidas de ecoeficiências no caso do sistema de transporte podem gerar uma matriz de transporte melhor distribuída para atender objetivos econômicos e ambientais.

Guimarães et al. (2014) ressalta a importância de adoção dos parâmetros de ecoeficiência na avaliação do transporte pois irá conduzir as organizações a se tornarem ambientalmente responsáveis sem haver comprometimento com seu desempenho econômico.

Podemos destacar a poluição do ar como um dos principais agentes de degradação ambiental do planeta segundo OMS (Organização Mundial de Saúde) tendo potencial grande de impacto em crianças. As emissões veiculares são as principais fontes de presença de diversos compostos químicos na atmosfera sendo os mais relevantes em áreas urbanas: monóxido de carbono, (CO), óxidos de nitrogênio (NOx), dióxido de enxofre (SO₂), Ozônio (O₃) entre outros. (Alonso *et al*, 2020).

Cruvinel et. al (2012), lembra que apesar de não ser um gás poluente o dióxido de carbono (CO₂) é o principal gás responsável pelo efeito estufa. Assim, faz-se fundamental o estudo de suas emissões. Anderson et al (2021) define o efeito estufa como responsável por manter o planeta em sua temperatura adequada a conservação da vida, todavia intensificação das emissões de gases (principalmente CO₂ e CH₄) oriundas de atividades humanas acentuou este efeito, elevando a temperatura média da Terra e ocasionando diversas mudanças climáticas afetando a todos seres vivos.

Assim, o objetivo desta pesquisa é quantificar a emissão de dióxido de carbono no transporte de cargas realizado por uma empresa privada entre os municípios de Arcos no estado de Minas Gerais e Barra Mansa no estado do Rio de Janeiro pelo modo ferroviário.

Os objetivos específicos serão i) quantificar a emissão de dióxido de carbono no transporte de cargas, ii) comparar com a emissão média do outro modal que transporta a mesma carga para o mesmo cliente e iii) analisar-se há como reduzir esta emissão neste transporte.

Este trabalho será estruturado conforme demonstrado a seguir. Na seção 2 aborda-se a revisão

teórica sobre transporte ferroviário de cargas, efeito estufa, alterações climáticas, emissão de dióxido de carbono e teoria de quantificação desta emissão. Já na seção 3 trata da metodologia empregada na pesquisa, em seguida os resultados e análises realizadas são apresentados na seção 4 e finalizando com as conclusões e sugestão de trabalho futuro, e por fim as referências bibliográficas utilizadas.

2. Revisão bibliográfica

2.1. Transporte ferroviário de cargas

O transporte ferroviário é o meio mais apropriado para transporte de grandes volumes, com baixo impacto ambiental e baixo custo por unidade. Para que este transporte seja vantajoso e ofereça diferenciação de custo competitiva há a necessidade de transporte de grande volume para diluição do alto custo fixo. Apesar de seu alto custo fixo, possui um custo variável baixo o que torna apropriado (FALCÃO, 2013). No Brasil, a maioria da malha ferroviária realiza transporte de *commodities*, como são chamadas as matérias-primas de baixo valor agregado.

Ainda de acordo com a CNT (2013) o transporte de volume considerando o período entre 1997 e 2010 aumentou em 85,6% e os acidentes em compensação reduziram em 78,7% e com o capital privado tendo participação 18,5 vezes maior. Este período foi abordado pelo estudo devido ser os primeiros anos das concessões cedidas pelo governo federal as empresas privadas. É perceptível o aumento de qualidade no nível de serviço apresentado.

Segundo a ANTF (2019) as cargas mais transportadas pelas ferrovias brasileiras foram minérios de ferro e carvão para exportação principalmente da China. Um mercado que tem crescido exponencialmente e aumentado a demanda por este transporte acompanhando o crescimento das exportações e do produto interno bruto (PIB).

Bellini (2016) relaciona que o crescimento das riquezas geradas pelo país (PIB) deve ser acompanhado do crescimento do transporte, ou seja, com o crescimento da “atividade-fim” (exportação) o transporte como “atividade-meio” tem a necessidade de crescer nas mesmas proporções a fim de evitar maiores entraves para crescimento do país.

Falcão (2013), ainda afirma que devido as dimensões continentais do Brasil o mesmo não faz o uso devido de sua malha ferroviária. Há problemas desde a implantação realizada no século passado até o modelo de concessão cedidas pelo governo. Pode-se citar como estes entraves a falta de investimento adequado, velocidade restrita de operações, indisponibilidade de vagões além do lobby pelo modo rodoviário.

Teoricamente há dois modelos tradicionais de planejamento de trens, sendo os trens de carga geral e os trens unitários de *Heavy Haul*. Bahiana (2015) classifica os trens de *Heavy Haul* como os trens sem horário programado de partida e chegada e não possui nenhuma parada intermediária para anexação ou retirada de vagões. Já os trens de carga geral possuem horários predeterminados de partida e chegada e executam paradas em pátios intermediários em horários programados para anexação de vagões ou retirada dos mesmos. No Brasil, as maiores empresas de referências ferroviárias trabalham da forma de trens unitários *Heavy Haul*. Bahiana (2015) cita as complexidades de programações desta operação que inclui planejamento de locomotivas, equipagem (maquinistas e auxiliares em caso de condução assistida), além dos planejamentos de carga e descarga para os trens estarem prontos para rodar.

2.2. Efeito estufa e alterações climáticas

A responsabilidade de manter a Terra em temperatura para a manutenção da vida é do efeito

estufa. Porém, a maioria das atividades humanas pós-revolução industrial fez aumentar consideravelmente a concentração de gases na atmosfera. Estes gases principalmente o gás carbônico (CO₂) e CH₄ acentuam o efeito estufa. Este acentuamento faz com que haja elevação da temperatura do planeta (Anderson et al, 2021).

A tabela 1 mostra a concentração desses gases na atmosfera e a parcela de retenção de de efeito estufa. É de fácil percepção que o vapor de água representa 65% e o dióxido de carbono representa 32% com os demais representando 3%. Isto faz com que seja de suma importância o estudo da emissão de CO₂. (Xavier & Kerr, 2004)

Tabela 01: Concentrações atuais e aquecimento estufa devido a gases

Gás	Concentração (ppm)	Aquecimento Estufa (W.m ⁻²)	Varição desde o ano 1750 até ~2000 (W.m ⁻²)
vapor de água (H ₂ O)	~3000	~100	
dióxido de Carbono (CO ₂)	345	~50	1.46
metano (CH ₄)	1.7	1.7	0.48
óxido nitroso (N ₂ O)	0.30	1.3	0.15
ozônio (O ₃) na Troposfera	10-100x10 ⁻³	1.3	0.35
CFC 11	0.22x10 ⁻³	0.06	0.06
CFC 12	0.38x10 ⁻³	0.12	0.12
Todos Halocarbonos		0.34	0.34

Fonte: Adaptado de Xavier & Kerr (2004).

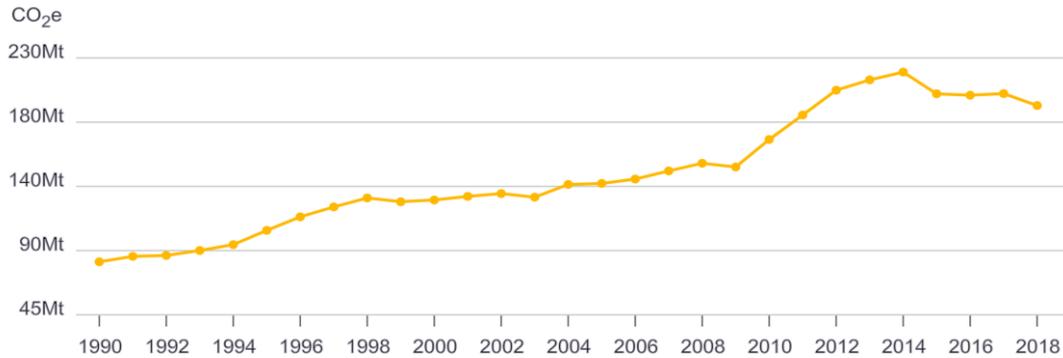
Assad et al (2019) define que os gases de efeito estufa (GEE) regulam fluxo constante de energia solar que passa pela atmosfera na forma de luz e raios ultravioletas. Assim, uma parte dessa energia é devolvida pela Terra. Os gases presentes na atmosfera terra tem a propriedade de bloquear parte dessa radiação mantem a temperatura na terra. Estima-se que em média sem esses gases como vapor d'água, CO₂, CH₄ e N₂O e ozônio (O₃) a terra seria 30°C mais fria.

Xavier & Kerr (2004) avalia que as alterações no Efeito Estufa estão causando mudanças climáticas globais. Sendo o clima um conceito complexo que envolve dados de temperatura, umidade, tipo e quantidade de precipitação, direção do vento, pressão atmosférica, radiação solar entre outros que irão interferir diretamente em fenômenos naturais como nevoeiro, tempestades e outros fenômenos.

2.3. Emissão de dióxido de carbono

Uma plataforma online *ClimateWatch* oferece dados abertos para auxílio aos formuladores de políticas e pesquisadoras a obter percepções sobre o progresso climático dos países. Abaixo foi extraído um gráfico demonstrando a quantidade de gás carbônico (CO₂) emitido no Brasil apenas pelo setor de transporte.

Figura 2: Gráfico com emissão de CO₂ pelo setor de transporte no Brasil ao longo dos anos.



Fonte: ClimateWatch Plataforma(2021).

Mattos (2001) mostra que em 1990, cerca de 77% da emissão de CO₂ é oriunda da queima de combustíveis fósseis e que para estabilizar a emissão deste gás seria necessário a redução de 60 a 80% das emissões realizadas por atividade humana.

Ainda na quantificação para correlacionar a importancia da emissão de CO₂ pela fonte estudada, Almeida et al (2020) cita que para o ano de 2018 no estado de São Paulo 97,86% da emissão deste gás foram de contribuições diretas de fonte móveis. A Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM) considera a emissão de gases por meio de transporte como a principal fonte móvel de emissão.

2.3.1. Metodologia *Top Down* Emissão de dióxido de carbono

Alvares Jr, Linke (2001) citam que esta metodologia é a recomendada pelo ministério do governo federal de Minas e Energia (MME) em 1999 no documento de Balança Energético Nacional (BEN) e deve ter a conversão de todas as medidas de consumo de combustível para uma unidade comum.

Para o calculo da emissão real de dióxido de carbono são necessários aplicar 3 passos lógicos por equações para calcular a emissão real de CO₂ que serão apresentados abaixo. (Cruvinel et al, 2012)

1) Equação para calculo do consumo de energia.

$$CC = CA \times F_{conv} \times 45,2 \times 10^{-3} \times F_{corr}$$

CC é o consumo de energia em terajoules (TJ);

CA é o consumo aparente do combustível em volume (m³);

$45,2 \times 10^{-3}$ é um tEP brasileiro;

F_{conv} é o fator de conversão em tEP / unidade física, que é dada em função do tipo de combustível (adotado 0,848 para combustível do tipo óleo diesel em volume metro cúbico).

F_{corr} é o fator de correção adimensional de PCS (Poder Calorífico Superior) para PCI (Poder Calorífico Inferior).

Após quantificar o consumo de energia, é necessário a conversão dos dados para a quantidade de carbono efetivamente emitida da fonte que será apresentada no passo 2.

2) Equação para cálculo da quantidade de carbono

$$QC = CC \times F_{emiss} \times 10^{-3}$$

QC é a Quantidade Carbono medidos em gigagramas de carbono (GgC)

F_{emiss} referente ao Fator de Emissão de carbono de acordo com tabela, este item varia de acordo com o combustível utilizado, para diesel será utilizado 20,2 tC/TJ de acordo com tabela apresentada IPCC (1996c) e MCT (1999b).

O terceiro e último passo é o cálculo das emissões reais de CO₂ (ECO₂). O cálculo é feito tendo como base a quantidade de carbono existente em uma molécula de CO₂. Para tal, são multiplicadas a quantidade de carbono pela razão do peso molecular do dióxido de carbono e do carbono e uma constante (1000) para efetuar a conversão de unidades de gigas para tonelada.

3) Equação para cálculo da emissão real de CO₂.

$$ECO_2 = \left(QC \times \frac{44}{12} \right) \times 1000$$

ECO_2 são as emissões reais de dióxido de carbono em toneladas;

$\frac{44}{12}$ conversão entre pesos moleculares;

1000 é a conversão das unidades (1 GgCO₂ = 1.000 toneladas de Dióxido de Carbono).

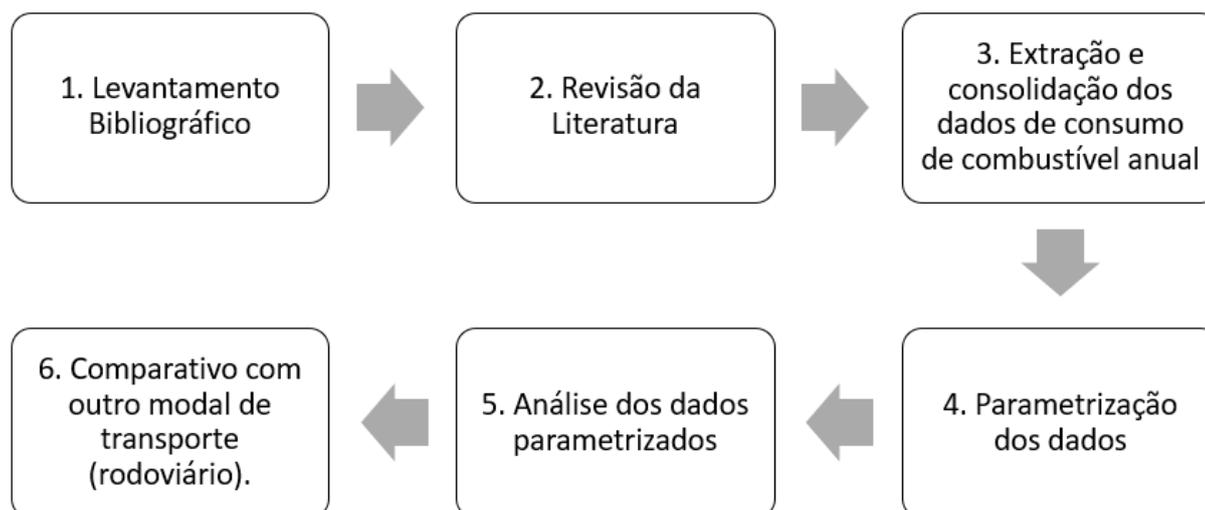
3. Método de Pesquisa

Segundo Gil (2002), uma pesquisa, tendo em vista seus objetivos, pode ser classificada em pesquisa exploratória, pesquisa descritiva, pesquisa explicativa. Este presente trabalho utilizará a pesquisa exploratória, de modo a proporcionar exploração dos índices de desempenho apresentados por uma concessão ferroviária.

Para o problema proposto, a melhor forma é utilizar índices para realização de medição de desempenho conforme citam diversos autores (ALBUQUERQUE, 2006; SIMÃO; GONÇALVES, 2015).

Desta forma, após a revisão bibliográfica foram extraídos dados de uma empresa privada de concessão ferroviária que realiza o transporte de insumos entre as localidades estudadas.

Figura 3: Etapas da pesquisa



Fonte: Elaboração própria

As etapas foram elaboradas visando atender os objetivos gerais e específicos do trabalho. A etapa 1 consiste no levantamento bibliográfico que ocorreu em abril de 2021, tendo como base artigos, livros e teses no período atual.

Na etapa seguinte, foi realizada a revisão bibliográfica dos materiais pesquisados e realizado análise e interpretação de conceitos apresentados por diversos autores. A sustentação teórica deste texto foi embasada nos conceitos apresentados pelos autores mencionados.

A etapa 3 foi realizada na empresa estudada, onde foram extraídos dos bancos de dados dos abastecimentos realizados em cada trem que circula na malha da empresa. Todos os abastecimentos e distâncias logísticas percorridas são consolidadas via sistema para controle operacional.

O próximo passo, foi realizar a parametrização dos dados extraídos para unidade de emissão de dióxido de carbono para permitir a análise destes dados corretamente. Após a parametrização, foi permitida realização da etapa 5 de análise destes dados todos em uma mesma unidade de medida.

Em contato com cliente desta empresa, foi verificado que há transporte do material pelo modo rodoviário. Então, foi considerada a abordagem de realizar a comparação destes modais como parâmetro conclusivo do estudo realizado.

4. Apresentação da empresa estudada

A empresa estudada atua no setor de logística e possui o transporte integrado como seu produto chave. Atua em cinco corredores logísticos com uma malha ferroviária de mais de oito mil quilômetros, possui três portos próprios e 8 terminais intermodais. Hoje conta com a participação de mais de 7500 funcionários atuando em todo Brasil com a maior parte da operação voltada a região Sudeste.

A região abordada neste estudo inclui uma rota de um corredor logístico denominado “Minas-Rio” e realiza transporte de insumos metalúrgicos sendo em sua totalidade calcário e clínquer para uma empresa de grande porte siderúrgico.

Esta rota possui 485 quilômetros de linha ligando os municípios de Barra Mansa no estado do Rio de Janeiro e Arcos no estado de Minas Gerais, conta com cinco pares de trem atuando na malha para

utilização neste transporte. Ainda possui uma oficina de locomotiva, uma oficina de vagões e um posto de manutenção de vagões para dar suporte as operações do corredor.

A frota atual de locomotiva utilizada neste transporte são de BB36, fabricadas pela GE (*General Electric*) na década de 80. Estas locomotivas são tracionadas por um motor primário que utiliza a queima de combustível fóssil (diesel) para acionar um gerador elétrico que transmite potencia para as rodas de tração e assim movimentar o trem. Estes motores são denominados “diesel-elétrico”.

Figura4: Foto do modelo de locomotiva BB36 da GE similar a utilizada pela empresa estudada.



Fonte:Foto da internet (Flickr).

5. Apresentação dos dados extraídos e parametrizados

Os dados extraídos são computados via sistema para controle do abastecimento de combustível de cada trem que circula na malha. Além deste, utiliza-se a medida logística de transporte de quilotonelada por quilometro util (unidades KTKu).

Somente foi considerado os dados dos trens que circulam carregados com origem em Arcos-MG e destino em Barra Mansa-RJ. O abastecimento dos trens vazios, manobras em pátio e veículos de manutenção foram desconsiderados para efeitos de comparação com outro modal de transporte. Assim, foram filtrados apenas os trens de carga com calcário e clínquer da origem para destino supracitado.

A empresa possui sistema de controle por abastecimento separados por trem e por ordem de serviço para controle interno, fez a necessidade de somar em sua totalidade os trens de carga carregados com calcario e clínquer com origem e destino preestabelecidos do estudo ano a ano. Foram considerados os seis ultimos anos conforme tabela 2.

Tabela 2: Dados extraídos do sistema da empresa.

Ano	Consumo Combustível (l)	Transporte (KTKu)	Número de Trens (unid)
------------	------------------------------------	------------------------------	-----------------------------------

2015	11.102.678,03	986.005,44	1959
2016	7.673.146,96	688.612,53	908
2017	11.534.710,10	1.002.028,86	1453
2018	11.409.320,39	997.624,50	1365
2019	9.277.663,97	778.425,09	1191
2020	11.029.206,27	925.058,56	1486

Fonte:Elaboração própria

No estudo foram considerados os seis últimos anos, onde foram transportados 8362 trens carregados, total de 5.377.754,97 quilotonelada por quilometro util e consumo de 62.026.725,71 litros de óleo diesel.

Com os consumos consolidados, foi possível aplicar a metodologia *Top Downe* calcular o consumo de energia anual gerado pela queima deste volume de combustível.

Tabela 3: Calculo do consumo de energia em terajoules a partir do consumo.

Ano	<i>Consumo Combustível (l)</i>	Consumo de Energia (TJ)
2015	11.102.678,03	404,2831
2016	7.673.146,96	279,403
2017	11.534.710,10	420,014
2018	11.409.320,39	415,449
2019	9.277.663,97	337,828
2020	11.029.206,27	401,607

Fonte: Elaboração própria

A partir do consumo de energia gerado é possível calcular o conteúdo de carbono (QC).

Tabela 4: Calculo da quantidade de carbono emitida na queima do combustível em relação ao consumo.

Ano	<i>Consumo Combustível (l)</i>	Conteúdo de Carbono “QC” (GgC)
2015	11.102.678,03	8,16652
2016	7.673.146,96	5,64395
2017	11.534.710,10	8,48430
2018	11.409.320,39	8,39207

9

2019	9.277.663,97	6,82414
2020	11.029.206,2 7	8,11248

Fonte:Elaboração própria

E finalmente conseguirmos aplicar os fatores de correção conforme extraído da metodologia *Top Down* extrair o dado interessado que consiste na quantificação da emissão de CO₂ pelos trens de carga de transporte estudados neste trabalho.

Tabela 5: Calculo do consumo de energia em terajoules a partir do consumo.

Ano	<i>Consumo Combustível (l)</i>	ECO2
2015	11.102.678,0 3	29,6445
2016	7.673.146,96	20,4875
2017	11.534.710,1 0	30,7980
2018	11.409.320,3 9	30,4632
2019	9.277.663,97	24,7716
2020	11.029.206,2 7	29,4483

Fonte:Elaboração própria

Com a somatória dos dados calculados conclui-se que para transportar 5.377.754,97 quilotonelada por quilometro util de carga foram emitidos 165,6131 de carbono.

Para referencia de comparação, será utilizado o outro modal utilizado para o transporte da mesma commodities estudada no trabalho que é o rodoviário. Mensalmente, toda demanda de transporte que o modal ferroviário não consegue absorver devido a restrições da malha e metodologia operacional é direcionado pelo rodoviario.

Neste transporte rodoviário são utilizados caminhões com 6 eixos espaçados chamados popularmente de “caçamba vanderleia”. O peso próprio nominal dos caminhões é de 16 toneladas (tara), capacidade de transporte de 25,5 toneladas totalizando um peso bruto 41,5 toneladas.

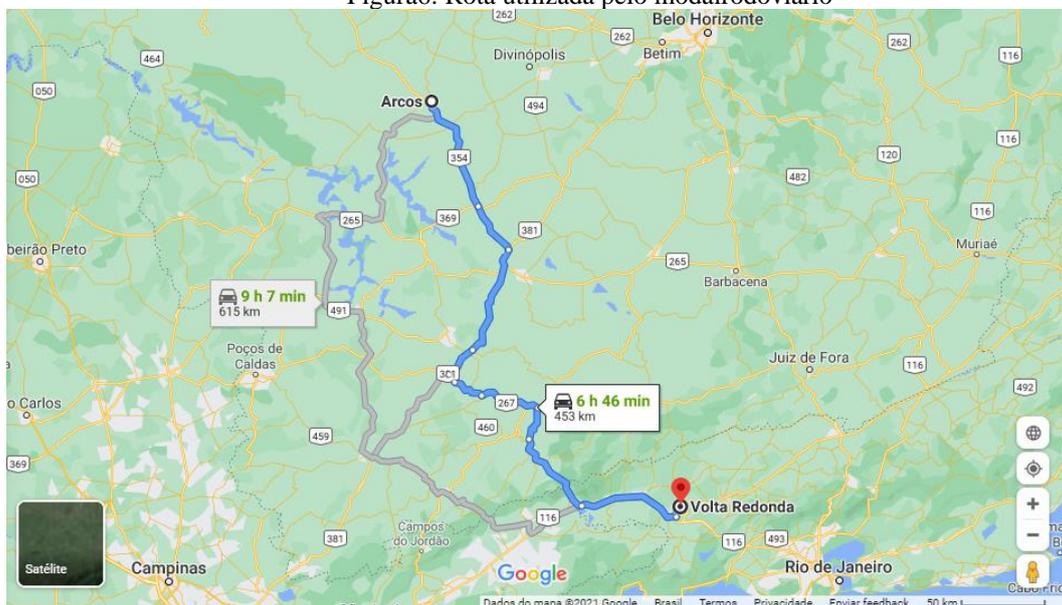
Figura 5: Foto de caminhão utilizado no transporte estudado na balança do cliente.



Fonte: Acervo próprio

Para o estudo deste trabalho, será considerado o mesmo volume transportado pelos trens e assim, conseguir extrair a emissão de carbono do mesmo material por outro modal. A rota utilizada pelos caminhões de Arcos a Volta Redonda possui 453 quilômetros de extensão utilizando o Google Maps como referência.

Figura 6: Rota utilizada pelo modal rodoviário



Fonte: Google Maps

Cada caminhão transporta no máximo 25 toneladas (0,025Kton) nesta distância gerando 11,325 KTKu (quilotonelada por quilômetro útil). Conforme supracitado, o volume do transporte ferroviário no período estudado foi de 5.377.754,97 quilotonelada por quilômetro útil. Assim, seriam necessários 474.857 viagens de caminhão para execução do mesmo transporte, em média cada trem representa 56,8 caminhões considerando o volume transportado.

Bartholomeu et al. (2016) concluiu que podemos utilizar como referencia o valor de 2,135 quilômetros por litro para o consumo de um caminhão com os dados obtidos através da média de consumo informado pelas transportadoras. Logo, é possível estimar um consumo aproximado de 212,18 litros de diesel por viagem. O consumo de combustível no modal rodoviário para o mesmo volume transportado será de 100.754.191,49 litros de diesel.

Tabela 6: Calculo da emissão de carbono para o modo rodoviário.

<i>Consumo Combustível (l)</i>	<i>Consumo de energia (TJ)</i>	Conteúdo de Carbono “QC” (GgC)	ECO2
100.754.191,49	3668,774	74,10924	269,0166

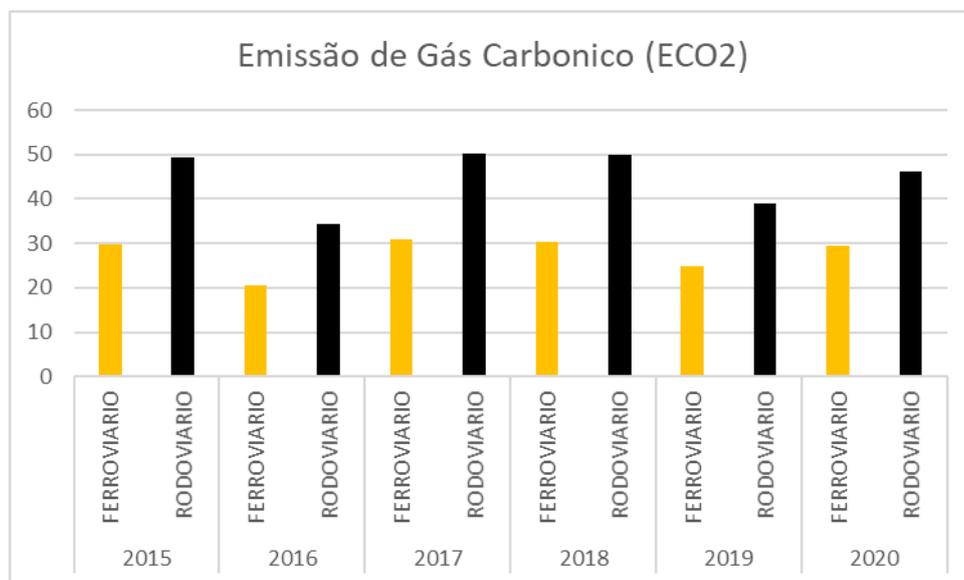
Fonte:Elaboração própria

6. Considerações finais

Entender a emissão de gas responsável pelo efeito estufa e reduzi-lo de forma considerável é um assunto de extrema importância. Um exemplo disto é a reunião do G20 (grupo que reúne as maiores 20 economias do mundo) que ocorreu em Roma na Itália no ano de 2021 para traçar uma estratégia de redução deste gás. Já estima que as emissões globais de CO2 no ano de 2021 terão segundo maior aumento da história. A União Europeia possui um acordo de todos os países que pertencem ao bloco economico reduzirem em até 55% na emissão liquida dos gases do efeito estufa até o ano de 2030. Além disso, há uma corrente que precifica o carbono emitido podendo ser revertido em ganhos para empresa.

Após análise e parametrização dos dados obtidos, o estudo proposto mostrou que ao comparar os dois modais que realizam este transporte específico, há uma emissão de 62% maior do modal rodoviário. Para visualizar a comparação foi elaborado o gráfico comparativo extratificado anualmente indicando o percentual emitido por fonte estudada.

Figura7: Gráfico para comparação de emissão de gas carbonico por ano.



Fonte:Elaboração própria

Assim, o objetivo específico da pesquisa foi alcançado, onde consistia no estudo de metodologia e quantificação da emissão do gás carbônico no transporte de calcário e clínquer entre as cidades de Barra Mansa e Arcos.

Nesta metodologia a idade da frota de locomotivas e caminhões não são consideradas o que pode gerar uma disparidade com a emissão real tendo em vista que os veículos são da década de 80. Entende-se que quando utilizar metodologia que considere esta variável pode apresentar uma disparidade maior.

Para um próximo estudo, é indicado utilizar a metodologia bottom down para comparação de resultados e indicar medidas para redução desta emissão no processo logístico ferroviário.

Hoje a empresa estudada não possui indicador específico para entender o impacto desta emissão e criar políticas para redução, mas é provável que deva fazer em breve devido atual cenário de mercado e políticas de ESG (Governança Ambiental, Social e Corporativa) que estão sendo adotadas devido ao cenário político mundial.

Referências

- ALBUQUERQUE, M. C., **Indicadores de desempenho do transporte ferroviário de carga**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) – Programa de Pós-Graduação de Engenharia Industrial, PUC-RJ, Rio de Janeiro.
- ALMEIDA, J. C. S., BRAGA, A. L. D. P., BASTOS, L., ARBILLA, G., & MARTINS, E. M. (2020). **Fatores de emissão de compostos carbonílicos medidos em um túnel do Rio de Janeiro, Brasil, em condições reais de dirigibilidade**. *Química Nova*, 43, 455-462.
- ALONSO, M. F., MOURA, S. F. D., & VERDI, T. F. (2020). **Estudo da Dispersão do Monóxido de Carbono Associado a Emissão Veicular na Região Metropolitana de Porto Alegre com o Sistema de Modelagem Numérica CCATT-BRAMS**. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 36, 49-62.
- ÁLVARES JR., O. M.; LINKE, R. R. A. **Metodologia simplificada para cálculo das emissões de gases de efeito estufa de frotas de veículos no Brasil**. São Paulo: CETESB, 2001.
- ANDERSON, P. R., MERGULHÃO, C., Stoffes, M. J., & STEIN, C. R. (2021). **Simulação do Efeito Estufa, da intensificação do Efeito Estufa pela presença de CO₂ e do impacto da mudança da cobertura da Terra na temperatura média do meio utilizando o Arduino**. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 43.
- ANTF – Associação Nacional dos Transportes Ferroviários. Disponível em: <https://www.antf.org.br/index.php>. Acesso em 22 de maio de 2019.
- ASSAD, E. D., MARTINS, S. C., CORDEIRO, L. A. M., & EVANGELISTA, B. A. **Sequestro de carbono e mitigação de emissões de gases de efeito estufa pela adoção de sistemas integrados. ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta**. Brasília: Embrapa, 153-167, 2019.
- ASSIS, T. F.; SILVA, M. A.; AMORIM, J. C. C., **Análise de Medida de Ecoeficiência Aplicada no Processo de Decisão para a Escolha de Alternativas de Rota de Transporte de Carga Agrícola**. In: Congresso de Pesquisas e Ensino em Transportes, 2014, Curitiba. XXVIII ANPET, 2014.
- BAHIANA, B. R., SOUZA, H. H., PAIXAO, A. C., **Planejamento, programação, controle operacional e outras técnicas de simulação no transporte ferroviário de cargas: Um estudo de caso sobre a MRS Logística**. In: Simpósio de Engenharia de Produção, XXII, 2015. Bauru/SP. Anais... SIMPEP, Bauru p. 1-14
- BARBIERI, J. C., VASCONCELOS, I. F. G., ANDREASSI, T., VASCONCELOS, F. C., **Inovação e**

Sustentabilidade: Novos Modelos e Preposições. RAE Publicações, São Paulo, 2010. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/rae/v50n2/02>>. Acesso em 23 mai 2019.

BARTHOLOMEU, D. B., PÉRA, T. G., & CAIXETA-FILHO, J. V. (2016). **Logística sustentável: avaliação de estratégias de redução das emissões de CO2 no transporte rodoviário de cargas.** Journal of Transport Literature, 10, 15-19.

BELLINI, L. P., LUCAS, C. G., **A importância da revitalização do transporte ferroviário de carga para o desenvolvimento da economia brasileira.** In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, XXXVI, 2016. João Pessoa/PB. Anais... ENEGEP, João Pessoa p. 2-15

ClimateWatch Plataforma – disponível em www.climatewatchdata.org. Acesso em 18 de outubro de 2021.

CNT – Confederação Nacional do Transporte. **O Sistema Ferroviário Brasileiro.** Transporte e Economia, 2013.

CRUVINEL, R. R. D. S., PINTO, P. V. H., & GRANEMANN, S. R. (2012). **Mensuração econômica da emissão de CO2 da frota dos transportadores autônomos de cargas brasileiros.** Journal of Transport Literature, 6(2), 234-252.

FALCÃO, V. A. (2013). **A Importância do Transporte Ferroviário de Carga para a Economia Brasileira e suas Reais Perspectivas de Crescimento.** Revista de Engenharia Civil. Ed, 45, 51-63.

GOMES, R. A. S., MACEDO, N. L. F., **Gestão da manutenção ferroviária: Um estudo de caso na ferrovia Vitória-Minas.** In: Simpósio de Engenharia de Produção, XXIII, 2016. Bauru/SP. Anais... SIMPEP, Bauru p. 48-58

GUIMARÃES, V. A.; LEAL Jr, I. C.; SALES, J. P.; ABADE, J. C.; FERNANDES, F. **Análise da ecoeficiência dos modos de transporte urbano de passageiros com ênfase no modo aquaviário.** XVIII ANPET, Curitiba, 2014.

JACOBI, P. R., **Educação ambiental, cidadania e sustentabilidade.** Cadernos de pesquisa, n. 118, p. 189-205, São Paulo, 2003.

LEAL JUNIOR, I. C., **Método de Escolha Modal para Transporte de Produtos Perigosos com Base em Medidas de Ecoeficiência.** 2010. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) – Programa de Engenharia de Transportes, UFRJ/COPPE, Rio de Janeiro.

MATOS, O. N. **Café e Ferrovias: A evolução ferroviária de São e o desenvolvimento da cultura cafeeira.** 4. Ed. Campinas (SP): Pontes, 1990

MATTOS, L. B. R., **A Importância do Setor de Transportes na Emissão de Gases do Efeito Estufa – O Caso do Município do Rio de Janeiro** [Rio de Janeiro] 2001 XIX , 179 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ) M.Sc., Planejamento Energético, 2001)

SANTOS, M. S. (2011). **Avaliação da eficiência produtiva das ferrovias de carga no Brasil: uma aplicação da metodologia DEA.** Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 78 fl

SIMÃO, L. E., & GONÇALVES, M. B. (2015). **Modelo integrado para medição do desempenho de redes logísticas de alto desempenho.** Revista ESPACIOS| Vol. 36 (Nº 07) Ano 2015.

XAVIER, M. E. R., & KERR, A. S. (2004). **A análise do efeito estufa em textos paradidáticos e periódicos jornalísticos.** Caderno Brasileiro de ensino de Física, 21(3), 325-349.

Recebido em: 02-12-21

Aceito em: 03-02-22

Endereço para correspondência:

Nome: Alison Rebula de Oliveira

Email: ualison.oliveira@gmail.com



Esta obra está licenciada sob uma [Licença Creative Commons Attribution 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)