

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS**  
**UNIDADE ACADÊMICA DE GRADUAÇÃO**  
**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**ARTHUR LEDUR FABBRIS**

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS MODAIS RODOVIÁRIO E FERROVIÁRIO**  
**Custo de construção, manutenção, transporte e acidentes**

**São Leopoldo**  
**2023**

ARTHUR LEDUR FABBRIS

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS MODAIS RODOVIÁRIO E FERROVIÁRIO**  
**Custo de construção, manutenção, transporte e acidentes**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, pelo Curso de Engenharia Civil da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS).

Orientador: Prof. Dr. Jeferson Ost Patzlaff

São Leopoldo

2023

À Deus,  
toda honra e toda glória.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, expresso minha gratidão a Deus pela dádiva da vida, juntamente com todas as oportunidades e bênçãos que tenho recebido ao longo da minha jornada, proporcionando um propósito significativo a ela. Essas experiências permitem que enxerguemos um sentido em cada situação, o que nos impulsiona a jamais desistir dos nossos sonhos e objetivos.

À minha família, por estar sempre ao meu lado em todos os momentos desta etapa de minha vida e que, com todo amor, carinho e suporte, me motivou a persistir, superando todas as adversidades enfrentadas.

Em especial ao meu pai, Victor, e à minha mãe, Celi, que dedicaram suas vidas incansavelmente para proporcionar a mim e à minha irmã uma educação de qualidade. Eles não mediram esforços nessa jornada, e sou imensamente grato por todo o apoio e dedicação que nos ofereceram.

À minha irmã, Sofia, por estar sempre disposta a me auxiliar em meus empreendimentos quando eu precisava de suporte, sou muito grato por sua presença e contribuição nestes momentos.

Ao professor Dr. Jeferson Ost Patzlaff por ter aceito a missão de ser meu orientador em meu trabalho de conclusão, passando seu conhecimento e dicas valiosas para que eu pudesse desenvolver esta etapa de minha graduação, juntamente ao suporte por ele prestado em etapas de meus projetos profissionais, os quais desenvolvia em paralelo a este. Muito obrigado.

Aos professores Dr. Marco Aurélio Stumpf González e Me. Diego Schneider do curso de Engenharia Civil da Unisinos, por terem influência direta nas etapas finais de minha graduação, prestando suporte essencial em meus projetos.

Ao professor Me. Fabiano da Silva Jorge do curso de Engenharia Civil da Unisinos, pela inspiração na temática do presente trabalho e parceria durante as etapas de minha Graduação, passando conhecimentos de extrema relevância para o desenvolvimento das atividades realizadas.

Ao professor Dr. Uziel do curso de Engenharia Civil da Unisinos, pela amizade de longa data e, principalmente, pelo apoio prestado em meus negócios que desenvolvi durante o período de minha Graduação.

Ao Engenheiro Civil Renan Ledur e ao colega Norton Ledur, pela oportunidade de poder fazer parte de seu time da Globe Engenharia durante as etapas de estágio da Graduação.

Ao especialista em ferrovias, Carlos Alberto Martins da Matta, pelo compartilhamento de informações de extrema importância sobre as ferrovias. Suas contribuições foram essenciais para o desenvolvimento desta etapa final da minha graduação. Sua expertise e conhecimento enriqueceram significativamente este trabalho.

Ao DAER/RS por me receber cordialmente e fornecer um suporte de extrema importância na obtenção dos dados utilizados neste trabalho. Sua colaboração foi fundamental para o desenvolvimento deste estudo.

À Thaís Motta por todo suporte prestado quanto à ortografia geral do trabalho, citações e referências, ao qual sempre se mostrou prestativa para me ajudar a qualquer momento em que eu precisasse, muito obrigado.

Aos novos amigos que fiz ao longo do curso, que contribuíram de alguma forma com amizade, companheirismo, esforços e dedicação, para que todas as etapas das disciplinas desenvolvidas pudessem ser concluídas, sendo alguns deles: Gian Moreira, Eduardo Portal, Marco Rauber, Eduardo Maurer, Hiago Machado, Andrei Moraes, Diego Logue, Julia Zarth, Leonardo Zanoelo, Fernando Coutinho, Lucas Bastian, Alexandre Tem Cate, Guilherme Fisch, Anderson Steffen, entre outros, meu muito obrigado.

Por fim, agradeço a todos e a todas que, de forma direta ou indiretamente, contribuíram de alguma forma para este estudo. Deixo registrada aqui meus mais sinceros agradecimentos.

## RESUMO

Os modais de transporte rodoviário e ferroviário desempenham papel fundamental na engrenagem logística, tanto para o transporte de passageiros, quanto para o transporte de cargas. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi realizar uma comparação entre os modais rodoviário e ferroviário no Brasil, abordando custos de construção, manutenção por conservação, transporte, além de analisar os números de acidentes gerais, acidentes com vítimas e números de vítimas exclusivamente fatais. Como forma de atendê-lo, selecionou-se os dois principais modais de transporte em desenvolvimento no Brasil. Em seguida, identificou-se os dados relevantes para análise desses modais, permitindo a realização de pesquisas junto a órgãos federais, autarquia estadual, concessionária de uma via, simuladores de custos e estudos científicos. Por fim, realizou-se uma análise comparativa desses dados, levando em consideração elementos complementares para um panorama consolidado. Entre os principais resultados, destaca-se que as ferrovias têm custos gerais de construção superiores às rodovias, enquanto as rodovias possuem custos anuais de manutenção mais elevados. No entanto, o modal ferroviário oferece a vantagem de possibilitar o transporte de volumes mais expressivos de cargas. No que diz respeito aos custos de transporte, as ferrovias mostraram ser mais vantajosas para o transporte de grandes volumes de carga em distâncias acima de 75 km. Além disso, ao analisar os números de acidentes e mortes, verificou-se que o modal rodoviário registrou maior número de ocorrências. Por fim, pode-se concluir que o modal ferroviário apresenta vantagens em relação ao modal rodoviário em termos de custo de construção e manutenção, especialmente quando considera-se a relação destes à quantidade de toneladas transportadas. Ademais, destacam-se os menores custos de transporte ferroviário à medida que as distâncias percorridas aumentam, bem como a menor incidência de acidentes considerando todas as extensões das malhas. Por outro lado, o modal rodoviário se mostra mais vantajoso em termos de menor frequência de mortes quando considerada sua extensão total.

**Palavras-chave:** custos; acidentes; modal rodoviário; modal ferroviário; transporte de carga.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Classificação dos revestimentos .....	21
Figura 2 – Revestimentos Rígido e Flexível .....	22
Figura 3 – Mapa Multimodal .....	27
Figura 4 – Elementos da via permanente .....	29
Figura 5 – Perfil Vignole .....	30
Figura 6 – Representação esquematizada da bitola da via .....	31
Figura 7 – Mapa Ferroviário .....	35
Figura 8 – Organização das etapas do estudo comparativo .....	44
Figura 9 – Modais de transporte rodoviário e ferroviário .....	46

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Custo de implantação por km x VDMc.....	25
Gráfico 2 – Acidentes rodoviários entre 2007 e 2021.....	38
Gráfico 3 – Tipos de acidentes rodoviários entre 2007 e 2021. ....	39
Gráfico 4 – Mortes por acidentes rodoviários entre 2007 e 2021.....	39
Gráfico 5 – Acidentes envolvendo pelo menos um caminhão entre 2007 e 2018. ....	40
Gráfico 6 – Tipos de acidentes envolvendo pelo menos um caminhão entre 2007 e 2018. ....	41
Gráfico 7 – Mortes por acidentes envolvendo pelo menos um caminhão entre 2007 e 2018. ....	41
Gráfico 8 – Acidentes ferroviários entre 2011 e 2019. ....	42
Gráfico 9 – Feridos por acidentes ferroviários entre 2011 e 2019.....	43
Gráfico 10 – Mortes por acidentes ferroviários entre 2011 e 2019.....	43
Gráfico 11 – Disposição dos modais de transporte de cargas .....	45
Gráfico 12 – Percentuais de utilização dos dois principais tipos de pavimentos do Brasil .....	47
Gráfico 13 – Custos de transporte por tonelada para cada distância completa percorrida entre rodovias e ferrovias em abril de 2023. ....	65
Gráfico 14 – Custos de transporte por tonelada por km entre rodovias e ferrovias em abril de 2023 no intervalo completo.....	66
Gráfico 15 – Custos de transporte por tonelada por km entre rodovias e ferrovias em abril de 2023 no intervalo reduzido. ....	68
Gráfico 16 – Acidentes rodoviários x acidentes ferroviários entre 2011 e 2019.....	72
Gráfico 17 – Acidentes com vítimas em rodovias x acidentes com vítimas em ferrovias entre 2011 e 2019.....	74
Gráfico 18 – Mortes em rodovias x mortes em ferrovias entre 2011 e 2019. ....	75
Gráfico 19 – Acidentes com pelo menos um caminhão x acidentes ferroviários entre 2011 e 2018. ....	77
Gráfico 20 – Acidentes com vítimas com pelo menos um caminhão x acidentes com vítimas em ferrovias entre 2011 e 2018. ....	78
Gráfico 21 – Mortes com pelo menos um caminhão x mortes em ferrovias entre 2011 e 2018. ....	80

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Custos (R\$) da implantação por km. ....	25
Quadro 2 – Malha rodoviária por jurisdição segundo situação física e tipo de implantação – 2019. ....	27
Quadro 3 – Vida útil média em anos e MTBT durante a vida útil dos materiais da via permanente. ....	32
Quadro 4 – Custos do modal ferroviário no Brasil, para uma via de 1.000 km de extensão, por ton-km útil em 2009. ....	34
Quadro 5 – Análise comparativa do custo anual por km. ....	34
Quadro 6 – Custos construtivos médios por km das rodovias – out/2022. ....	55
Quadro 7 – Custos construtivos médios por km das ferrovias – abril/2023. ....	58
Quadro 8 – Custos construtivos médios por km x toneladas transportadas por ano dentre as rodovias e ferrovias. ....	60
Quadro 9 – Custos construtivos médios por km x toneladas transportadas durante a vida útil dentre as rodovias e ferrovias. ....	61
Quadro 10 – Custos anuais de conservação médios por km x toneladas transportadas por ano entre as rodovias e ferrovias. ....	62
Quadro 11 – Custo de transporte por tonelada para rodovias em abril de 2023 x Custo de transporte por tonelada c/ tarifa fixa por trajeto de R\$16,25 para ferrovias em abril de 2023. ....	64
Quadro 12 – Acidentes rodoviários x acidentes ferroviários entre 2011 e 2019. ....	73
Quadro 13 – Acidentes com vítimas em rodovias x acidentes com vítimas em ferrovias entre 2011 e 2019. ....	74
Quadro 14 – Mortes em rodovias x mortes em ferrovias entre 2011 e 2019. ....	76
Quadro 15 – Acidentes com pelo menos um caminhão x acidentes ferroviários entre 2011 e 2018. ....	77
Quadro 16 – Acidentes com vítimas com pelo menos um caminhão x acidentes com vítimas em ferrovias entre 2011 e 2018. ....	79
Quadro 17 – Mortes com pelo menos um caminhão x mortes em ferrovias entre 2011 e 2018. ....	80
Quadro 18 – Extensão da malha em km x acidentes dentre ambos os modais em 2019. ....	81

Quadro 19 – Extensão da malha em km x mortes dentre ambos os modais em 2019.  
.....82

## LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANTT	Agência Nacional de Transportes Terrestres
BDI	Benefício e Despesa Indireta
BGS	Brita Graduada Simples
CAP	Cimento Asfáltico de Petróleo
CAUQ	Concreto Asfáltico Usinado a Quente
CBUQ	Concreto Betuminoso Usinado a Quente
CCP	Concreto de Cimento Portland
CCR	Concreto Compactado com Rolo
CM	Custo Médio
CNT	Confederação Nacional do Transporte
DAER	Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
EPL	Empresa de Planejamento e Logística
FGV	Fundação Getúlio Vargas
FICO	Ferrovia de Integração Centro-Oeste
FIOL	Ferrovia de Integração Oeste-Leste
FIT	Fator de Interferência de Tráfego
IBRE	Instituto Brasileiro de Economia
NBR	Normas Brasileiras de Regulação
PCS	Pavimento de Concreto Simples
RCF	Rail Contact Fatigue
SAFF	Sistema de Acompanhamento e Fiscalização do Transporte Ferroviário
TLSA	Transnordestina Logística S/A
VDMc	Volumes Diários Médios de Veículos Comerciais

**LISTA DE ABREVIATURAS**

km	Quilômetro
m	Metro
mm	Milímetro
mtbt	Milhões de Toneladas Brutas Transportadas
ton	Tonelada
tku	Tonelada por Quilômetro Útil

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
1.1 TEMA .....	16
1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA .....	16
1.3 OBJETIVOS .....	17
<b>1.3.1 Objetivo geral</b> .....	<b>17</b>
<b>1.3.2 Objetivos específicos</b> .....	<b>17</b>
1.4 JUSTIFICATIVA .....	17
<b>2 MODALIDADES LOGÍSTICAS DE TRANSPORTE</b> .....	<b>19</b>
2.1 MODAL LOGÍSTICO RODOVIÁRIO BRASILEIRO .....	19
<b>2.1.1 Composição da malha rodoviária</b> .....	<b>19</b>
<b>2.1.2 Desafios enfrentados quanto à sua construção e manifestações patológicas</b> .....	<b>22</b>
<b>2.1.3 Estimativa de vida útil</b> .....	<b>23</b>
<b>2.1.4 Custos globais de construção e manutenção</b> .....	<b>24</b>
2.1.4.1 Custos de construção .....	24
2.1.4.2 Custos de manutenção .....	26
<b>2.1.5 Atual situação e disposição da malha rodoviária em território brasileiro</b> .....	<b>26</b>
<b>2.1.6 Vantagens e desvantagens frente à sua utilização</b> .....	<b>28</b>
2.2 MODAL LOGÍSTICO FERROVIÁRIO BRASILEIRO .....	28
<b>2.2.1 Composição da malha ferroviária</b> .....	<b>29</b>
<b>2.2.2 Desafios enfrentados quanto à sua construção e manifestações patológicas</b> .....	<b>31</b>
<b>2.2.3 Estimativa de vida útil</b> .....	<b>32</b>
<b>2.2.4 Custos globais de construção e manutenção</b> .....	<b>33</b>
2.2.4.1 Custos de construção .....	33
2.2.4.2 Custos de manutenção .....	34
<b>2.2.5 Atual situação e disposição da malha ferroviária em território brasileiro</b> .....	<b>34</b>
<b>2.2.6 Vantagens e desvantagens frente à sua utilização</b> .....	<b>36</b>
2.3 CUSTOS DE TRANSPORTE DOS MODAIS RODOVIÁRIO E FERROVIÁRIO .....	36
2.4 QUANTITATIVOS FRENTE A ACIDENTES E VIDAS PERDIDAS .....	37
<b>3 DADOS E MÉTODOS</b> .....	<b>44</b>
3.1 ETAPAS DO COMPARATIVO .....	44

3.2 ETAPA 1 – SELEÇÃO DOS DOIS PRINCIPAIS MODAIS DE TRANSPORTE...	45
3.3 ETAPA 2 – DETERMINAÇÃO DOS DADOS PARA ANÁLISES REFERENTES A CADA MODAL.....	46
3.4 ETAPA 3 – COLETA DE DADOS.....	47
3.5 ETAPA 4 – ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS MODAIS .....	53
<b>4 APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....</b>	<b>54</b>
4.1 ANÁLISE DOS MODAIS RODOVIÁRIO E FERROVIÁRIO FRENTE AOS CUSTOS DE CONSTRUÇÃO E MANUTENÇÃO .....	54
<b>4.1.1 Análise do modal rodoviário frente aos custos de construção e manutenção .....</b>	<b>54</b>
4.1.1.1 Custo de construção da malha.....	54
4.1.1.2 Custo de manutenção da malha.....	56
<b>4.1.2 Análise do modal ferroviário frente aos custos de construção e manutenção .....</b>	<b>57</b>
4.1.2.1 Custo de construção da malha.....	57
4.1.2.2 Custo de manutenção da malha.....	59
<b>4.1.3 Análise comparativa dos custos construtivos e de manutenção das malhas por km x toneladas transportadas por ano e dentro de suas vidas úteis .....</b>	<b>60</b>
4.2 IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DE DADOS ACERCA DE CUSTOS DE TRANSPORTE POR TONELADA PARA AMBOS OS MODAIS.....	63
4.3 ANÁLISE COMPARATIVA DE DADOS QUANTITATIVOS DOS ACIDENTES TOTAIS, ACIDENTES COM VÍTIMAS E VIDAS PERDIDAS ORIUNDOS DA UTILIZAÇÃO DESTES MODAIS.....	70
<b>4.3.1 Análise e comparação dos acidentes e mortes dentre ambos os modais</b>	<b>70</b>
<b>4.3.2 Combinação, análise e comparação dos acidentes e mortes dentre ambos os modais x extensões totais de suas respectivas malhas para o ano de 201981</b>	<b>70</b>
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>83</b>
5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	85
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>87</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Diante do cenário atual, a logística de transportes desempenha um importante papel no desenvolvimento e funcionamento da infraestrutura de vários países do mundo. É a partir desta logística que há a possibilidade de transportar tanto pessoas quanto insumos de diferentes locais com o melhor custo-benefício nos quesitos tempo e dinheiro, atribuindo assim ao modal de transportes, papel fundamental ao que se compreende a logística (BALLOU, 2006).

Segundo Souza e Markoski (2012), no Brasil existe um total de cinco modais de transporte de insumos gerais, que são o aéreo, dutoviário, ferroviário, hidroviário/aquaviário e rodoviário. Cada um deles possui suas especificidades e características de custos e operação, vantagens e desvantagens, tornando-os congruentes para determinadas aplicações. A CNT (Confederação Nacional do Transporte) (2016) esclarece que os modais de transporte predominantes em território brasileiro são o rodoviário, seguido do ferroviário e aquaviário, com 65%, 20% e 12% das fatias de transportes, respectivamente. Em seguida, há o dutoviário com 3% e, por fim, o aéreo com 0,1%.

Pereira (2010) afirma que o modal de transportes rodoviário, predominante em território brasileiro, apresenta vantagens como, por exemplo, acessibilidade a locais de difícil acesso, mão de obra facilitada frente às cargas e competitividade ampliada em deslocamentos reduzidos. No entanto, dada a grande extensão do território brasileiro e sua larga escala produtiva de insumos, a logística acaba sendo afetada pelas limitações implicadas graças ao transporte reduzido de cargas deste modal.

De acordo com Batalha *et al.* (1997), existe um ponto específico que traz maior relevância ao sistema de transportes, referindo-se ao agronegócio e seus produtos que possuem expressão no quesito peso-valor, juntamente de perecibilidade, como é o caso da soja, por exemplo. Para Hijjar (2004) são os modais ferroviário e hidroviário que possuem as características mais importantes do sistema de transportes (valor agregado baixo, grandes capacidades, extensas distâncias). No entanto, mesmo com o Brasil tendo elevadas dimensões territoriais, ainda há a predominância do modal rodoviário em seu sistema logístico.

Ainda segundo Pereira (2010), o modal ferroviário se caracteriza pela grande eficiência no transporte de cargas de baixo valor agregado em grandes escalas e

extensos trajetos, aos quais desenvolve seu percurso por meio de vagões puxados por locomotivas sobre trilhos de ferro. Estes exigem alto valor de investimento para suas construções, dado seus leitos mais complexos anexados aos materiais rodantes – vagões e locomotivas – nele implementados. Em contrapartida, necessita de baixo custo operacional e de manutenção, além de possuir extensa vida útil.

Conforme já apontado por Hijjar (2004), os modais com melhor custo-benefício logístico em grandes distâncias no escoamento da soja, por exemplo, são a ferrovia e hidrovia, subseguidos do modal rodoviário ao qual atuaria no abastecimento dos terminais dos modais citados. Entretanto, conforme já citado pela CNT (2016), não é desta forma que o sistema logístico brasileiro se dispõe, sendo 65% destinado ao modal rodoviário e 20% ao ferroviário. De acordo com a CNT (2019a), em um período de 10 anos até 2019 o número de veículos em trânsito nas rodovias praticamente dobrou, e a extensão rodoviária expandiu apenas 12%, tornando-a sobrecarregada. Este agravante atrelado a outros fatores implica em acidentes conforme detalham estatísticas da CNT (2019a) e CNT (2022a) ao qual foram abordadas no decorrer do trabalho.

Nesse sentido, os modais rodoviário e ferroviário desempenham um papel significativo na logística brasileira, tanto do ponto de vista econômico quanto da sinalização de números que ajudem na preservação da vida humana. Portanto, este trabalho busca destacar os pontos relevantes que permitem comparar esses dois modais nos aspectos mencionados, a fim de identificar qual deles apresenta maiores vantagens frente a cada comparação.

## 1.1 TEMA

O trabalho contempla a temática relacionada à comparação entre os modais rodoviário e ferroviário no transporte de cargas em território brasileiro. São abordados aspectos relacionados aos custos de construção, manutenção e transporte, bem como dados quantitativos sobre acidentes em geral, acidentes com vítimas fatais ou não, e números exclusivamente de vítimas fatais envolvendo esses modais.

## 1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

O presente estudo fora realizado com embasamento técnico sobre artigos, estudos científicos, dados disponibilizados por órgãos federais, autarquia estadual, concessionária de uma via e simuladores de custos. Para a análise dos dados sobre os modais, coletaram-se informações sobre vias localizadas em regiões específicas e sobre vias de toda extensão territorial brasileira, objetivando um estudo que sustente e embase os objetivos especificados.

Foram abordados custos de construção e manutenção de rodovias, com a data-base de outubro de 2022, e, de ferrovias, com a data-base de abril de 2023. As composições das vias dos modais abordados foram pavimentação flexível com massa asfáltica para o estudo das rodovias – tendo em vista sua superioridade de utilização nas malhas rodoviárias brasileiras – e, bitola larga como base de estudo para as ferrovias – tendo em vista sua aplicação nas ferrovias consultadas –.

Os custos de transporte provenientes da utilização destes modais foram coletados com a data-base de abril de 2023. E, por fim, os dados referentes aos acidentes e vidas perdidas em decorrência de suas utilizações, foram coletados para intervalos de tempo diferentes, conforme disponibilizados nas pesquisas realizadas. Para os dados de acidentes e mortes gerais o intervalo foi de 2007 a 2021; para os dados envolvendo pelo menos um caminhão o intervalo foi de 2007 a 2018, e, para os dados das ferrovias o intervalo foi de 2011 a 2019.

## 1.3 OBJETIVOS

### 1.3.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho foi comparar dados sobre os modais rodoviário e ferroviário com foco no quesito do transporte de cargas, evidenciando detalhes desta comparação no âmbito financeiro e de preservação à vida.

### 1.3.2 Objetivos específicos

- a) Averiguar dados acerca de custos de construção e manutenção dos modais rodoviário e ferroviário;
- b) Analisar dados acerca de custos de transporte por tonelada para ambos os modais;
- c) Avaliar dados quantitativos dos acidentes totais, acidentes com vítimas e vidas perdidas, oriundos da utilização destes modais.

## 1.4 JUSTIFICATIVA

Até o momento, vários estudos trazem referenciais teóricos, ao abordarem dados quantitativos dos modais rodoviário e ferroviário, englobando pontos financeiros e de preservação da vida humana. Da mesma forma, buscam defender a substituição do modal rodoviário pelo ferroviário no transporte de cargas em expressivas distâncias dada a grande extensão territorial brasileira.

Quanto aos estudos teóricos que buscam detalhar ambos os modais logísticos nos tópicos referentes aos custos construtivos, de manutenção e de transporte, citam-se exemplos como Hijjar (2004), Pereira (2010), CNT (2016), Araújo *et al.* (2019), Batalha *et al.* (1997), Souza e Markoski (2012), Ballou (2006), Bernucci *et al.* (2008), Borges (2018), Araújo *et al.* (2019), Gimenes (2017) e Munhoz (2017). No quesito sobre números que abordam os acidentes e vidas perdidas destes dois modais, estudos como por exemplo CNT (2019a), CNT (2022a) e ANTT (2020, *apud* MIGUEL, 2020) trazem dados quantitativos para comparação e análise.

Diante de tais colocações, e do fato de que inúmeros são os enfoques de assuntos defendidos em trabalhos científicos, percebeu-se a necessidade de condensar e simplificar os parâmetros comparativos, de forma que facilite o entendimento dos dados evidenciados, por meio de artigos atualizados e informações obtidas de órgãos oficiais competentes.

## **2 MODALIDADES LOGÍSTICAS DE TRANSPORTE**

Este tópico aborda um estudo sobre os modais de transportes logísticos rodoviário e ferroviário, apontando aspectos específicos e características entre ambos, objetivando analisá-los e compará-los quanto aos custos construtivo, de manutenção e aos custos de transporte de cargas dentro do extenso território brasileiro, além dos acidentes oriundos de suas utilizações.

### **2.1 MODAL LOGÍSTICO RODOVIÁRIO BRASILEIRO**

De acordo com Leite *et al.* (2016), a modalidade rodoviária tem a finalidade de transportar cargas variadas, sendo composta por rodovias, estradas, ruas – com ou sem a presença de pavimentação –, cuja utilização predomina sobre todos os modais utilizados em território brasileiro. Conforme Lessa (2009), no ano de 1928, durante o mandato do então presidente Washington Luís, ocorria a inauguração da primeira rodovia pavimentada brasileira, fazendo a conexão entre Petrópolis e Rio de Janeiro. Atualmente, este trajeto é parte da BR 040 e conecta Rio de Janeiro à Belo Horizonte.

A partir da vinda e instalação do industrial automobilístico em território brasileiro na década de 1950, houve um fomento por parte do governo federal em investimentos nas malhas rodoviárias do país, pavimentando-se assim as principais vias. Desde então, o modal rodoviário tem sido predominante no país, diante da sua larga escala e acessibilidade a quase uma totalidade de locais da extensão territorial brasileira, além de ser a opção mais utilizada no transporte logístico de cargas (ALVARENGA; NOVAES, 2000). Em contrapartida, de acordo com a CNT (2022a), o modal rodoviário vem oferecendo riscos às vidas de seus usuários, diante dos altos índices de acidentes relatados em seus levantamentos, como por exemplo no ano de 2021, onde 10% dos acidentes com vítimas envolveram mortes.

#### **2.1.1 Composição da malha rodoviária**

O modal rodoviário, predominante no Brasil, é composto primordialmente por asfalto, considerado um dos materiais com características mais versáteis e um dos mais antigos na história. Ainda traz consigo uma série de benefícios como, por

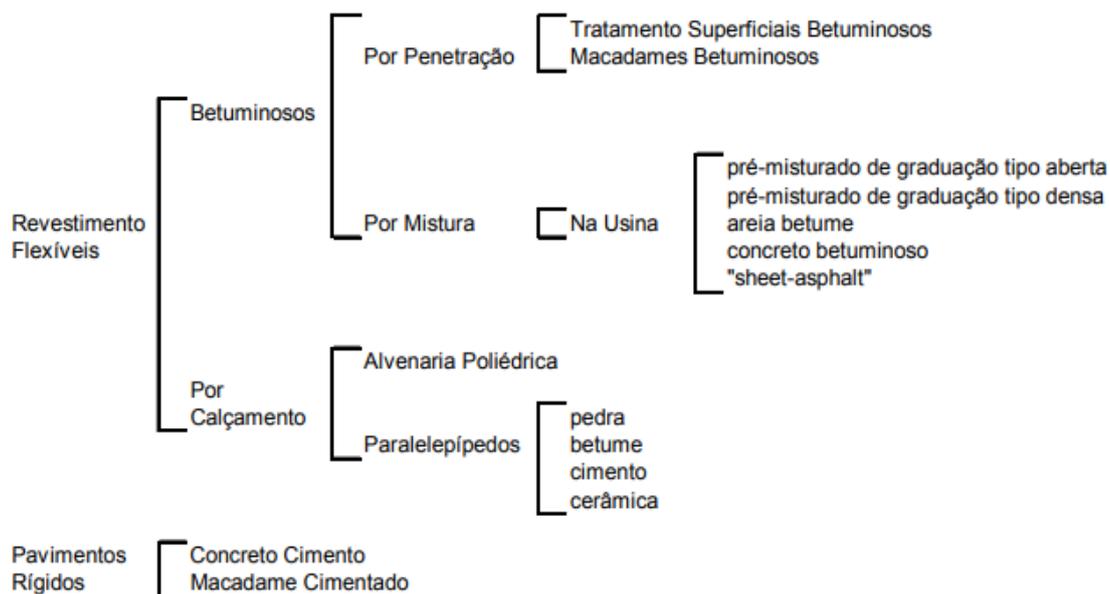
exemplo, a ligação intensa dos seus componentes agregados uns aos outros, gerando uma controlável flexibilidade ao revestimento, além das características de durabilidade, impermeabilidade e resistência às intempéries (BERNUCCI *et al.*, 2008). Segundo Eiras *et al.* (2018), uma série de fatores em conjunto definem as características, bem como a qualidade e resistência de uma massa asfáltica. Dentre estes fatores, pode-se citar a qualidade e a correta dosagem dos componentes, bem como o adequado manuseio pelo profissional, garantindo a otimização da massa asfáltica.

Em contrapartida, ainda de acordo com Eiras *et al.* (2018), há um crescente número de veículos com cargas elevadas em tráfego nas rodovias brasileiras, o que, com o passar do tempo, acaba intensificando a presença de patologias. Isso resulta na busca por soluções eficazes a partir de componentes mais resistentes, pelos profissionais da área, para as rodovias.

De acordo com Bernucci *et al.* (2008), a massa asfáltica, também conhecida por CAP (Cimento Asfáltico de Petróleo) em território brasileiro, é caracterizada por ser um ligante betuminoso resultante da destilação do petróleo. Esta massa possui a particularidade de ser pouco reativa e impermeável a água, além de conter especificações de termoviscoelasticidade e de um adesivo termoviscoplastico. Com o passar do tempo é comum o CAP passar por envelhecimento, este processo ocorre pela oxidação lenta, diante do contato com a água e o ar, mesmo que possua uma reatividade química baixa a uma serie de agentes.

Conforme cita BRASIL (2006), existe um total de três tipologias de pavimentos possíveis, sendo eles o pavimento flexível, pavimento semi-rígido e o pavimento rígido. Para Eiras *et al.* (2018), os pavimentos rodoviários mais utilizados no modal rodoviário brasileiro são o pavimento rígido e o pavimento flexível (Figura 1). De acordo com a CNT (2017a), a predominância da pavimentação flexível corresponde a 99% da malha rodoviária pavimentada total do Brasil, sendo 1% referente ao pavimento rígido.

Figura 1 – Classificação dos revestimentos



Fonte: BRASIL (2006, p. 98).

Para que se compreenda a composição do pavimento rígido, Bernucci *et al.* (2008, p. 337) detalha que,

Os pavimentos rígidos, em geral associados aos de concreto de cimento Portland, são compostos por uma camada superficial de concreto de cimento Portland (em geral placas, armadas ou não), apoiada geralmente sobre uma camada de material granular ou de material estabilizado com cimento (chamada sub-base), assentada sobre o subleito ou sobre um reforço do subleito quando necessário.

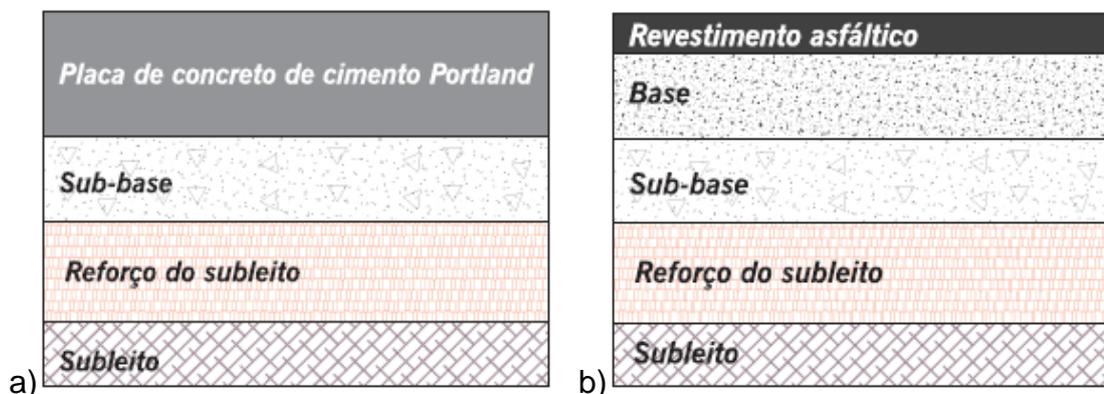
Já referente à composição do pavimento flexível, Bernucci *et al.* (2008, p. 337-338) relata que,

Os pavimentos flexíveis, em geral associados aos pavimentos asfálticos, são compostos por camada superficial asfáltica (revestimento), apoiada sobre camadas de base, de sub-base e de reforço do subleito, constituídas por materiais granulares, solos ou misturas de solos, sem adição de agentes cimentantes. Dependendo do volume de tráfego, da capacidade de suporte do subleito, da rigidez e espessura das camadas, e condições ambientais, uma ou mais camadas podem ser suprimidas.

Bernucci *et al.* (2008) detalha também de forma figurativa a disposição das camadas existentes nos pavimentos rígido e flexível. No pavimento rígido há disposição a partir da placa de concreto de cimento Portland seguido da sub-base, reforço do subleito e subleito, respectivamente, conforme a Figura 2a. Já quanto ao pavimento flexível, a disposição acontece inicialmente pelo revestimento asfáltico

seguido da base, sub-base, reforço do subleito e subleito, respectivamente, conforme a Figura 2b.

Figura 2 – Revestimentos Rígido e Flexível



Fonte: Bernucci *et al.* (2008, p. 337 e 338).

### 2.1.2 Desafios enfrentados quanto à sua construção e manifestações patológicas

Segundo Eiras *et al.* (2018), um dos grandes desafios encontrados na construção da malha rodoviária pavimentada tem relação direta com os custos necessários para sua implantação. Além disso, de acordo com Bernucci *et al.* (2008), para que o processo de estruturação ocorra de forma coerente é imprescindível a correta utilização de ferramentas e equipamentos suportados por mão de obra qualificada e, obviamente elaboração de projetos que busquem malhas rodoviárias asfálticas otimizadas.

Neste contexto, erros cometidos em etapas do processo de construção, ou a ausência de cuidados e manutenção, podem acarretar em uma série de defeitos como fendas, afundamentos, corrugação e ondulações transversais, exsudação, desgaste ou desagregação, panela ou buraco e/ou remendos (BRASIL, 2003). Além da existência de fiscalizações e legislações impróprias, ineficientes e fortemente burocráticas, de acordo com a CNT (2002), o rendimento das rodovias brasileiras declina no momento em que políticas governamentais priorizaram o modal rodoviário em detrimento dos demais modais disponíveis, tornando-o sobrecarregado e criando uma espécie de concorrência entre eles.

Algumas das possíveis soluções para os problemas citados, destacam-se a revisão das leis vigentes; o aprimoramento das fiscalizações, a fim de se evitar

patologias prematuras e problemas fiscais; otimizar os sistemas de pesagem, combatendo as sobrecargas; planejar, modernizar e promover manutenções periódicas das rodovias; além de um balanço coerente na utilização dos modais de transporte brasileiro, gerando um melhor aproveitamento do transporte de cargas (CNT, [2022?]).

### **2.1.3 Estimativa de vida útil**

Conforme já citado pela CNT (2017a), dentro do modal rodoviário brasileiro há a predominância de pavimentações rígida e flexível em sua disposição, onde na sua grande maioria a pavimentação flexível se faz presente – em 99% da malha rodoviária pavimentada –. Referente ao pavimento rígido, este possui uma vida útil estimada variando de acordo com seu projeto, execução, uso e manutenção, ou seja, entre 10 e 20 anos. Já quanto ao pavimento flexível, sua vida útil estimada é dependente de alguns fatores, como por exemplo a carga aplicada sobre ele, além da qualidade e quantidade correta dos insumos presentes em sua composição, somando-se a periódica manutenção, ou seja, entre 8 e 12 anos de idade.

Ainda de acordo com Eiras *et al.* (2018), o pavimento predominante em toda extensão territorial brasileira – pavimento flexível – é dimensionado visando um tempo de projeto aproximado de no mínimo 10 anos de vida útil, no entanto as combinações de alguns fatores contribuem para que esta estimativa seja reduzida na prática. A excessiva sobrecarga dos caminhões por exemplo, que trafegam diariamente nas vias, bem como a forte escalada de chuvas, tende a diminuir a expectativa de vida útil dos pavimentos rodoviários flexíveis em até 6 anos de idade, o que torna também aparente a falta de manutenção periódica.

Segundo a CNT (2017b), outro fator que acarreta a diminuição da vida útil do modal rodoviário brasileiro é relacionado ao método empírico que ainda é utilizado no dimensionamento dos pavimentos, o qual não considera fatores teóricos referentes ao desempenho elástico sobre as camadas dos pavimentos. Este método teve sua última revisão realizada há aproximadamente 60 anos, em torno de 40 anos antes quando comparado a outros países. Além disso, outros pontos implicam negativamente na vida útil das rodovias diante deste método que se encontra defasado frente às variáveis relacionadas à implementação de novos materiais,

técnicas, teorias sobre dimensionamento, atualizações sobre o tráfego atual e novos veículos de rodagem.

#### **2.1.4 Custos globais de construção e manutenção**

De acordo com Vias ([2022?]), em uma comparação direta nos quesitos durabilidade e necessidade de manutenções durante sua vida útil, os pavimentos rígidos possuem vantagem frente aos pavimentos flexíveis, no entanto a malha flexível pode trazer consigo vantagens de custos iniciais na sua disposição. Por outro lado, de acordo com Cavalet *et al.* (2019), pode ter ocorrido uma mudança no cenário referente às vantagens de custos em determinadas circunstâncias diante dos expressivos aumentos ocorridos nos valores dos ligantes asfálticos, em aproximadamente 60%, nos últimos anos.

##### **2.1.4.1 Custos de construção**

Baseado na suposição do dimensionamento de uma determinada via completa, CGPLAN (2018) relata exemplos mais atualizados de custos médios por km (quilômetro) necessários para sua implantação para janeiro de 2018. De acordo com seu levantamento, para que seja possível construir uma pavimentação flexível disposta em pista simples, contendo acostamento de 2,5 m, faixa de 3,6 m e revestida tanto no acostamento quanto na pista por CAUQ (Concreto Asfáltico Usinado a Quente) de 10 cm de espessura, necessita-se um custo médio por km de R\$ 3.159.000,00. Já no caso de uma pavimentação rígida disposta em pista simples, contendo acostamento de 2,5 m, faixa de 3,6 m e revestida tanto no acostamento quanto na pista por PCS (Pavimento de Concreto Simples) de 10 cm e 18 cm de espessura respectivamente, necessita-se um custo médio por km de R\$ 5.430.000,00.

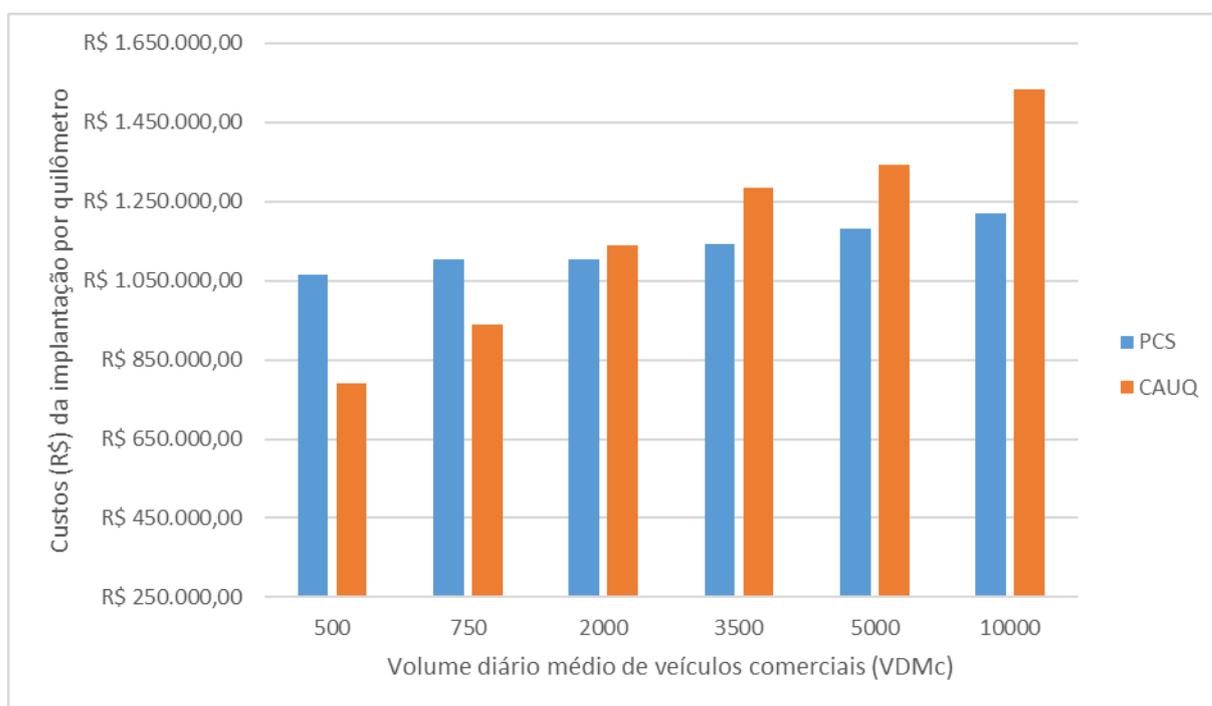
A partir de outra ótica analítica, Moschetti (2015) traz uma nova análise frente a custos da estrutura completa de pavimentação por meio de concreto PCS e asfalto CAUQ. Nessa análise, compara-se diferentes VDMc (Volumes Diários Médios de Veículos Comerciais) em tráfego em uma via de pista simples com 7 m de largura e, diante disto, qual a opção de pavimentação seria mais viável para comportar tal volume de tráfego por km, conforme expresso no Quadro 1 e Gráfico 1.

Quadro 1 – Custos (R\$) da implantação por km.

VDMc	PCS	CAUQ
500	R\$ 1.066.000,40	R\$ 791.484,50
750	R\$ 1.104.463,30	R\$ 938.046,27
2000	R\$ 1.104.463,30	R\$ 1.138.449,29
3500	R\$ 1.142.926,20	R\$ 1.285.548,61
5000	R\$ 1.181.389,10	R\$ 1.341.571,64
10000	R\$ 1.219.852,00	R\$ 1.532.054,61

Fonte: Adaptado de Moschetti (2015, p. 50).

Gráfico 1 – Custo de implantação por km x VDMc



Fonte: Adaptado de Moschetti (2015, p. 50).

De acordo com o Quadro 1 e Gráfico 1 de Moschetti (2015), o concreto com VDMc de 500 a 10000 é composto por CCP (Concreto de Cimento Portland), CCR (Concreto Compactado com Rolo) e BGS (Brita Graduada Simples), já o asfalto com VDMc de 500 é composto por CBUQ (Concreto Betuminoso Usinado a Quente), BGS e reforço, com acréscimo de Macadame Seco ao atingir VDMc de 10000.

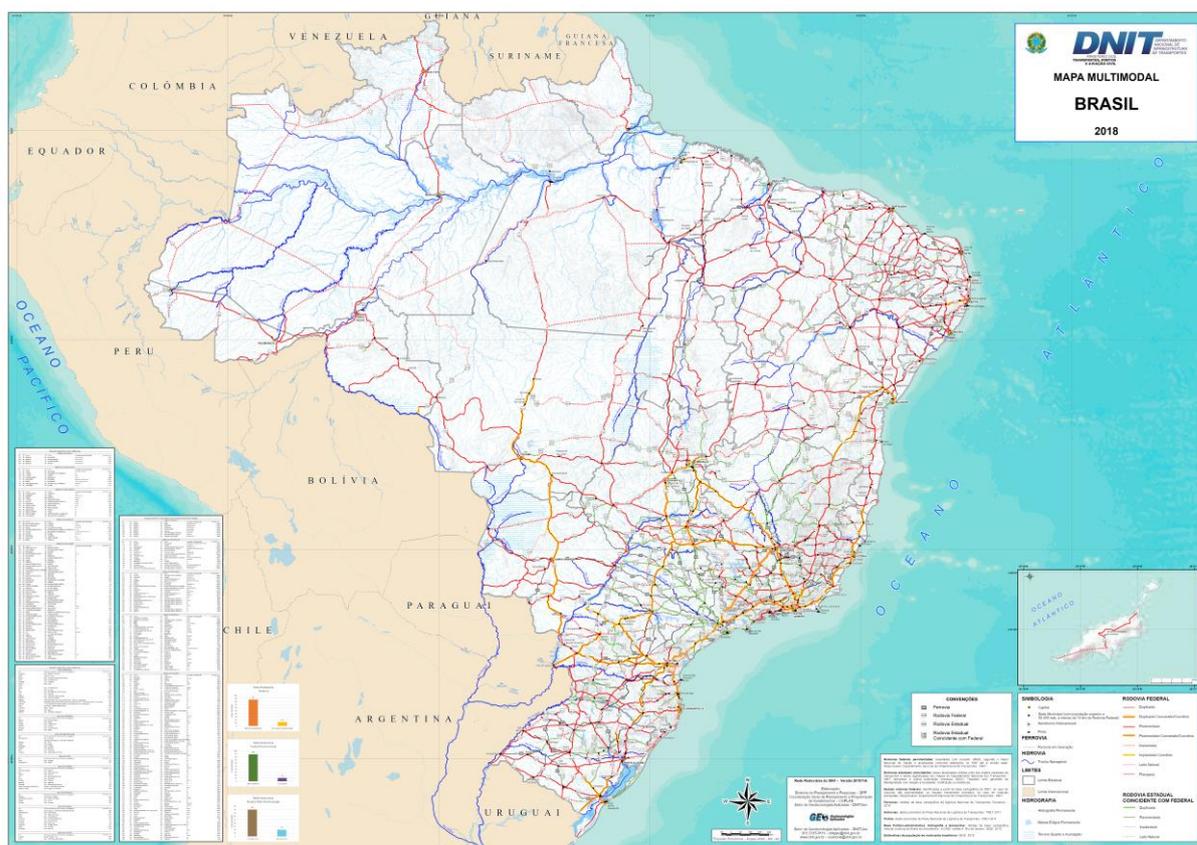
#### 2.1.4.2 Custos de manutenção

A partir do levantamento sobre dados de implantação de ambas as pavimentações mais utilizadas em território nacional – pavimento rígido e pavimento flexível –, percebe-se a importância em se contabilizar os custos de manutenção, para que se possa chegar a uma visão mais ampla frente a viabilidade econômica do modal rodoviário. Diante disso, de acordo com a planilha de custos médios gerenciais do CGPLAN (2018), pavimentos flexíveis em pista simples exigem manutenção de conservação anual com custo médio estimado de R\$ 51.800,00 por km; já uma possível restauração de pavimentos flexíveis apresenta custo médio estimado de R\$ 1.200.000,00 por km. Frente aos pavimentos rígidos, Cavalet *et al.* (2019) aborda uma estimativa de manutenção para um período de 20 anos com custo total de R\$ 247.371,06 por km, gerando uma média anual de R\$ 12.368,55 por km.

#### 2.1.5 Atual situação e disposição da malha rodoviária em território brasileiro

De acordo com o levantamento feito pelo anuário do transporte rodoviário de Principais (c2021), a malha rodoviária brasileira contou com um montante total de 1.720.700,00 km de rodovias em 2019, englobando as rodovias federais, estaduais transitórias, estaduais e municipais. Sua disposição encontra-se distribuída em formato de ramificações por toda extensão territorial brasileira conforme detalhou o DNIT (2018) na Figura 3 do seu Mapa Multimodal.

Figura 3 – Mapa Multimodal



Fonte: DNIT (2018).

O anuário do transporte de Principais (c2021) também fez um levantamento mais detalhado frente a quais tipos de malha rodoviária por jurisdição desenvolvem-se no modal rodoviário brasileiro, juntamente de sua situação física e tipo de implantação, conforme o Quadro 2.

Quadro 2 – Malha rodoviária por jurisdição segundo situação física e tipo de implantação – 2019.

Jurisdição	Malha rodoviária (km)			
	Planejada	Não Pavimentada	Pavimentada	Total
Federal	44.999,5	10.067,7	65.513,3	120.580,5
Estaduais Transitórias, Estaduais e Municipais	112.309,5	1.339.870,3	147.939,7	1.600.119,5
<b>Total</b>	<b>157.309,0</b>	<b>1.349.938,0</b>	<b>213.453,0</b>	<b>1.720.700,0</b>

Fonte: Adaptado de PRINCIPAIS (c2021).

### 2.1.6 Vantagens e desvantagens frente à sua utilização

Conforme Lima Neto (2001), a ampliação e o fortalecimento do modal rodoviário brasileiro garante, entre outros benefícios, a geração de empregos; adequação logística entre curtos e médios trajetos; relativa facilidade de mão de obra; agilidade nas entregas; serviço prestado diretamente ao consumidor final; e, atuação nas pontas de abastecimento e distribuição dos outros modais.

Em contrapartida, Lima Neto (2001) resalta algumas desvantagens logísticas rodoviárias como custos operacionais elevados, congestionamentos, eventuais fretes elevados, capacidade de carga reduzida, atuação direta na diminuição da vida útil das malhas rodoviárias e redução competitiva nos casos de longas distâncias. Além destes pontos, a CNT (2022b) destaca também o risco para com a vida das pessoas em decorrência da utilização do modal rodoviário, dado o aumento de acidentes relatado no ano de 2021 nas rodovias federais.

## 2.2 MODAL LOGÍSTICO FERROVIÁRIO BRASILEIRO

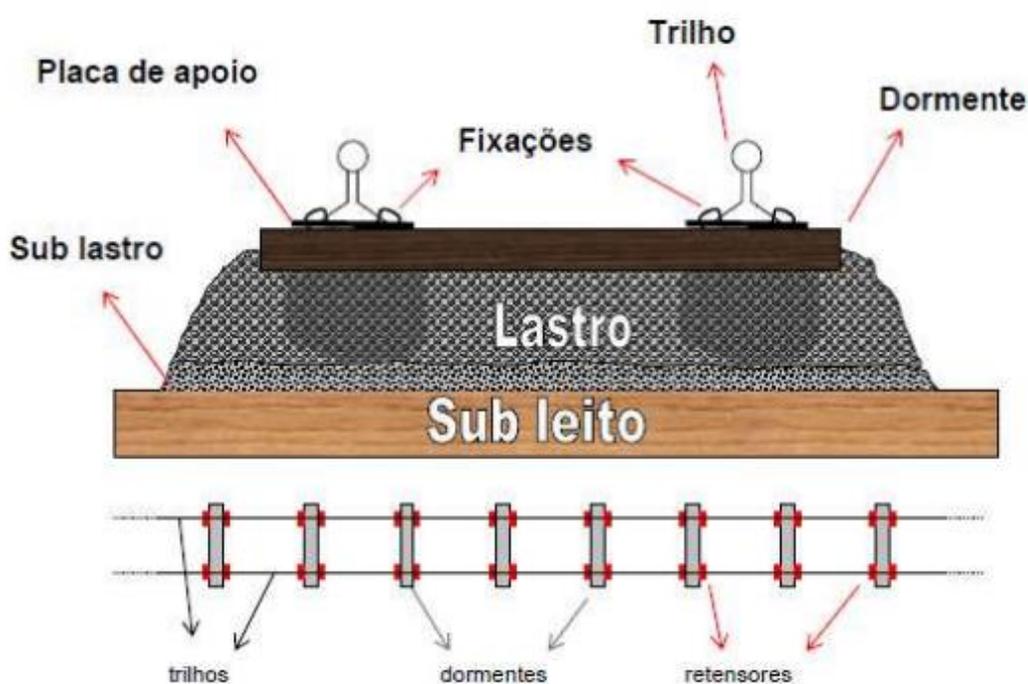
Segundo Leite *et al.* (2016) a modalidade ferroviária brasileira apresenta-se com um importante papel dentro da logística de transportes de cargas do território nacional. Este modal permite que empresas diversas que necessitam da otimização de fretes por exemplo, como o transporte de larga escala de determinada carga, possam usufruir de tal logística oferecida pelas ferrovias. Para Assis *et al.* (2017), este modal traz consigo inúmeros benefícios em vários aspectos em decorrência da sua disposição, podendo-se citar a diminuição do preço de transporte de diversos produtos em vários setores, influência direta na competitividade entre as empresas e uma série de vantagens para a sociedade como um todo, que passa a ter acesso a produtos barateados e transportados de forma mais sustentável.

Para Araújo *et al.* (2019), a malha ferroviária brasileira ainda possui pouca utilização quando comparada a outros países como a Rússia e a Austrália por exemplo, com evidente possibilidade de melhorias que ainda podem ser aplicadas nas vias férreas do Brasil. Valec (2018, *apud* DANTAS e FRAGA, 2021, p. 04) traz projeções animadoras para o desenvolvimento ferroviário brasileiro a partir de projetos futuros, os quais foram abordados no decorrer do trabalho.

## 2.2.1 Composição da malha ferroviária

Segundo Borges (2018), a malha férrea possui uma série de componentes trabalhando em união na via permanente, fracionada por infraestrutura – conjunto de obras ao qual suporta a superestrutura – e superestrutura – trilhos, dormentes, fixação, lastro e sublastro –. A estrutura rodante sobre a qual percorre a via férrea provoca duas principais forças, são elas, a força vertical, resumida pelo peso veicular transmitido à via (contato roda-trilho), e a força longitudinal, resumida pela tração gerada diante do contato da estrutura rodante com os trilhos, atrelada ao esforço gerado pela frenagem. Porto (2004) detalha a já citada via permanente de forma ilustrativa conforme a Figura 4.

Figura 4 – Elementos da via permanente



Fonte: Porto (2004, p. 28).

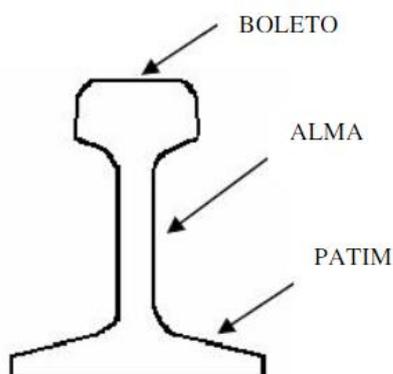
Fernandes (2005) traz caracterizações mais detalhadas de como se compreende a estrutura da via férrea num todo, explicando que,

A infra-estrutura de uma ferrovia é o conjunto de obras destinadas a formar a plataforma da estrada, que consiste de todas as obras civis situadas abaixo do greide de terraplenagem. A superestrutura de uma ferrovia consiste num conjunto de elementos que formam a via permanente e que constitui a superfície de apoio e ao mesmo tempo de rolamento para os

veículos ferroviários. A estrutura recebe os impactos diretos das cargas rodantes e compreende: lastro, dormentes, trilhos, bitola, acessórios de trilhos (de ligação e de fixação, que pode ser rígida ou elástica), talas de junção, parafusos, giradores, pêras, aparelhos de mudança de via, sinais e marcos quilométricos.

Referente ao perfil comumente utilizado na construção das malhas ferroviárias convencionais, Semprebone (2005) destaca que este perfil é do tipo denominado Vignole conforme a NBR (Normas Brasileiras de Regulação) 7590, estruturado pelas partes boleto, alma e patim, ilustrado de acordo com a Figura 5. De acordo com a NBR 7650, a parte do perfil denominada boleto suporta a roda da ferrovia gerando apoio e possibilitando o deslocamento da mesma; a alma interliga as partes boleto e patim; e o patim por sua vez, caracteriza-se por ser a base do trilho, gerando apoio e fixação deste trilho aos dormentes. Alves *et al.* (2019) destaca também a presença de diversos tipos de trilhos fornecidos por diferentes fabricantes, cuja aplicação é realizada a partir da análise de uma série de fatores, dentre os quais destacam-se a carga ao qual percorrerá o trajeto, clima, disposição da via, questões econômicas e critérios de fadiga e desgaste por exemplo.

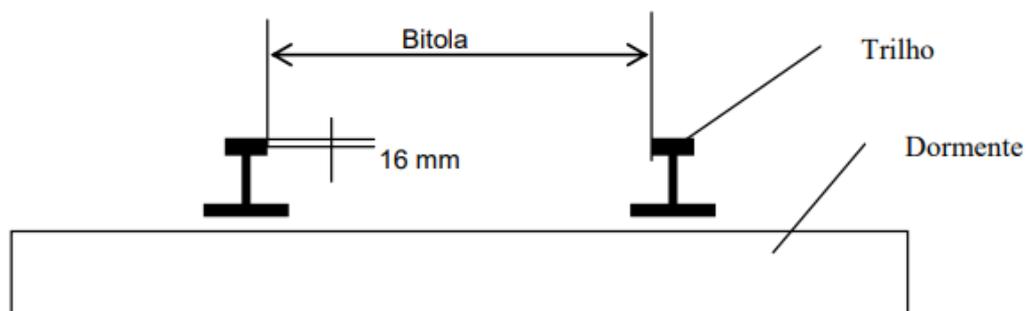
Figura 5 – Perfil Vignole



Fonte: Semprebone (2005).

Conforme explicado por Borges Neto (2012), a bitola é a distância entre as faces internas das duas filas de trilhos, medida a 16 mm abaixo do plano de rodagem, que é constituído pela face superior dos trilhos. No Brasil, a bitola padrão é de 1,60 metros – bitola larga –, porém a bitola de 1,0 metro é a que predomina – bitola estreita ou métrica –. Sua caracterização está detalhada a seguir na Figura 6.

Figura 6 – Representação esquematizada da bitola da via



Fonte: Borges Neto (2012).

### 2.2.2 Desafios enfrentados quanto à sua construção e manifestações patológicas

Para Moreira, Marques e Oliveira (2020), a diferença existente entre as medidas das bitolas tornou-se um obstáculo na implantação das ferrovias, impossibilitando uma integração efetiva de sua malha no Brasil. Esta mesma malha tem como principal adversidade os defeitos causados pela fadiga devido ao contato da roda com os trilhos – RCF (Rail Contact Fatigue) – (Moreira, Marques e Oliveira, 2020). Estes defeitos fazem com que os departamentos das vias tenham a obrigação de substituir os trilhos afetados nos pontos específicos de maior intensidade, ou adotar medidas de correção quando conveniente, ainda que exista uma grande dificuldade em se relatar tais defeitos durante sua aparição e expansão (Semprebone, 2005).

Para Semprebone (2005), a fadiga, resultante da utilização das vias férreas, traz consigo impactos financeiros expressivos, uma vez que exige correções estruturais nas irregularidades das vias, tais como squats, head checks, tache ovales, shatter cracks e shell. De acordo com Grassie (2001), o método mais utilizado para correção aos danos causados pelo RCF, além de ser indicado como método de prevenção aos trilhos, é denominado de esmerilhamento. Este atua diretamente na remoção de fraturas superficiais com profundidade de 1 mm, antes que haja sua ramificação pelo perfil. Korpanec e Towpic (1993, *apud* SEMPREBONE, 2005, p. 41) relatam também a busca por parte da indústria do aço em criar novas formas de tornar mais puro o aço aplicado aos trilhos, por meio da eliminação de gases diante do vácuo, além da busca pela desoxidação do aço a

partir da implementação de alumínio. Em conjunto às técnicas já citadas, outro método em estudo que visa reduzir a incidência de problemas que gerem manifestações patológicas de contato de roda é a técnica ao qual endurece o boleto do perfil.

Para Macêdo (2009), a manifestação patológica denominada por desgaste também preocupa e possui predominância nos casos de defeitos das vias ferroviárias brasileiras diante do sinuoso traçado ao qual a malha ferroviária possui. Petroni (2006) aborda algumas medidas cujas vias que operam sobre desgaste podem adotar, visando uma melhor eficiência de operação, como por exemplo rodas novas com perfil suavemente côncavo, lubrificação, reperfilamento, alinhamento de truques e rodeios e determinação de limites econômicos de desgaste.

### 2.2.3 Estimativa de vida útil

De acordo com Alves *et al.* (2019), estima-se a vida útil dos trilhos de trens diante de uma série de fatores envolvendo a utilização das vias atrelada a outros aspectos. Quanto a esta série de fatores, pode-se citar o número de passadas das rodas sobre as vias, peso ao qual aplica-se no contato roda-trilho pelos eixos do material rodante, condições apresentadas pelas vias – infraestrutura e superestrutura –, clima e disposição das vias – inclinação, raio e quantidade de curvas –. Xavier (2008) detalha um levantamento realizado quanto a vida útil média em anos junto das MTBT (Milhões de Toneladas Brutas Transportadas) durante a vida útil dos materiais trilho, dormente de madeira, jacaré e agulha, conforme o Quadro 3.

Quadro 3 – Vida útil média em anos e MTBT durante a vida útil dos materiais da via permanente.

Especificação	Tipo	Vida Útil em Anos	MTBT
Materiais	Trilho	12 *	1500 *
	Dormente de madeira	14	1800
	Jacaré	4	250
	Agulha	6	350

Fonte: Adaptado de Xavier (2008, p. 51 e 52).

*Obs: \* valores médios estimados da vida útil e, MTBT ligados à geometria que possui a linha.*

## **2.2.4 Custos globais de construção e manutenção**

Para Eller, Sousa Junior e Curi (2011), o até então irrelevante investimento realizado no modal ferroviário brasileiro torna explícita a sua inferioridade em infraestrutura e utilização quando comparado a outros países do mundo. A tomada de decisão para com investimentos diretos na infraestrutura de transportes necessita que haja correlação à longo prazo entre os aspectos sociais e econômicos do território ao qual se fará presente tal estrutura, além da análise da natureza regional e do quantitativo de carga que será transportada pela via.

### **2.2.4.1 Custos de construção**

Segundo Silva (2016), em 2016 o até então presidente da Valec, Mário Rodrigues, trouxe uma estimativa de custo de construção para um km de ferrovia em aproximadamente de R\$ 6.000.000,00 de reais. O orçamento referenciado é para a construção da nova Transnordestina, com extensão aproximada de 1.753 km que interligam o Porto de Belém (Ceará) ao Porto de Suape (Pernambuco) incluindo também o cerrado do Piauí (município de Eliseu Martins).

Eller, Sousa Junior e Curi (2011) trazem resultados de um cálculo detalhado e mais amplo, realizado a partir de uma série de informações coletadas que descrevem o valor final de uma malha ferroviária no ano de 2009 conforme resumido no Quadro 4. Estes dados são para uma via de 1.000 km de extensão, por ton-km útil.

Quadro 4 – Custos do modal ferroviário no Brasil, para uma via de 1.000 km de extensão, por ton-km útil em 2009.

Dados	Ferrovário
Implantação	R\$ 1.981.296.580,00
Manutenção da via	R\$ 5.480.960,00
Operação do veículo	R\$ 13,40
Manutenção do veículo	R\$ 137.520,92
Meio ambiente	R\$ 716.648.524,32
<b>Total</b>	<b>R\$ 2.703.563.598,64</b>

Fonte: Adaptado de Eller, Sousa Junior e Curi (2011, p. 61).

#### 2.2.4.2 Custos de manutenção

Outro levantamento importante realizado por Sgavioli *et al.* (2015) relatou que a manutenção necessária de determinada via por km pode envolver medidas como, por exemplo, a correção geométrica com complementação de lastro novo e recalque da linha, recuperação com aumento da altura do lastro, renovação de 50% do lastro ou substituição de 100% do lastro conforme detalhou-se no Quadro 5.

Quadro 5 – Análise comparativa do custo anual por km.

Custo anual por km da correção geométrica com complementação de lastro novo e recalque da linha	Custo anual por km da recuperação com aumento da altura do lastro	Custo anual por km da renovação de 50% do lastro	Custo anual por km da substituição de 100% do lastro
R\$ 166.999,27	R\$ 224.423,20	R\$ 141.558,93	R\$ 167.063,86

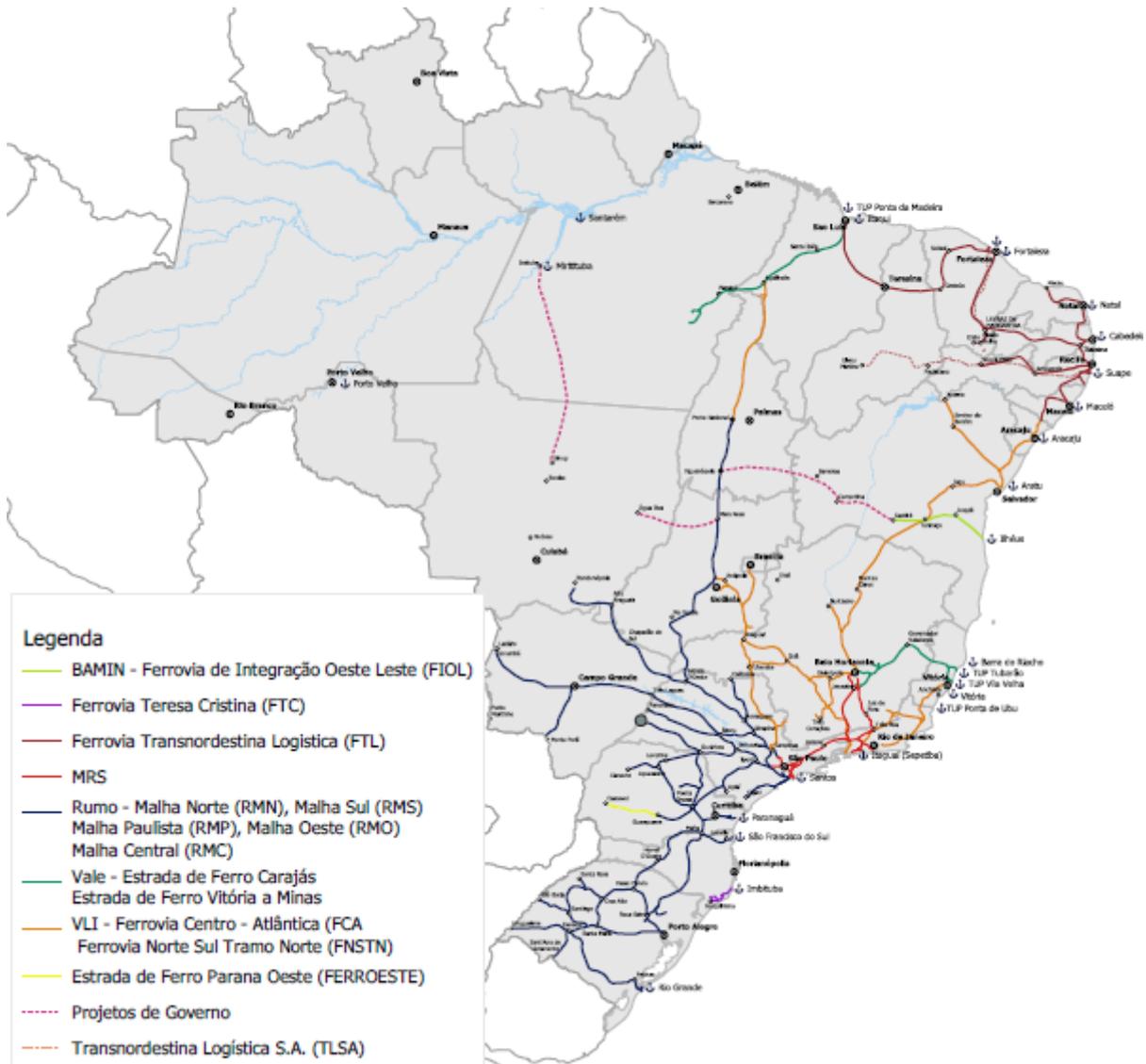
Fonte: Adaptado de Sgavioli *et al.* (2015, p. 11).

#### 2.2.5 Atual situação e disposição da malha ferroviária em território brasileiro

De acordo com o levantamento feito pelo anuário do transporte ferroviário da CNT (2021a), a malha ferroviária brasileira possuía um montante total de 31.299,00 km de ferrovias em 2019, englobando nele as linhas principais e seus ramais. Para Fernandes (2012), a extensão ferroviária apresenta-se mal situada e distribuída em território brasileiro, abrangendo uma densidade ferroviária de 3,1 m por km<sup>2</sup>, valor considerado muito baixo quando comparado a outros países como a Argentina

(15m/km<sup>2</sup>) e os EUA (150m/km<sup>2</sup>) por exemplo. A disposição da malha ferroviária encontra-se distribuída em formato de ramificações por toda extensão territorial brasileira, conforme detalha a ANTF ([2022?]) na Figura 7 do seu Mapa Ferroviário.

Figura 7 – Mapa Ferroviário



Fonte: ANTF ([2022?]).

Valec (2018, *apud* DANTAS e FRAGA, 2021, p. 05) citam 4 projetos em discussão considerados como principais que prometem fortalecer o modal rodoviário brasileiro, destacados a seguir:

- Ampliação - Ferrovia Norte-Sul até o Rio Grande do Sul;
- Construção - Ferrovia Transcontinental;
- Construção - Ferrovia do Pantanal;

- Construção - FIOL 3, trecho ao qual estima ligar a FIOL 1 e 2 ao tramo central da FNS.

### **2.2.6 Vantagens e desvantagens frente à sua utilização**

De acordo com Rodrigues (2004, *apud* LEITE et al., 2016, p. 10), inúmeras vantagens podem ser citadas diante da utilização do modal ferroviário dentro da logística de transportes brasileira, citando-se exemplos como a diminuição do custo final dos fretes frente ao volume transportado; consumo energético reduzido; possibilidade da adaptação ferro-rodoviária; índice reduzido de poluição; transporte de grandes quantidades de cargas diversas; e, reduzido custo operacional por tonelada transportada. Eller, Sousa Junior e Curi (2011) relatam também o benefício trazido pela malha ferroviária diante do menor índice de desmatamento necessário para sua implantação quando comparado à malha rodoviária por exemplo, aspecto extremamente positivo no âmbito da preservação ambiental.

Rodrigues (2004, *apud* LEITE et al., 2016, p. 11) menciona ainda algumas desvantagens oriundas de sua utilização como, por exemplo, a redução na flexibilização de rotas; alto custo necessário para a implantação da infraestrutura ferroviária; cargas expostas à furtos; elevado tempo de transporte atrelado à reduzida flexibilidade dos horários disponíveis; custos elevados quando o transbordo se faz necessário; e, reduzida disposição de vias ferroviárias em território brasileiro.

## **2.3 CUSTOS DE TRANSPORTE DOS MODAIS RODOVIÁRIO E FERROVIÁRIO**

O elevado custo de transporte foi apontado como o principal desafio para as empresas exportadoras brasileiras, em uma lista de 62 obstáculos identificados (CNI; FGV-EAESP, 2016). Para compreender as razões pelas quais o transporte no Brasil é oneroso, é necessário examinar o arranjo da infraestrutura de transporte no país. Seguindo dados já abordados e divulgado pela CNT (2016), a maioria da movimentação anual de cargas no Brasil foi realizada pelo modal rodoviário seguido do modal ferroviário.

De acordo com Gimenes (2017), uma das razões pelas quais os exportadores brasileiros preferem utilizar o modal rodoviário é a falta de opções viáveis em termos de eficiência e/ou economia dos demais modais. A infraestrutura disponível para o

transporte no país condiciona a escolha do modal, e o mais eficiente e econômico é geralmente escolhido. Essa preferência não é apenas uma escolha livre, mas sim condicionada pela oferta de infraestrutura. Já quanto ao custo do modal ferroviário, Gimenes (2017) comenta que o transporte de cargas por ferrovias é reconhecido como uma opção mais adequada para o transporte de mercadorias de grande volume e baixo valor agregado, como grãos e minérios. Essa opção de transporte é especialmente indicada para grandes distâncias, sobretudo em países com extensão territorial significativa.

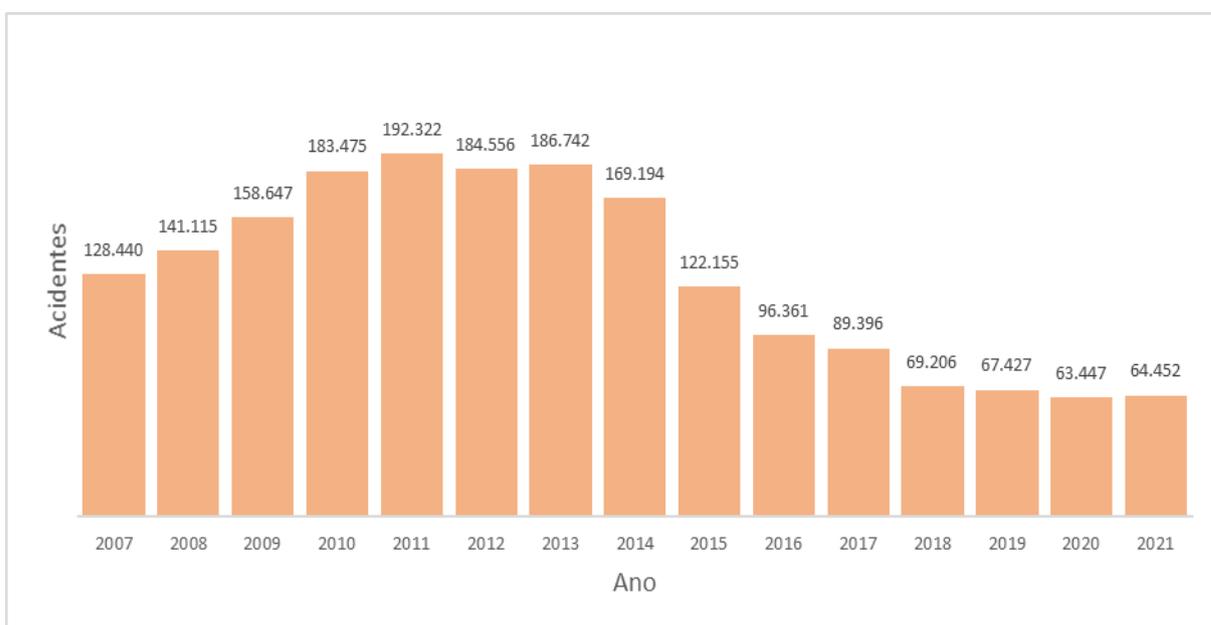
Munhoz (2017) reforça a tese de que o transporte de cargas desempenha um papel crucial na gestão empresarial e no comércio exterior do país, sendo que o frete tem um papel especialmente importante nesse contexto. Além de representar um custo logístico significativo e comprometer parte do faturamento das empresas, os transportes também desempenham funções estratégicas na gestão de cadeias de suprimentos. Em seu estudo, abordou custos referentes ao transporte de cargas via modal rodoviário – de janeiro de 2013 a dezembro de 2016, coletados a partir da Associação dos Produtores de Soja e Milho de Mato Grosso (APROSOJA/MT) – e ferroviário – de janeiro de 2013 a janeiro de 2017, coletados a partir da ANTT (Agência Nacional de Transportes Terrestres) –, que representavam R\$ 0,1457/TKU (tonelada por quilômetro útil) e R\$ 0,0936/TKU respectivamente. Já Colavite e Konishi (2015) trazem uma nova abordagem, mencionando que os custos de transporte no Brasil pelo modal rodoviário são, em média, 3,5 vezes mais altos do que os custos de transporte pelo modal ferroviário.

## 2.4 QUANTITATIVOS FRENTE A ACIDENTES E VIDAS PERDIDAS

De acordo com a CNT (2019a), alguns dos fatores agravantes para acidentes nas rodovias brasileiras são o fator humano, veicular, institucional/social, socioeconômico e o fator meio ambiente. Estes, em paralelo a situação das vias rodoviárias federais, de acordo com a CNT (2019b) resultaram em 69.206 acidentes no ano de 2018, dos quais, 53.963 ocorreram com vítimas, totalizando 5.296 mortes. Neste mesmo período, somaram-se 12.631 acidentes com vítimas envolvendo caminhões, ou seja, 23,4% das ocorrências em rodovias federais. Os automóveis obtiveram porcentagem majoritária de 64,6%, seguido das motocicletas com 44,4%.

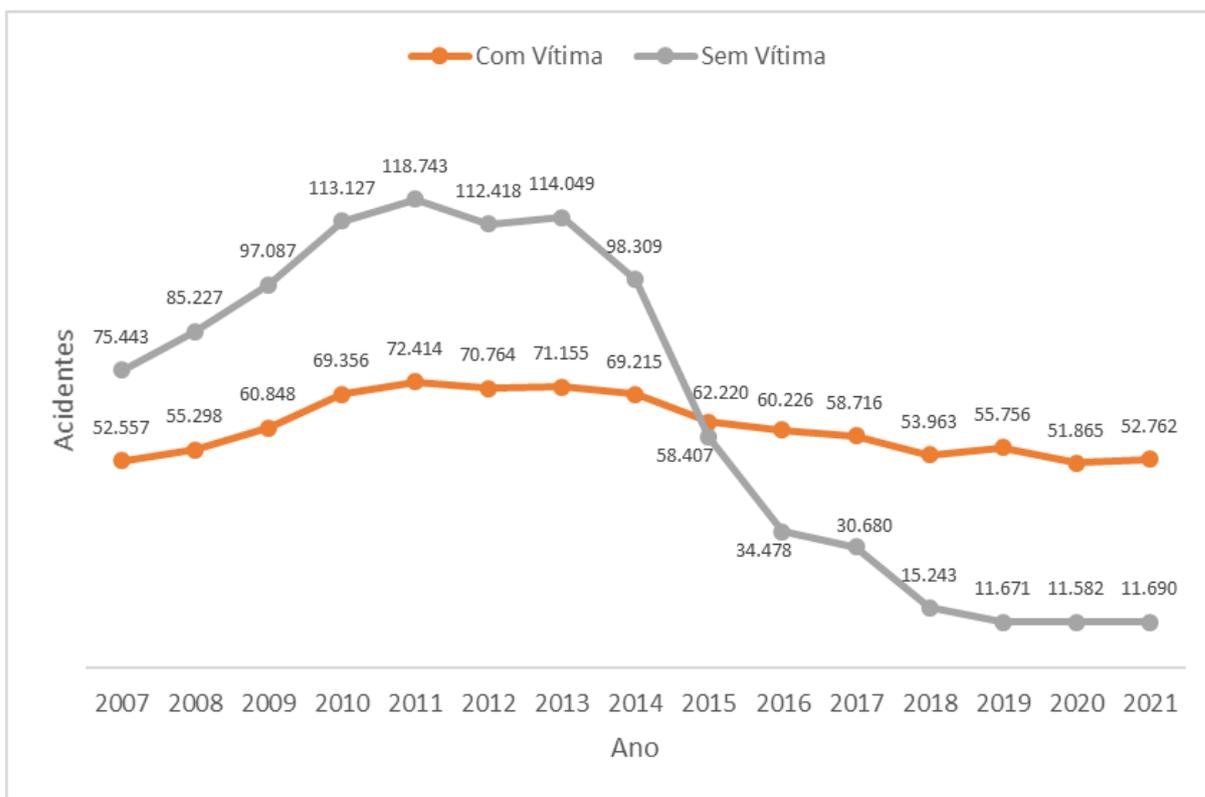
Segundo a CNT (2022b), o modal rodoviário segue oferecendo risco para as pessoas que o utilizam em seu dia a dia. De acordo com levantamentos, no ano de 2021 houve um aumento no número de acidentes e mortes de 1,6% e 2,0%, respectivamente, nas rodovias federais brasileiras em comparação ao ano de 2020. Outros levantamentos também realizados pela CNT (2022a) detalham o número de acidentes ocorridos entre os anos de 2007 e 2021, se houve presença de vítimas ou não, e, o número de mortes, conforme os Gráficos 2, 3 e 4.

Gráfico 2 – Acidentes rodoviários entre 2007 e 2021.



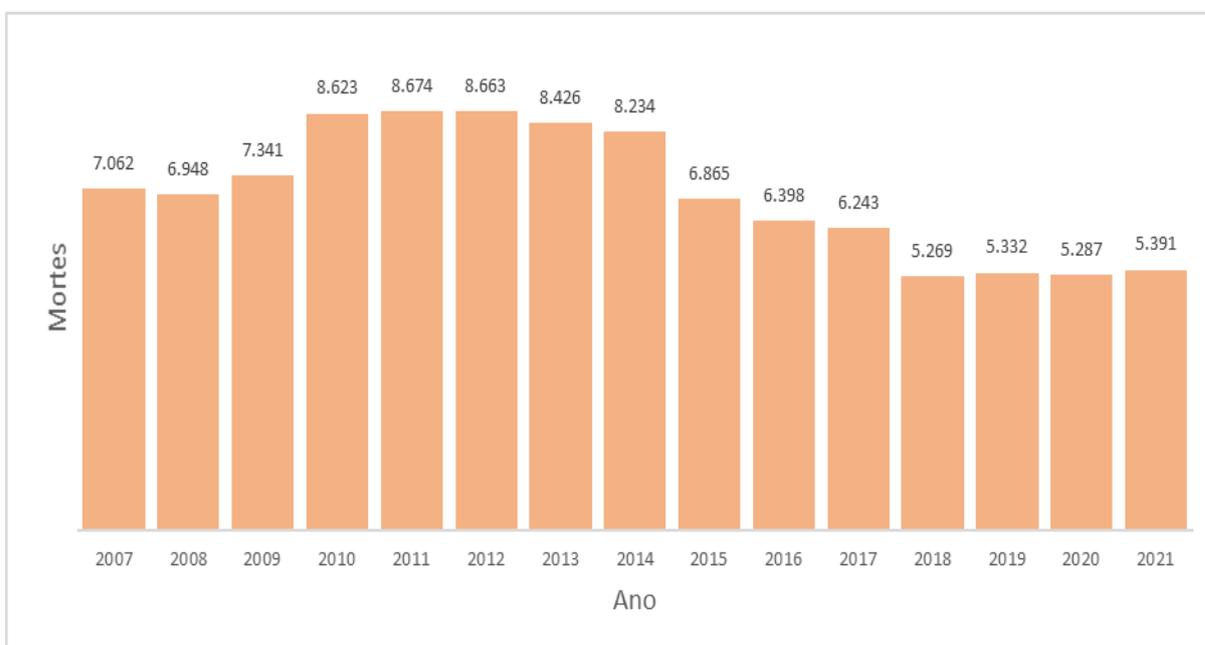
Fonte: Adaptado de CNT (2022a, p. 03).

Gráfico 3 – Tipos de acidentes rodoviários entre 2007 e 2021.



Fonte: Adaptado de CNT (2022a, p. 03).

Gráfico 4 – Mortes por acidentes rodoviários entre 2007 e 2021.

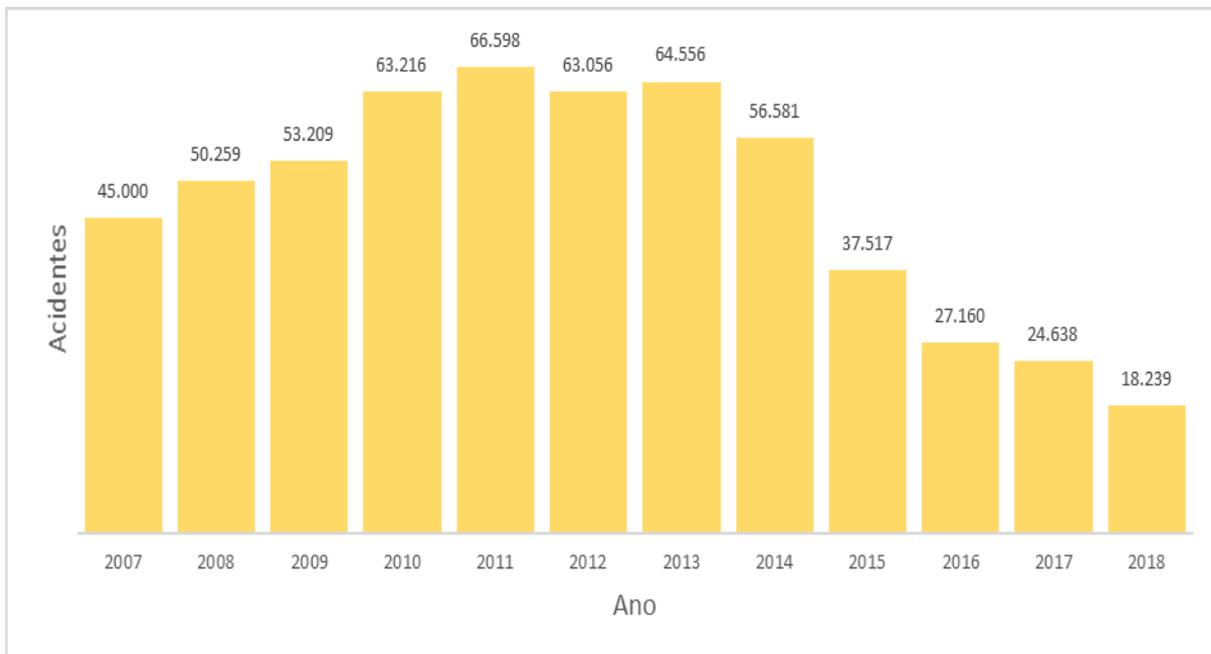


Fonte: Adaptado de CNT (2022a, p. 04).

Outro levantamento realizado pela CNT (2019a), agora com foco em caminhões, traz consigo um panorama dos acidentes ocorridos envolvendo estes

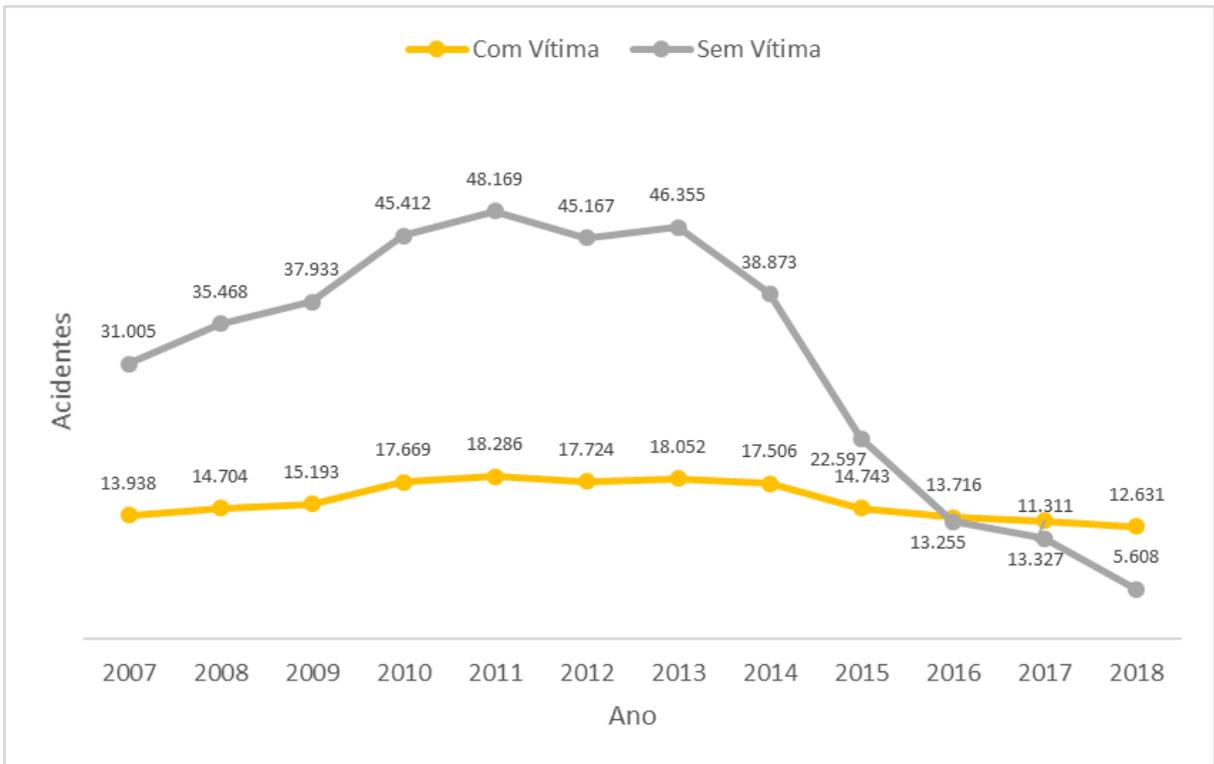
veículos, incluindo dados estatísticos sobre a presença ou não de vítimas, e, o número de mortes, conforme os Gráficos 5, 6 e 7.

Gráfico 5 – Acidentes envolvendo pelo menos um caminhão entre 2007 e 2018.



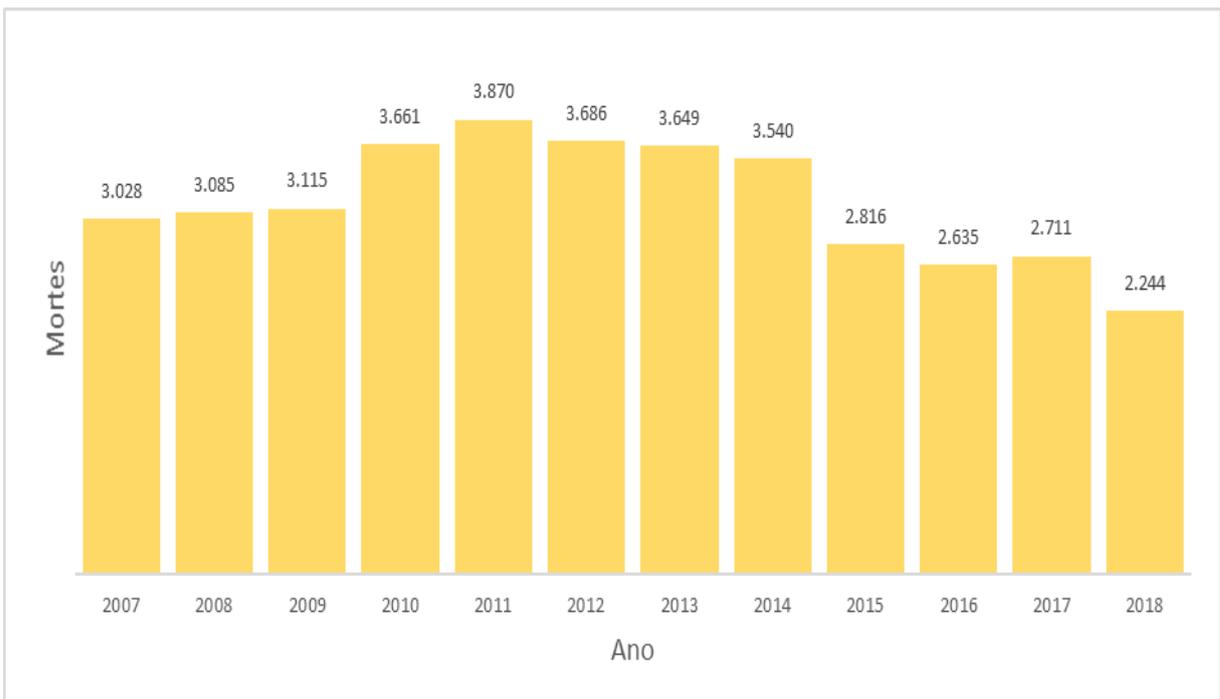
Fonte: Adaptado de CNT (2019a, p. 38).

Gráfico 6 – Tipos de acidentes envolvendo pelo menos um caminhão entre 2007 e 2018.



Fonte: Adaptado de CNT (2019a, p. 39).

Gráfico 7 – Mortes por acidentes envolvendo pelo menos um caminhão entre 2007 e 2018.

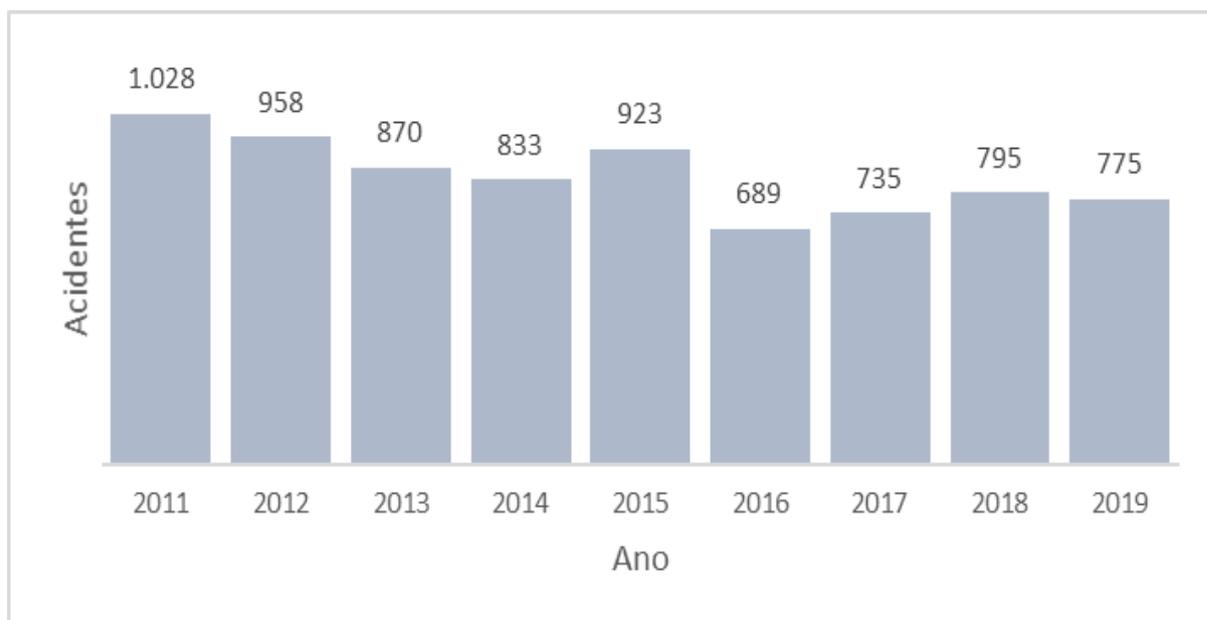


Fonte: Adaptado de CNT (2019a, p. 41).

De acordo com Miguel (2018), acidentes envolvendo diretamente o modal ferroviário podem acarretar em resultados desastrosos, tanto no âmbito humano envolvendo mortes, até impactos ambientais e danos materiais, prejudicando assim, a forma com relação a opinião de como é visto este modal. Referindo-se à ocorrência destes acidentes, para Miguel (2020) o Brasil também possui alguns levantamentos que causam preocupação e exigem atenção a estas ocorrências. Ainda segundo ele, de acordo com a Resolução ANTT nº 1.431/2006 e a Resolução ANTT nº 5.902/2020, é obrigatório comunicar à ANTT todos os acidentes ferroviários ocorridos na malha ferroviária federal concedida no Brasil.

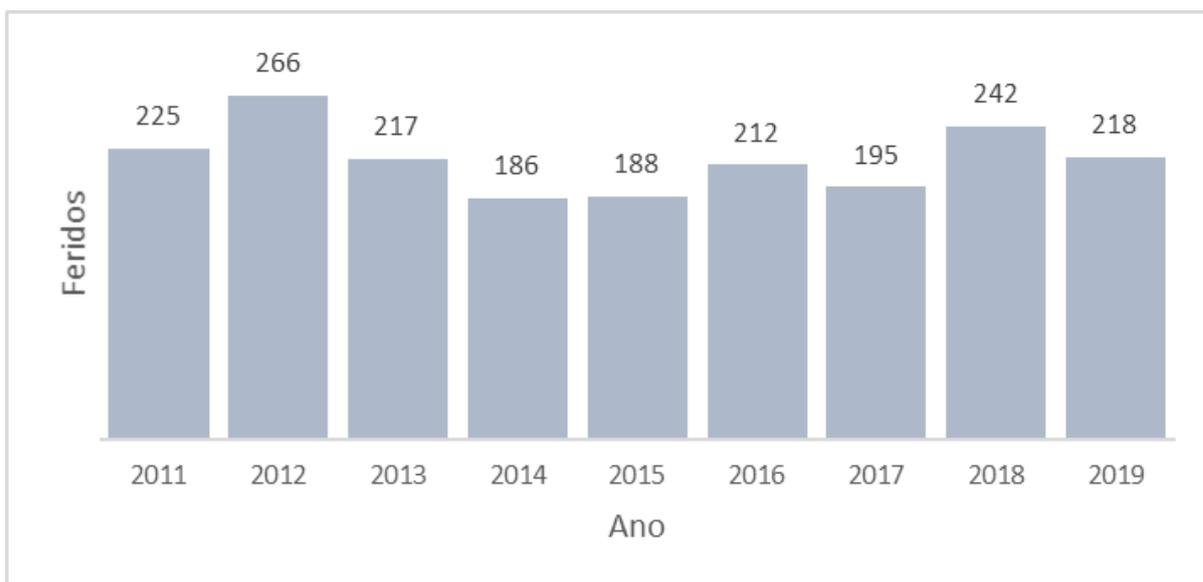
Alguns levantamentos realizados pela ANTT (2020, *apud* MIGUEL, 2020, p. 212) detalham o número de acidentes ocorridos entre os anos de 2011 e 2019, junto da contabilização de feridos, e, de vítimas fatais com a presença de óbitos, conforme os gráficos 8, 9 e 10.

Gráfico 8 – Acidentes ferroviários entre 2011 e 2019.



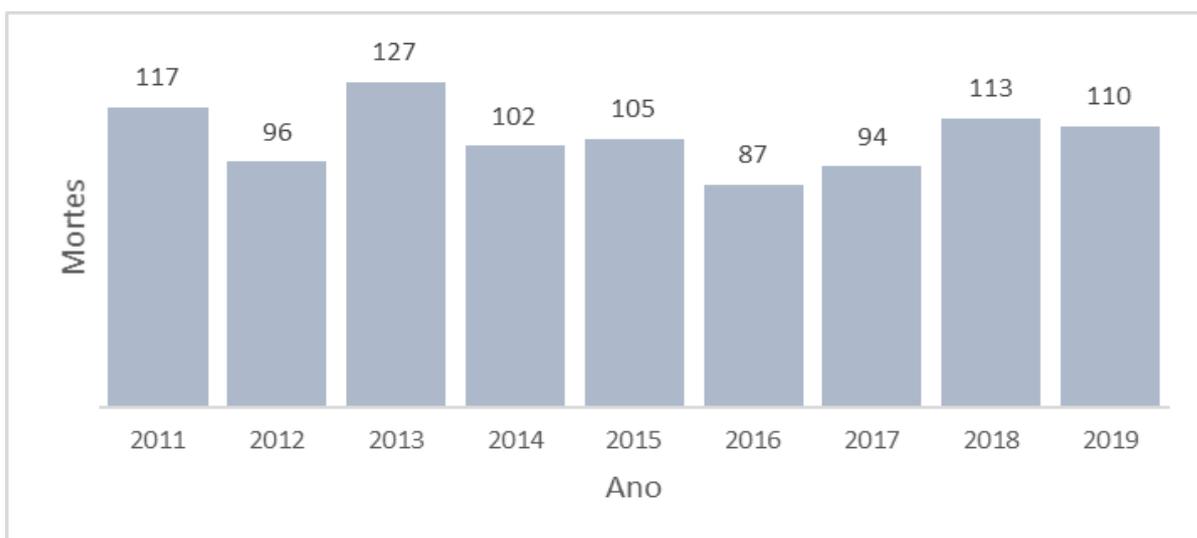
Fonte: Adaptado de ANTT (2020, *apud* MIGUEL, 2020, p. 212).

Gráfico 9 – Feridos por acidentes ferroviários entre 2011 e 2019.



Fonte: Adaptado de ANTT (2020, *apud* MIGUEL, 2020, p. 213).

Gráfico 10 – Mortes por acidentes ferroviários entre 2011 e 2019.



Fonte: Adaptado de ANTT (2020, *apud* MIGUEL, 2020, p. 213).

Segundo pesquisas realizadas através da ANTT (2020, *apud* MIGUEL, 2020, p. 210), contabilizam-se em média 845 acidentes por ano envolvendo o modal ferroviário no Brasil, dentre os quais 217 pessoas são feridas gravemente e 106 pessoas vem a óbito. Ao comparar estas estatísticas às de países europeus por exemplo, percebe-se uma escala de ocorrência de 10 a 20 vezes mais acidentes na malha federal brasileira, abrindo espaço para a necessidade de avanços neste quesito.

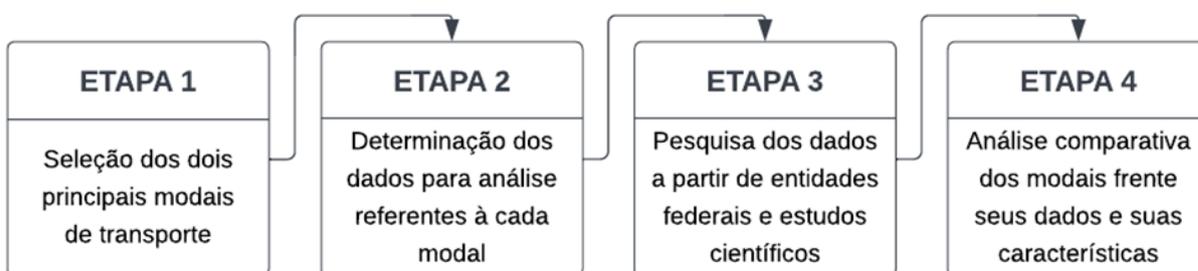
### 3 DADOS E MÉTODOS

Neste capítulo apresenta-se o planejamento do comparativo, assim como as fontes de pesquisa e métodos de estudo realizados.

#### 3.1 ETAPAS DO COMPARATIVO

A partir dos objetivos propostos para este trabalho, desenvolveu-se um estudo comparativo entre os modais logísticos de transporte rodoviário e ferroviário frente a análise de dados estatísticos oficiais, disponibilizados por órgãos federais, autarquia estadual, simuladores e uma empresa que possui concessão de uma via. Diante do embasamento técnico, pode-se atingir assertividade quanto aos comparativos mencionados, com foco nos quesitos econômicos – envolvendo custos construtivos, de manutenção e transporte – e de acidentes em determinados cenários. Assim, fora organizada em quatro etapas a análise comparativa estatística dos dados coletados, conforme detalhado na Figura 8.

Figura 8 – Organização das etapas do estudo comparativo



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Etapa 1 corresponde à seleção dos dois principais modais de transporte abordados, ou seja, o modal rodoviário e o modal ferroviário. Posterior a isso, a partir da Etapa 2, determinou-se os dados condizentes a cada modal e os objetivos especificados, com o intuito de que análises comparativas pudessem ser realizadas. Para a obtenção destes dados chegou-se à Etapa 3, na qual, diante do embasamento disponibilizado por órgãos federais, autarquia estadual, concessionária de uma via, estudos científicos e simuladores, coletaram-se as informações pertinentes. Por fim, a Etapa 4 trouxe uma análise comparativa de

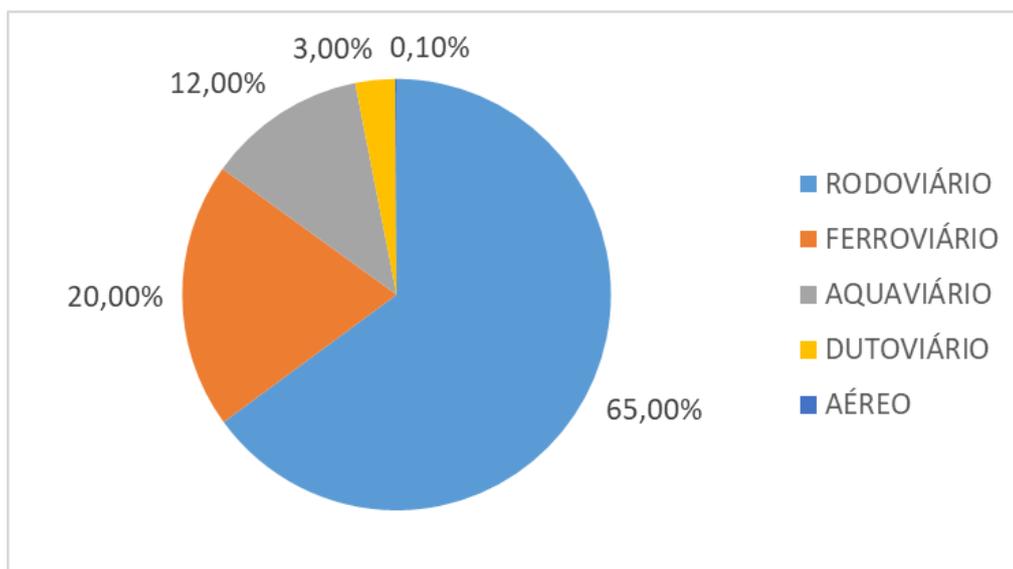
ambos os modais rodoviário e ferroviário frente aos dados e características levantados ao longo das etapas anteriores para os objetivos especificados.

### 3.2 ETAPA 1 – SELEÇÃO DOS DOIS PRINCIPAIS MODAIS DE TRANSPORTE

Diante da proposta do trabalho que visa analisar de forma comparativa os dois principais modais logísticos de transporte de cargas em território brasileiro, foi necessário abordar os modais rodoviário e ferroviário em paralelo às características que permeiam os mesmos. Assim, embasando-se em pesquisas já elaboradas, como, por exemplo, a de Souza e Markoski (2012), foi possível conferir todos os modais existentes, para que a partir da CNT (2016), fosse possível confirmar a superioridade da utilização de ambos os modais, elencando-se tópicos que trazem detalhes das características de cada um.

De acordo com a CNT (2016), existe um total de cinco modais de transportes de cargas em utilização no Brasil, distribuídos conforme o Gráfico 11, da seguinte forma: rodoviário 65%, ferroviário 20%, aquaviário 12%, dutoviário 3% e aéreo 0,1%. Diante deste levantamento, conclui-se a predominância de dois modais principais no escoamento da produção brasileira, os modais rodoviário e ferroviário, retratados na Figura 9, os quais serviram de base para o estudo comparativo do presente trabalho.

Gráfico 11 – Disposição dos modais de transporte de cargas



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da CNT (2016).

Figura 9 – Modais de transporte rodoviário e ferroviário.



Fonte: CNT (2021b).

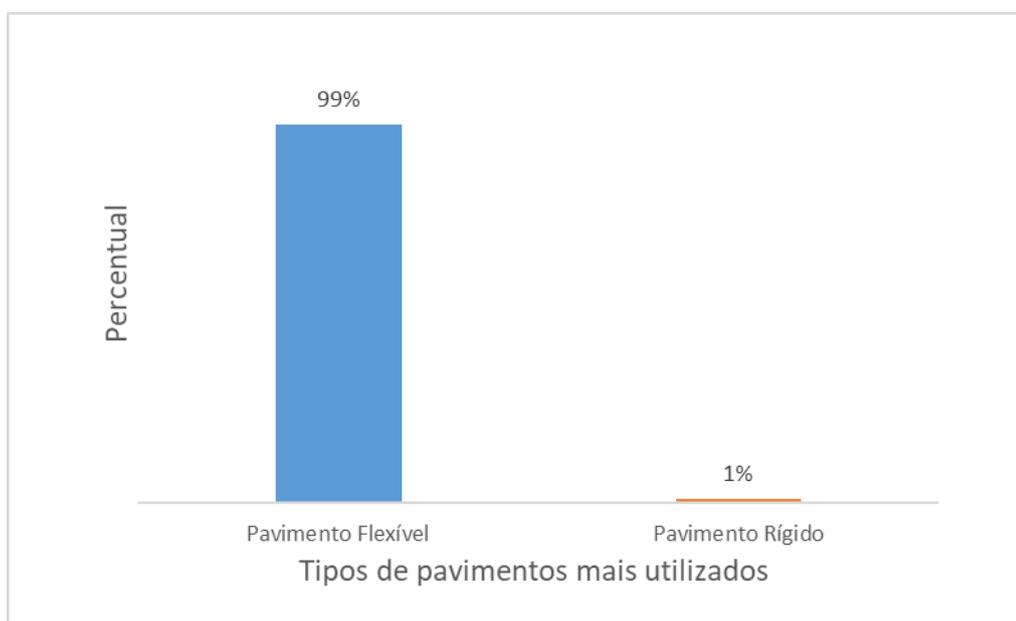
### 3.3 ETAPA 2 – DETERMINAÇÃO DOS DADOS PARA ANÁLISES REFERENTES A CADA MODAL

Sabe-se que o modal rodoviário se manifesta diante do transporte de produtos diversos e também de pessoas, desenvolvido entre rodovias, estradas e ruas, sendo elas pavimentadas ou não, a partir de veículos (caminhões, automóveis, ônibus). Já o modal ferroviário, tem como principal característica o transporte de cargas diversas por grandes distâncias, além do transporte de pessoas, por meio de linhas férreas auxiliado por vagões e locomotivas. Sendo assim, os dados obtidos auxiliaram a compreensão e caracterização de cada modal, baseando-se nos tópicos a seguir e, previamente abordados no referencial teórico:

- Dados sobre a composição física de cada modal;
- Desafios frente a construção e manifestações patológicas;
- Estimativa de vida útil;
- Custos frente a construção e manutenção;
- Atual situação e disposição das malhas ao longo do território brasileiro;
- Vantagens e desvantagens frente a sua utilização;
- Quantitativos estimados de acidentes e vidas perdidas;
- Custos frente o transporte.

Para o desenvolvimento das análises comparativas de custos de construção e manutenção, vale destacar a utilização da pavimentação flexível composta por massa asfáltica como base principal de estudo para as rodovias, tendo em vista sua superioridade de utilização no Brasil conforme relatou a CNT (2017a) e abordou-se no Gráfico 12, a seguir. Já frente a estas mesmas análises das ferrovias, utilizou-se bitola larga de 1,60 m em suas composições.

Gráfico 12 – Percentuais de utilização dos dois principais tipos de pavimentos do Brasil



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados do CNT (2017a).

### 3.4 ETAPA 3 – COLETA DE DADOS

Com o intuito de estruturar-se um estudo comparativo com embasamento técnico, recorreu-se diretamente a fontes de órgãos federais, autarquia estadual, concessionária de uma via abordada, de um simulador de custos de construção e manutenção de rodovias, e, de um simulador de custos de transporte de ambos os modais.

A Etapa 3 resume-se em levantar tais fontes junto dos simuladores, e descrever o ramo de atuação destas com suas características, buscando informações em órgãos como, por exemplo, a ANTT e CNT. A autarquia consultada fora o Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem do Rio Grande do Sul (DAER/RS) (2023) para as rodovias. Já a concessionária fora a TLSA - CSN

(Companhia Siderúrgica Nacional) para as ferrovias, com suporte prestado pelo especialista em ferrovias Carlos Alberto Martins da Matta – Matta (2023).

Para os custos construtivos e de manutenção das rodovias, consultou-se o Simulador de Custos Médios Gerenciais – IBRE (c2019), disponibilizado pelo site do IBRE (Instituto Brasileiro de Economia) e desenvolvido por ele mesmo, organização relacionada a FGV (Fundação Getúlio Vargas). Já para os custos de transporte de ambos os modais, foi consultado o Simulador de Custo de Transporte – Infrasa ([2023]), disponibilizado pelo site da Infra S.A. e desenvolvido pela EPL (Empresa de Planejamento e Logística).

Além destas fontes de pesquisa mencionadas, consultou-se e foram trazidas informações de artigos, revistas e trabalhos científicos, ao exemplo Alves *et al.* (2019), Assis *et al.* (2017), Gimenes (2017), Miguel (2018), Miguel (2020), Silva (2016) e CGPLAN (2018).

O simulador IBRE (c2019) mencionado foi alimentado com os dados do último relatório de Custo Médio Gerencial para rodovias disponibilizado pelo DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes), com data-base de outubro de 2022. A partir do IBRE (c2019), foi possível calcular estimativas de custo por km para a construção de três rodovias fictícias localizadas nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste, e, para a manutenção por conservação de cinco rodovias fictícias localizadas nas regiões Norte, Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul do Brasil. Essas rodovias possuem características semelhantes em termos de configuração. Para a seleção dos dados que alimentaram o cálculo no simulador, foi fundamental contar com o apoio essencial do DAER/RS (2023).

No processo de seleção de dados para o cálculo do custo construtivo por km realizado pelo IBRE (c2019), foi selecionada a intervenção de médio porte na via. De acordo com o Manual de Custos de Infraestrutura de Transportes - Volume 01: Metodologia e Conceitos (DNIT, 2017), uma via de médio porte tem uma extensão total construída variando de 15 km a 30 km. Para o cálculo da simulação de custo, utilizou-se a média desse intervalo, ou seja, 22,5 km de extensão. O BDI (Benefício e Despesa Indireta) selecionado foi sem desoneração de 25,01%, conforme estipulado no Ofício-Circular nº 4746/2019/ACE-DPP/DPP/DNIT SEDE. Já o BDI Diferenciado utilizado foi sem desoneração de 15%, de acordo com o Memorando Circular DIREX nº 12/2012 (DNIT, 2012; IBRE, c2019).

Posteriormente a esses dados, no CM1 (Custo Médio 1) - mobilização e desmobilização, foi selecionada a opção mobilização e desmobilização. No tópico CM2 - administração local, as parcelas fixa e vinculada seguiram o porte da obra médio, com duração de 20 meses. Na parcela variável, a classe da via escolhida foi I-A, com 22,5 km de extensão em relevo ondulado. Em seguida, no CM3 - canteiro de obras, manteve-se o porte de obra médio com um padrão construtivo do canteiro de obras provisório. Já no CM4 - terraplenagem, drenagem e oac, obras complementares, sinalização e proteção ambiental, a classe da via e os relevos foram mantidos iguais aos arbitrados anteriormente no CM2. Por fim, no CM5 - pavimentação, aquisição e transporte de material betuminoso, selecionou-se a solução-tipo A para a construção da pista, que seguiu as mesmas configurações da classe da via e dos relevos arbitrados nos CM2 e CM4. Assim, os custos construtivos para as três regiões mencionadas puderam ser simulados.

Na etapa de seleção de dados para o cálculo do custo de manutenção por conservação por km, foi selecionada a intervenção da via com porte único, contendo 4 faixas de rolamento e extensão total de 22,5 km. O FIT (Fator de Interferência de Tráfego) adotado foi de 1,32%, uma vez que este dado já foi utilizado pelo DAER/RS em alguns orçamentos de conservação. O BDI selecionado foi sem desoneração de 32,07%, conforme o Ofício-Circular nº 4746/2019/ACE-DPP/DPP/DNIT SEDE, e o BDI Diferenciado foi sem desoneração de 15%, de acordo com o Memorando Circular DIREX nº 12/2012 (DNIT, 2012; IBRE, c2019). Com estes dados definidos, selecionou-se a opção mobilização e desmobilização para o CM1 - mobilização de desmobilização. Já no CM2 - administração local, manteve-se o porte único e a duração de 12 meses. No CM3 - canteiro de obras, selecionou-se o porte único novamente, com o padrão selecionado sendo contêiner. Finalmente, no CM4 - serviço de conservação, manteve-se a opção selecionada sim, e então os custos de manutenção por conservação para as cinco regiões mencionadas puderam ser simulados.

Com o intuito de abordar e analisar uma estimativa atualizada de custos construtivos e de manutenção de ferrovias, foram coletados dados referentes à data-base de abril de 2023, com a colaboração do especialista em ferrovias Carlos Alberto Martins da Matta, da TLSA - CSN, uma empresa privada responsável pela concessão da ferrovia Transnordestina. Os dados construtivos foram obtidos para três ferrovias que possuem bitola larga de 1,60 m. A primeira ferrovia analisada foi a

Ferrovia FIOLE 1 (Ferrovia de integração Oeste-Leste), que faz parte do projeto Oeste-Leste na Bahia, região nordeste. Ela conecta o Porto Sul em Ilhéus a Caetité, com uma extensão de 537 km. A segunda ferrovia foi a Ferrovia FICO (Ferrovia de Integração do Centro-Oeste), que abrange a região Centro-Oeste e Norte, e, liga Água Boa-MT a Mara Rosa-GO, com extensão de 383 km. Por fim, a terceira ferrovia abordada foi a Ferrovia TLSA (Transnordestina Logística S/A), que conecta Eliseu Martins-PI a Salgueiro-PE, bem como os portos de Belém-CE e Suape-PE na região Nordeste, com extensão total de 1.737 km. Para os custos de manutenção, abordaram-se custos médios que abrangeram toda extensão territorial brasileira, compostas também por bitola larga.

Para realizar as análises comparativas dos custos construtivos e de manutenção por km em relação às toneladas transportadas por ano, e, durante as vidas úteis das malhas rodoviárias e ferroviárias, foram utilizados dados de custos obtidos a partir das simulações detalhadas anteriormente para as rodovias e dos dados fornecidos por Matta (2023) para as ferrovias. Esses dados foram combinados com as toneladas transportadas anualmente por cada modal e com suas respectivas vidas úteis: 10 anos para rodovias e 33 anos para ferrovias. As estimativas de toneladas para as ferrovias foram obtidas a partir de projeções compartilhadas por Matta (2023). Já para as rodovias, foi utilizado o auxílio do DAER/RS (2023), que disponibilizou dados de Contagem Volumétrica Classificatória de Tráfego 2019-2019 – DAER/RS ([2019?]) –, realizada em todos os trechos das rodovias estaduais do Rio Grande do Sul (RS), com duração de um ano a partir de maio de 2018. Selecionou-se o trecho 153RSC1672, localizado na rodovia RSC-153, na cidade de Passo Fundo – RS, considerado de grande importância no escoamento de cargas do estado.

Para essa análise, foi selecionada a data inicial de contagem de veículos de carga ultra pesada – compostos por 4 eixos ou mais – em 12/01/2019, conforme indicado pelo DAER/RS (2023). Em seguida, foi considerada a média das contagens semanais (M7) desse intervalo, resultando em 809 veículos de carga ultra pesada trafegando diariamente pelo trecho. A partir dessa média de tráfego, foi admitida uma taxa de crescimento médio de 4% ao ano até 2023, corrigindo assim as contagens para 841 veículos em 2020, 875 em 2021, 910 em 2022 e 946 em 2023. Em seguida, multiplicou-se esse valor estimado de 946 veículos pelo peso máximo de carga transportada por cada veículo – 32 toneladas –. Com base nas toneladas

totais estimadas que trafegavam diariamente naquele trecho, multiplicou-se essa estimativa pelos 366 dias do ano, obtendo assim as toneladas transportadas em 2023 naquela rodovia. Esse valor encontrado das toneladas foi considerado como referência para as análises comparativas mencionados anteriormente.

A análise dos dados que contemplaram custos de transporte por tonelada para ambos os modais rodoviário e ferroviário no Brasil em abril de 2023, elencando diferentes km para que se tivesse um comparativo mais amplo, foi realizada com o suporte do simulador Infrasa ([2023]), especificamente para o transporte de cargas gerais. De acordo com a EPL (2020), no contexto do planejamento de longo prazo, a EPL desenvolveu abordagens e recursos para este simulador que permitem a estimativa dos custos de transporte nos modos rodoviário e aquaviário, incluindo hidrovias e cabotagem, com base em categorias de mercadorias, como grãos agrícolas, grãos não agrícolas, líquidos a granel, cargas gerais e cargas gerais em contêineres. Adicionalmente, foram estruturados cálculos com os valores médios das tarifas de transporte ferroviário e tarifas suplementares. Conforme mencionado no Manual (2020), as estimativas referentes às ferrovias foram baseadas no SAFF (Sistema de Acompanhamento e Fiscalização do Transporte Ferroviário) da ANTT, abrangendo todas as malhas ferroviárias comerciais do país. O SAFF é uma ampla base de dados que engloba informações relevantes sobre o transporte ferroviário, de interesse da ANTT.

Em linhas gerais, para o cálculo dos custos, são levados em consideração três aspectos principais: os Custos Fixos, os Custos Variáveis e a Remuneração do Capital. Os custos fixos abrangem os gastos que não variam de acordo com a produção mensal, tais como salários, depreciação dos equipamentos e instalações, seguros, entre outros. Já o custo variável é composto pelas despesas que se modificam de acordo com a utilização dos equipamentos ou o nível de produção atingido, incluindo gastos com energia, combustíveis, lubrificantes, entre outros. Por fim, a remuneração do capital é o retorno esperado pelo empresário pelo investimento realizado. Essas informações são vinculadas a premissas de desempenho, como a capacidade de carga do caminhão, da barcaça, do trem, bem como a carga de retorno, entre outros fatores relevantes. Vale destacar que o simulador não leva em consideração em seus cálculos os valores cobrados em pedágios (MANUAL, 2020).

Referente aos acidentes em geral, acidentes com vítimas fatais ou não, e números exclusivamente de vítimas fatais envolvendo esses modais, coletaram-se dados a partir de órgãos federais como a ANTT e a CNT. A ANTT é uma agência reguladora das atividades voltadas para a exploração infraestrutural das rodovias federais, além disso, envolve-se, por meio da fiscalização direta na execução de contratos de concessões destas mesmas rodovias concedidas para empresas privadas. Já a CNT é dada a importância de trazer representatividade em defesa das empresas atuantes no ramo de transportes, preocupando-se também para que este setor evolua sustentável e estrategicamente.

Os dados disponibilizados pela CNT encontram-se mais aprofundados quanto à categorização dos acidentes e mortes, abordando quantitativos do somatório de toda atuação do modal rodoviário e atuação específica no transporte de cargas via caminhão. Já os dados disponibilizados pela ANTT encontram-se mais restritos, abordando quantitativos do somatório de toda atuação do modal ferroviário apenas. Nos gráficos ilustrados, traçaram-se linhas de tendência lineares para que fosse possível observar o comportamento destes dados quantitativos ao longo dos últimos anos, analisando-se assim se estes números caminham para um futuro mais consciente no âmbito de preservação à vida humana. Junto destes pontos elencados, abordou-se também quadros com a presença destes mesmos dados quantitativos com suas respectivas porcentagens quando comparados uns aos outros. Os dados sobre acidentes e mortes gerais foram coletados no período de 2007 a 2021. Já os dados que envolvem, pelo menos, um caminhão, foram obtidos entre os anos de 2007 e 2018, enquanto os dados referentes às ferrovias foram coletados entre 2011 e 2019.

Finalmente, com base nas informações apresentadas sobre acidentes gerais, mortes e extensões totais de cada malha, foi realizada uma combinação desses dados para obter uma comparação estatística específica para o ano de 2019. O objetivo foi determinar quantos km das respectivas malhas rodoviárias e ferroviárias representavam a ocorrência de um acidente e uma morte. Essa análise permitiu uma avaliação quantitativa do risco em termos de extensão das vias, fornecendo informações relevantes para compreender a frequência desses eventos em relação à infraestrutura disponível.

### 3.5 ETAPA 4 – ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS MODAIS

Por fim, utilizando as informações mais relevantes sobre os modais rodoviário e ferroviário, juntamente com seus objetivos e características específicas, foi possível realizar uma análise comparativa desses métodos de transporte logístico. Através desse comparativo estatístico, foram destacadas as diferenças entre eles nos aspectos econômicos frete aos custos de construção, custos de manutenção e custos de transporte, além da incidência de acidentes em geral, incluindo acidentes com vítimas fatais e não fatais, bem como números exclusivamente de vítimas fatais.

## **4 APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

O objetivo deste capítulo é apresentar, analisar e discutir os resultados alcançados durante o estudo realizado em cada uma das duas modalidades de transportes de carga. As análises são divididas em três partes: os resultados da análise realizada dos modais rodoviário e ferroviário frente aos custos de construção e manutenção; os resultados da análise destes modais frente a custos de transporte por tonelada; e, os resultados da identificação e comparação dos dados quantitativos dos acidentes e vidas perdidas oriundos da utilização destes modais.

### **4.1 ANÁLISE DOS MODAIS RODOVIÁRIO E FERROVIÁRIO FRENTE AOS CUSTOS DE CONSTRUÇÃO E MANUTENÇÃO**

Neste subcapítulo foi apresentada a análise dos custos de construção e manutenção dos referidos modais, feita a partir de um estudo técnico, levando em conta os valores gastos por km de cada via. Junto desta análise, foram abordados dados sobre ambos, no intuito de gerar embasamento para a análise técnica realizada.

#### **4.1.1 Análise do modal rodoviário frente aos custos de construção e manutenção**

Nesta etapa, foram apresentados os resultados do estudo técnico realizado para os custos construtivo e de manutenção das rodovias, obtidos com o uso do simulador IBRE (c2019), junto do suporte do DAER/RS (2023), para a seleção dos dados aos quais alimentaram este simulador.

##### **4.1.1.1 Custo de construção da malha**

Com base nos aspectos apresentados no referencial teórico, em relação ao quesito custo, foi observado um significativo aumento de cerca de 60% nos preços dos ligantes asfálticos nos últimos anos, um aumento expressivo tendo em vista a necessidade de grandes quantidades destes materiais para o desenvolvimento das malhas rodoviárias. A partir desta observação, abordaram-se novas estimativas de

custos gerais de implantação, com o objetivo de construir um panorama atualizado destes.

Conforme mencionado anteriormente, coletaram-se dados sobre 3 rodovias fictícias configuradas em pista dupla e com pavimentação flexível, ou seja, revestimento asfáltico, sendo localizadas nas regiões norte, nordeste e centro-oeste. As rodovias possuem extensões iguais de 22,5 km. Os dados de custos de construção por km de cada rodovia disponibilizados, junto da média resultante a partir deles, foram detalhados no Quadro 6.

Quadro 6 – Custos construtivos médios por km das rodovias – out/2022.

Rodovia	Custo construtivo médio por km	Média dentre as três rodovias
Norte	R\$ 5.211.225,86	R\$ 5.029.905,68
Nordeste	R\$ 4.944.633,16	
Centro-Oeste	R\$ 4.933.858,02	

Fonte: Elaborado pelo autor.

A título de compreensão de possíveis variações de custos construtivos, mantiveram-se as mesmas diretrizes técnicas em termos de configurações e características para as três rodovias mencionadas anteriormente. No entanto, a região de implantação mostrou ser fator determinante para as variações de custos presentes entre estes casos abordados. Conforme citado pelo DAER/RS (2023), em outras situações de rodovias, o custo de implantação pode variar de acordo com uma série de fatores, como por exemplo as premissas técnicas de construção – classificação da via e solução adotada para a pavimentação e porte da obra –, o traçado geométrico – características do relevo –, bem como a região de implantação já mencionada. Terrenos montanhosos e especificações mais complexas podem aumentar os custos da rodovia.

Através dos resultados apresentados no Quadro 6, foi possível analisar os custos construtivos das 3 rodovias simuladas, e a partir destes custos, se calculou sua média para outubro de 2022. Esse custo médio foi obtido somando-se o custo construtivo total das rodovias localizadas nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste, e dividindo a soma resultante pelo número de rodovias em análise, ou seja,

por 3. O resultado desta mensuração foi de R\$ 5.029.905,68 para o custo médio construtivo por km entre as rodovias analisadas.

#### 4.1.1.2 Custo de manutenção da malha

A partir de dados abordados no referencial teórico fora possível analisar dados sobre a estimativa de vida útil da pavimentação flexível e com isso atrelá-la ao custo necessário para manutenção das vias rodoviárias. No referencial, são mencionados alguns fatores que influenciam diretamente na vida útil das vias conforme mencionado a seguir:

- Carga aplicada sobre a via;
- Insumos dispostos em correta quantidade atrelado a qualidade na construção;
- Manutenção periódica;
- Clima;
- Método empírico de dimensionamento.

Por conta da defasada metodologia de composição e construção do asfalto citado pela CNT (2017b) – método que teve sua última revisão realizada há aproximadamente 60 anos, sem considerar uma série de fatores teóricos, novos materiais, técnicas, atualizações sobre o tráfego atual e novos veículos aos quais trafegam pelas vias –, este acaba obtendo uma série de defeitos frente à sua utilização ao longo dos anos, considerado este um dos principais fatores pela sua falta de durabilidade no Brasil. Atrelado a isso, a CNT (2017a) afirma que outro fator de influência direta na trabalhabilidade e comportamento dos insumos presentes no pavimento é o clima, mais especificamente a umidade e variações de temperatura. Diante disso, analisou-se os custos de manutenção das malhas coletados no IBRE (c2019).

Segundo o DAER/RS (2023), a vida útil da malha de uma rodovia é estimada em projeto para 10 anos, no entanto, diante de fatores como intempéries e sobrecargas praticadas no transporte via caminhões, esta estimativa tende a ser reduzida para 6 anos na prática. Por isso, conforme mencionado pelo DAER/RS (2023), visando o aprimoramento desta vida útil para que atinja tal estimativa de projeto, realizam-se manutenções de conservação anuais de forma preventiva.

De acordo com os dados elencados pelo IBRE (c2019) com data-base de outubro de 2022, a estimativa de custo médio anual por km da manutenção por conservação de rodovias compostas com quatro faixas de rolamento para a região Norte foi de R\$ 256.271,81, já para a região Nordeste foi de R\$ 239.342,54, para a região Centro-Oeste foi de R\$ 236.511,31, para a região Sudeste foi de R\$ 233.803,59, e, para a região Sul foi de R\$ 229.601,76. A média de manutenção oriunda da soma destes custos e posterior divisão pelo número de rodovias abordadas, ou seja, 5 rodovias, resultou no custo médio de conservação de R\$ 239.106,20 por km ao ano no Brasil. Junto dessa estimativa, novamente com o suporte do DAER/RS (2023), pode-se mensurar o escoamento médio anual de uma via de grande importância no transporte de cargas do RS para o ano de 2023, a RSC-153, especificamente no trecho 153RSC1672. Tal mensuração resultou no transporte médio de 11,08 milhões de toneladas de cargas no trecho em questão, transportadas por caminhões de categoria ultrapesada compostos por 4 ou mais eixos, mensuração essa que serviu de referência para as projeções realizadas no decorrer do trabalho.

#### **4.1.2 Análise do modal ferroviário frente aos custos de construção e manutenção**

Nesta etapa, foram apresentados os resultados do estudo técnico realizado para os custos construtivo e de manutenção das ferrovias, obtidos com o especialista em ferrovias Carlos Alberto Martins da Matta, colaborador da TLISA - CSN.

##### **4.1.2.1 Custo de construção da malha**

Com base nos aspectos apresentados no referencial teórico, em relação ao quesito custo, Silva (2016) abordou a estimativa de custo médio de construção por km da ferrovia Transnordestina em 2016, trazida pelo então presidente da Valec Mário Rodrigues, de R\$ 6.000.000,00, aproximadamente. A partir da análise de dados atualizados para a data-base de abril de 2023, coletados via e-mail e considerados essenciais para o desenvolvimento das análises, com o especialista em ferrovias Carlos Alberto Martins da Matta, que trabalha na TLISA, o custo atual de

construção para um km da ferrovia Transnordestina é de aproximadamente R\$ 7.500.000,00. Nota-se um aumento de 25% sobre o custo estimado anteriormente por Mario Rodrigues.

Conforme mencionado anteriormente, coletaram-se dados sobre 3 ferrovias configuradas com bitola larga de 1,60 m, sendo elas a ferrovia FICO, ferrovia FIOL 1 e a ferrovia TLSA. As ferrovias possuem extensões de 383 km, 537 km e 1.737 km, respectivamente. Os dados de custos de construção por km de cada ferrovia disponibilizados, junto da média resultante a partir deles, foram detalhados no Quadro 7.

Quadro 7 – Custos construtivos médios por km das ferrovias – abril/2023.

Ferrovia	Custo construtivo médio por km	Média dentre as três ferrovias
FICO	R\$ 9.500.000,00	R\$ 8.600.000,00
FIOL 1	R\$ 8.800.000,00	
TLSA	R\$ 7.500.000,00	

Fonte: Elaborado pelo autor.

A título de compreensão de possíveis variações de custos construtivos, Matta (2023) explica que as diretrizes técnicas para as três ferrovias mencionadas – FICO, FIOL 1 e TLSA – compartilham da mesma base em termos de via permanente e superestrutura, base esta abordada e detalhada no referencial teórico. No entanto, em outras situações de ferrovias o custo de implantação pode variar de acordo com a bitola – métrica de 1,00 m ou larga de 1,60 m –, as premissas técnicas de construção e o traçado geométrico, incluindo rampas e curvas, bem como a região de implantação. Terrenos montanhosos e especificações mais complexas podem aumentar os custos da ferrovia. Os custos de implantação resumem-se em média em 70% para materiais e 30% para serviços, com este último já englobando custos de projeto que por sua vez variam de 3% a 5% do custo total de implantação da via.

Através dos resultados apresentados no Quadro 7, foi possível analisar os custos construtivos das 3 ferrovias consultadas, e a partir destes custos, calcular sua média para abril de 2023. Esse custo médio foi obtido somando-se o custo construtivo total das ferrovias FICO, FIOL 1 e TLSA, e dividindo a soma resultante pelo número de ferrovias em análise, ou seja, por 3. O resultado desta mensuração

foi de R\$ 8.600.000,00 para o custo médio construtivo dentre as ferrovias analisadas, compostas por bitola larga, composição essa que é especialmente recomendada para ferrovias às quais objetivam comportar maiores volumes de cargas transportadas conforme mencionou Matta (2023).

#### 4.1.2.2 Custo de manutenção da malha

A partir de dados abordados no referencial teórico fora possível analisar a estimativa de vida útil dos trilhos e com isso atrelá-la ao custo necessário para manutenção das vias ferroviárias. No referencial mencionado, Alves *et al.* (2019) citou alguns fatores ligados a utilização das vias ferroviárias que influenciam em sua vida útil conforme abordado a seguir:

- Número de passadas das rodas sobre as vias;
- Peso ao qual aplica-se no contato roda-trilho pelos eixos do material rodante;
- Condições apresentadas pelas vias – infraestrutura e superestrutura;
- Clima;
- Disposição das vias – inclinação, raio e quantidade de curvas.

Ainda de acordo com Matta (2023), a partir de seus dados foi possível analisar o quesito vida útil/custo de manutenção. Segundo ele, a depreciação completa da superestrutura e infraestrutura de uma ferrovia de carga é estimada em 33 anos pela ANTT. Já a manutenção de conservação da via, visando atingir tal estimativa, começa desde a fase de construção e é realizada desde o primeiro ano de operação comercial, sendo intensificada à medida que o volume de carga transportada aumenta a cada ano. A estimativa de custo por km da manutenção de ferrovias de bitola larga no Brasil varia de R\$ 140.000,00 a R\$ 250.000,00 por ano, representando uma média de custo de R\$ 195.000,00 para abril de 2023. Segundo Matta (2023), essa estimativa foi calculada com base no transporte anual de 20 a 50 milhões de toneladas de cargas, que resulta em uma média de 35 milhões de toneladas transportadas. No Brasil, uma ferrovia de bitola métrica que transporta 4 milhões de toneladas por ano, por exemplo, tem um custo médio de manutenção da via permanente estimado em R\$ 70.000,00 por km ao ano.

#### 4.1.3 Análise comparativa dos custos construtivos e de manutenção das malhas por km x toneladas transportadas por ano e dentro de suas vidas úteis

Com base nos resultados obtidos a partir das pesquisas e estudos técnicos abordados anteriormente, foi possível comparar os dados elencados referentes aos custos construtivos e de manutenção médios por km das malhas com as respectivas toneladas de cargas transportadas anualmente e dentro de suas vidas úteis, com estes dados estatísticos finais sendo fornecidos por Matta (2023) para ferrovias de bitola larga em abril de 2023, e pelo DAER/RS (2023) para uma rodovia que comportou grande escoamento de cargas no RS estimado para 2023.

Em seguida, o comparativo dos custos de construção médios por km x toneladas transportadas por ano, anteriormente abordados, foram apresentados conforme ilustrado no Quadro 8.

Quadro 8 – Custos construtivos médios por km x toneladas transportadas por ano dentre as rodovias e ferrovias.

Modal de transporte	Custo construtivo médio por km	Toneladas transportadas por ano	Combinação do custo construtivo pelas toneladas transportadas	Percentual de cada combinação
Rodovias	R\$ 5.029.905,68	11.084.419	R\$ 0,45378	65%
Ferrovias	R\$ 8.600.000,00	35.000.000	R\$ 0,24571	35%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com base nos resultados apresentados no Quadro 8, foi observada uma disparidade nos custos construtivos médios entre rodovias e ferrovias. As rodovias apresentaram um custo médio inferior de R\$ 3.570.094,32 em comparação com as ferrovias, representando uma diferença de 26% nos custos. Em relação às estimativas de toneladas transportadas por ano, foi evidenciada uma disparidade significativa. As ferrovias transportam anualmente 23.915.581 de toneladas a mais do que as rodovias, uma diferença percentual de 52% dentre os modais neste quesito.

Ao cruzar esses dados, realizou-se uma análise das combinações por meio da divisão do custo construtivo médio por km de cada modal pelas suas respectivas toneladas transportadas anualmente. Para as rodovias, o custo construtivo foi de R\$

0,45378 por tonelada transportada, enquanto para as ferrovias, o custo foi de R\$ 0,24571 por tonelada transportada, com percentuais de 65% e 35% respectivamente conforme detalhado no Quadro 8. Chegou-se assim a um custo inferior de R\$ 0,20807 para o modal ferroviário, representando uma diferença entre os percentuais abordados de 30%. Essa análise final evidenciou que, mesmo com um custo construtivo mais elevado, as ferrovias oferecem uma possibilidade de otimização na quantidade de toneladas de cargas transportadas em comparação com as rodovias, destacando um custo benefício maior para as ferrovias diante disso.

Em seguida, o comparativo dos custos de construção médios por km x toneladas transportadas durante a vida útil de cada malha, anteriormente abordados, foram apresentados conforme ilustrado no Quadro 9.

Quadro 9 – Custos construtivos médios por km x toneladas transportadas durante a vida útil dentre as rodovias e ferrovias.

Modal de transporte	Custo construtivo médio por km	Vida útil em anos	Toneladas transportadas durante a vida útil	Combinação do custo construtivo pelas toneladas transportadas	Percentual de cada combinação
Rodovias	R\$ 5.029.905,68	10	110.844.192	R\$ 0,04538	86%
Ferrovias	R\$ 8.600.000,00	33	1.155.000.000	R\$ 0,00745	14%

Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir dos resultados apresentados no Quadro 9, mantiveram-se os custos construtivos médios por km anteriormente abordados e analisados, combinando-os com novas estimativas de toneladas transportadas, dessa vez para os períodos completos das vidas úteis de ambos os modais – 10 anos para as rodovias e 33 anos para as ferrovias –, sem considerar taxa de crescimento, ou seja, mensuradas com quantidades de toneladas constantes ao longo dos anos dentro dos dois períodos. Referente às tais estimativas de toneladas transportadas, foi evidenciada uma grande disparidade. As ferrovias transportam durante sua vida útil 1.044.155.808 de toneladas a mais do que as rodovias, uma diferença percentual de 82% entre os modais neste quesito.

Analisaram-se os resultados das combinações oriundas da divisão do custo construtivo médio por km de cada modal pelas suas respectivas toneladas transportadas durante suas vidas úteis. Para as rodovias, o custo construtivo foi de

R\$ 0,04538 por tonelada transportada, enquanto para as ferrovias, o custo foi de R\$ 0,00745 por tonelada transportada, com percentuais de 86% e 14% respectivamente conforme detalhado no Quadro 9. Chegou-se assim, a um custo inferior de R\$ 0,03793 para o modal ferroviário, representando uma diferença entre os percentuais abordados de 72%. Ao arbitrar a análise final frente ao transporte de cargas dentro da vida útil completa de cada modal, fica evidenciado novamente que, mesmo com um custo construtivo mais elevado, as ferrovias oferecem uma possibilidade de otimização expressiva na quantidade de toneladas de cargas transportadas em comparação com as rodovias, destacando um custo benefício amplamente maior para as ferrovias.

Em seguida, o comparativo dos custos anuais de manutenção por conservação médios por km x toneladas transportadas por ano de cada malha, anteriormente abordados, foram apresentados conforme ilustrado no Quadro 10.

Quadro 10 – Custos anuais de conservação médios por km x toneladas transportadas por ano entre as rodovias e ferrovias.

Modal de transporte	Custo de conservação médio por km anual	Toneladas transportadas por ano	Combinação do custo de conservação pelas toneladas transportadas	Percentual de cada combinação
Rodovias	R\$ 239.106,20	11.084.419	R\$ 0,02157	79%
Ferrovias	R\$ 195.000,00	35.000.000	R\$ 0,00557	21%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Frente aos resultados apresentados no Quadro 10, observou-se uma disparidade nos custos médios de manutenção por conservação entre rodovias e ferrovias. As ferrovias apresentaram um custo médio inferior de R\$ 44.106,20 em comparação com as rodovias, representando uma diferença de 10% nos custos. Em relação às estimativas de toneladas transportadas por ano, mantiveram-se as mesmas já abordadas e analisadas no Quadro 8.

A partir da combinação destes dados, foi possível analisar as resultantes oriundas da divisão do custo anual de manutenção por conservação médio por km de cada modal pelas suas respectivas toneladas transportadas anualmente. Para as rodovias, o custo de conservação foi de R\$ 0,02157 por tonelada transportada, enquanto para as ferrovias, o custo foi de R\$ 0,00557 por tonelada transportada,

com percentuais de 79% e 21% respectivamente conforme detalhado no Quadro 10. Chegou-se assim a um custo inferior de R\$ 0,01600 para o modal ferroviário, representando uma diferença entre os percentuais abordados de 59%. Essa análise final tornou evidente que, além de terem um custo de manutenção por conservação inferior, as ferrovias novamente oferecem uma possibilidade de otimização na quantidade de toneladas de cargas transportadas em comparação com as rodovias, destacando-se assim um custo benefício maior para as ferrovias.

#### 4.2 IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DE DADOS ACERCA DE CUSTOS DE TRANSPORTE POR TONELADA PARA AMBOS OS MODAIS

Neste subcapítulo foi apresentada uma análise de dados que incluem os custos de transporte por tonelada para os modais rodoviário e ferroviário no Brasil, abrangendo diferentes km para fornecer um comparativo mais amplo. Para esta análise, foi utilizado o simulador Infrasa ([2023]).

Em seguida, foram apresentados os resultados das estimativas médias de custos de transporte por tonelada para cargas gerais em 15 faixas de intervalo de distâncias percorridas – 1 km, 2,5 km, 5 km, 7,5 km, 10 km, 25 km, 50 km, 75 km, 100 km, 250 km, 500 km, 750 km, 1000 km, 2500 km e 5000 km –, com base no suporte do Infrasa ([2023]), para abril de 2023, nos modais rodoviário e ferroviário, como abordado no Quadro 11.

Quadro 11 – Custo de transporte por tonelada para rodovias em abril de 2023 x Custo de transporte por tonelada c/ tarifa fixa por trajeto de R\$16,25 para ferrovias em abril de 2023.

Custo por km total Rodovias + Ferrovias	Km percorrida	Custos de transporte por tonelada - Rodovias	Custos por km	Percentual do custo por km sobre ferrovias	Custos de transporte por tonelada c/ tarifa de R\$16,25 - Ferrovias	Custos por km	Percentual do custo por km sobre rodovias
R\$ 54,41	1	R\$ 22,94	R\$ 22,94	42,16%	R\$ 31,47	R\$ 31,47	57,84%
R\$ 21,90	2,5	R\$ 23,21	R\$ 9,28	42,40%	R\$ 31,53	R\$ 12,61	57,60%
R\$ 11,06	5	R\$ 23,66	R\$ 4,73	42,78%	R\$ 31,64	R\$ 6,33	57,22%
R\$ 7,45	7,5	R\$ 24,11	R\$ 3,21	43,17%	R\$ 31,74	R\$ 4,23	56,83%
R\$ 5,64	10	R\$ 24,56	R\$ 2,46	43,54%	R\$ 31,85	R\$ 3,19	56,46%
R\$ 2,39	25	R\$ 27,24	R\$ 1,09	45,61%	R\$ 32,49	R\$ 1,30	54,39%
R\$ 1,31	50	R\$ 31,73	R\$ 0,63	48,61%	R\$ 33,55	R\$ 0,67	51,39%
R\$ 0,94	75	R\$ 36,21	R\$ 0,48	51,12%	R\$ 34,62	R\$ 0,46	48,88%
R\$ 0,76	100	R\$ 40,69	R\$ 0,41	53,28%	R\$ 35,68	R\$ 0,36	46,72%
R\$ 0,44	250	R\$ 67,57	R\$ 0,27	61,63%	R\$ 42,07	R\$ 0,17	38,37%
R\$ 0,33	500	R\$ 112,37	R\$ 0,22	68,07%	R\$ 52,72	R\$ 0,11	31,93%
R\$ 0,29	750	R\$ 157,18	R\$ 0,21	71,27%	R\$ 63,37	R\$ 0,08	28,73%
R\$ 0,28	1000	R\$ 201,99	R\$ 0,20	73,18%	R\$ 74,02	R\$ 0,07	26,82%
R\$ 0,24	2500	R\$ 470,82	R\$ 0,19	77,34%	R\$ 137,91	R\$ 0,06	22,66%
R\$ 0,23	5000	R\$ 918,87	R\$ 0,18	78,99%	R\$ 244,39	R\$ 0,05	21,01%

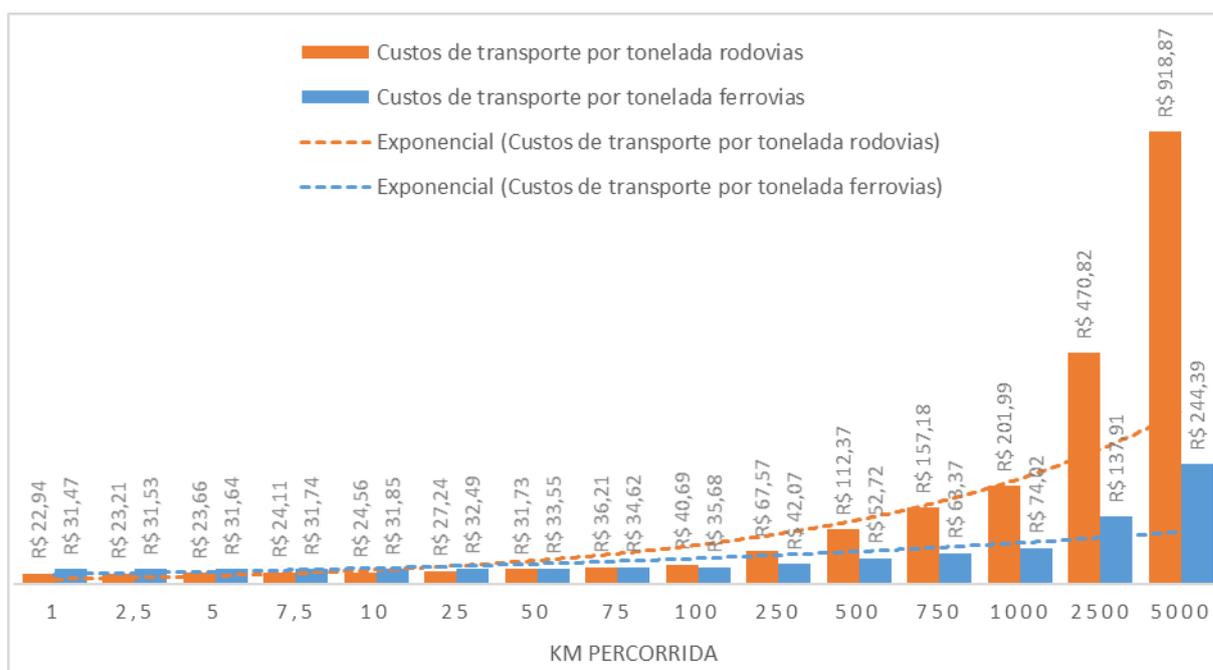
Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir dos resultados apresentados no Quadro 11, foi possível analisar como se comportam os custos por tonelada de transporte para diferentes distâncias percorridas entre ambos os modais rodoviário e ferroviário no Brasil. Conforme aumentam as distâncias percorridas no transporte, os custos totais consequentemente passam a aumentar da mesma forma, e, ao se dividir estes custos totais de transporte de cada modal pelas suas respectivas distâncias percorridas ocorre o processo contrário, ou seja, o custo por km de transporte passa a diminuir. Esta análise torna-se clara ao somar os custos de transporte das rodovias com os custos das ferrovias dentro de seus intervalos de distâncias percorridas separadamente, e então, a partir da divisão de cada custo de transporte pela soma mencionada e depois multiplicado por 100, obtêm-se suas respectivas porcentagens para cada intervalo, conforme detalhado no Quadro 11.

De posse das porcentagens mencionadas para cada custo de transporte por km, analisou-se o comportamento destas dentro ambos os modais conforme aumentam as distâncias percorridas. Percebe-se assim, que os custos de transporte pelas ferrovias são maiores nos 7 intervalos iniciais, do 1 km – 42,16% para as rodovias e 57,84% para as ferrovias, ou seja, custo de transporte 15,68% maior nas ferrovias – aos 50 km – 48,61% para as rodovias e 51,39% para as ferrovias, ou seja, custo de transporte 2,78% maior nas ferrovias –. Nos 8 intervalos seguintes este cenário passa a se inverter, com os custos de transporte sendo menores no modal ferroviário, que vão dos 75 km – 51,12% para as rodovias e 48,88% para as ferrovias, ou seja, custo de transporte 2,24% maior nas rodovias – aos 5000 km – 78,99% para as rodovias e 21,01% para as ferrovias, ou seja, custo de transporte 57,98% maior nas rodovias –. Estas análises tornam explícito o melhor custo-benefício no transporte de cargas ferroviário para maiores distâncias percorridas, conforme já mencionado no referencial teórico por Leite *et al.* (2016).

Em seguida, os resultados das estimativas médias dos custos de transporte por tonelada referentes aos modais rodoviário e ferroviário durante abril de 2023, abordados previamente, foram apresentados conforme ilustrado no Gráfico 13.

Gráfico 13 – Custos de transporte por tonelada para cada distância completa percorrida entre rodovias e ferrovias em abril de 2023.

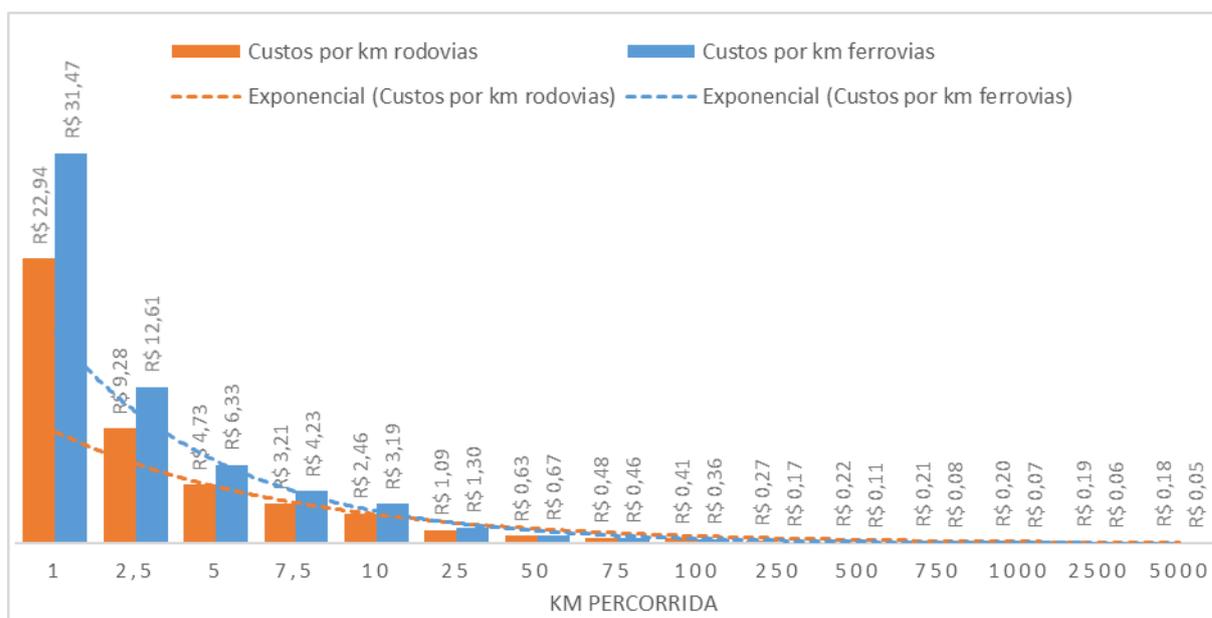


Fonte: Elaborado pelo autor.

Através dos resultados apresentados no Gráfico 13, foi possível analisar o comportamento dos custos de transporte em relação às distâncias totais percorridas dentro das 15 faixas de intervalo arbitradas, variando de 1 km a 5000 km. Inicialmente, o transporte de cargas gerais pelas ferrovias apresentava custos mais elevados comparados aos das ferrovias nos intervalos compostos por distâncias menores, especificamente de 1 km aos 50 km. No entanto, a partir de 75 km, houve uma inversão, com os custos se tornando mais altos no transporte rodoviário. Nas distâncias de 1000 km, 2500 km e 5000 km, por exemplo, os custos no transporte rodoviário foram respectivamente 46,36%, 54,69% e 57,98% maiores em comparação ao transporte ferroviário. Essas análises foram evidenciadas pelas linhas exponenciais traçadas para cada modal, tornando-se a linha exponencial mais acentuada no transporte rodoviário à medida que as distâncias percorridas aumentam para o transporte de cargas.

A seguir, os resultados das estimativas médias dos custos de transporte por tonelada por km referentes aos modais rodoviário e ferroviário durante abril de 2023, abordados previamente, foram apresentados conforme ilustrado no Gráfico 14.

Gráfico 14 – Custos de transporte por tonelada por km entre rodovias e ferrovias em abril de 2023 no intervalo completo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

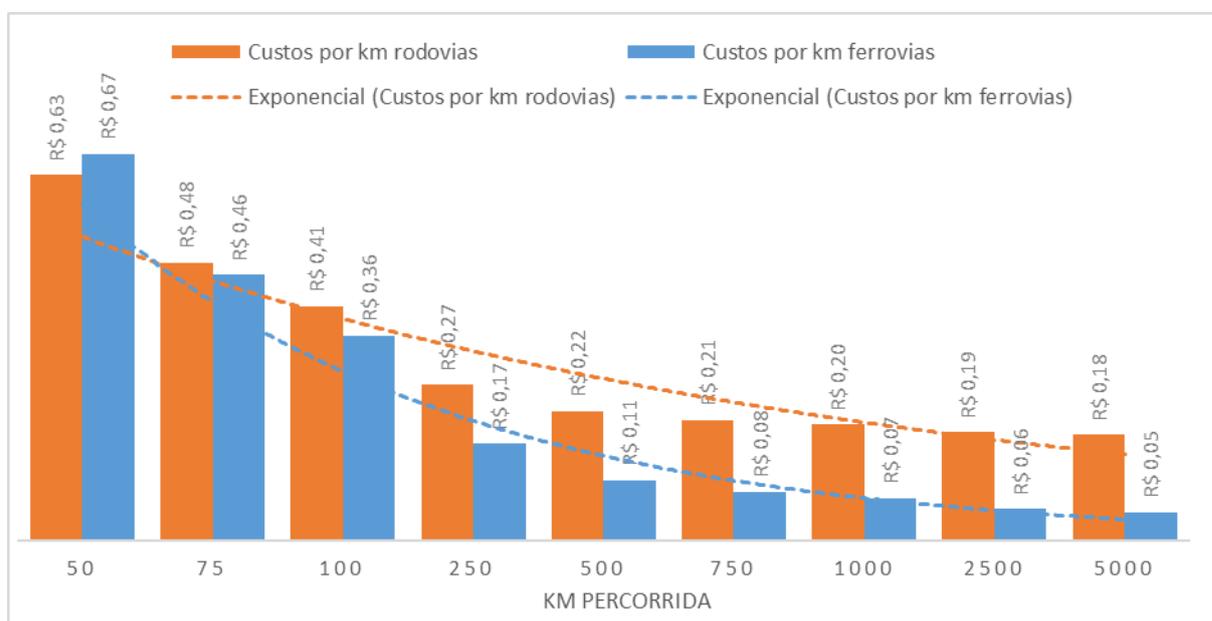
Diante dos resultados apresentados no Gráfico 14, foi possível analisar o comportamento dos custos de transporte por km dentro das 15 faixas de intervalo

arbitradas, custos estes obtidos a partir da divisão do custo total de cada intervalo pela distância total em km percorrida dentro deste mesmo intervalo. Inicialmente, assim como no Gráfico 13, o transporte de cargas gerais pelas ferrovias apresentava custos por km mais elevados nos intervalos com distâncias menores quando comparados aos das rodovias. No entanto, a partir de 75 km, houve uma inversão, com os custos se tornando mais altos no transporte rodoviário. Este aspecto mostra-se de difícil compreensão ao analisarmos o gráfico com a presença das 15 faixas de intervalo, mais especificamente quanto as linhas exponenciais das faixas finais deste mesmo intervalo – dos 50 km aos 5000 km –, trazendo a necessidade de uma análise a partir da redução deste número de faixas, análise e redução estas desenvolvidas posteriormente.

Ao se observar os valores em detalhes, é evidente a mudança de cenário em termos de custo-benefício para o transporte de cargas em cada modal. Ou seja, à medida que as distâncias percorridas aumentam, a diferença entre os custos finais também se torna maior. Essa observação destaca a importância de considerar a distância percorrida como um fator significativo na escolha do modal de transporte mais adequado para otimizar os custos logísticos, conforme já mencionado no referencial teórico por Assis *et al.* (2017).

Em seguida, os resultados das estimativas médias dos custos de transporte por tonelada por km referentes aos modais rodoviário e ferroviário durante abril de 2023, abordados previamente, foram apresentados conforme ilustrado no Gráfico 15.

Gráfico 15 – Custos de transporte por tonelada por km entre rodovias e ferrovias em abril de 2023 no intervalo reduzido.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Por meio dos resultados apresentados no Gráfico 15, foi possível analisar o comportamento dos custos de transporte por km dentro das 9 faixas finais de intervalo arbitradas – dos 50 km aos 5000 km –, às quais foram reduzidas com o objetivo de tornar a análise gráfica mais visualmente compreensível. Esses custos foram obtidos dividindo-se o custo total de cada intervalo pela distância total percorrida em km dentro do mesmo intervalo, de forma similar ao já mencionado nas considerações do Gráfico 14. Inicialmente, neste intervalo reduzido de análise, percebeu-se que o transporte de cargas gerais por ferrovias apresentava um custo por km mais elevado no intervalo de 50 km de distância, com diferença de R\$ 0,04. No entanto, a partir de 75 km, houve uma inversão, com os custos se tornando mais altos no transporte rodoviário. De acordo com essa nova abordagem, observou-se que no intervalo de distância de 750 km a 5000 km, os custos do transporte rodoviário foram, em média, R\$ 0,13 mais altos em comparação ao transporte ferroviário. Isso representa um custo aproximadamente 3,1 vezes maior para o modal rodoviário, o que está de acordo com a estimativa mencionada por Colavite e Konishi (2015) no referencial teórico. Essas análises foram evidenciadas pelas linhas exponenciais traçadas para cada modal, tornando-se a linha exponencial mais

acentuada no transporte rodoviário à medida que as distâncias percorridas aumentam para o transporte de cargas.

A análise dos dados apresentados no referencial teórico permitiu examinar a justificativa acerca da discrepância existente nos custos de transporte entre os dois modais. Nesses dados, destaca-se o custo de transporte como o principal desafio enfrentado pelas empresas exportadoras brasileiras. Já a predominância existente no transporte de cargas pela utilização do modal rodoviário, mesmo que este tenha custos mais elevados a partir de determinadas distâncias conforme relatado, pode ser atribuída à sua monopolização como meio de transporte. De acordo com dados da CNT (2016), o modal rodoviário é responsável por 65% do transporte de cargas, enquanto o modal ferroviário corresponde a 20%.

Além dos dados já abordados, Gimenes (2017) aponta que a escolha do modal para o transporte de cargas também está relacionada à infraestrutura disponível para cada um deles. Esse aspecto é evidenciado pela disparidade existente entre as extensões das malhas rodoviária e ferroviária no Brasil. Segundo Boletins (2023), tal disparidade é destacada pela malha rodoviária brasileira, que contava com 1.720.909,00 km de rodovias em fevereiro de 2023, enquanto a malha ferroviária contava com 32.073 km de ferrovias neste mesmo período, ou seja, a malha total rodoviária era 97% maior que a malha ferroviária. Ao se analisar o total da extensão de malha rodoviária pavimentada, que contava com 213.500,00 km de rodovias em fevereiro de 2023, ainda de acordo com Boletins (2023), seguiu notando-se uma superioridade de 74% desta malha pavimentada em relação às ferrovias. Vale destacar a semelhança dos dados sobre a extensão de cada modal frente aos dados já abordados referentes ao ano de 2019 por Principais (c2021) para as rodovias e pela CNT (2021a) para as ferrovias.

De acordo com Brasil (2007, *apud* PEREIRA e LESSA, 2011, p. 41), outra das razões pelas quais há grande diferença entre a utilização dos modais logísticos de transportes em território brasileiro é explicada pela priorização de investimentos focados ao modal rodoviário, refletindo diretamente no aumento de custos de produção e transporte. Isso se confirma segundo dados elencados por Boletins (2023), onde o modal rodoviário recebeu R\$ 6.434.710.000,00 de investimento em infraestrutura no ano de 2022, enquanto o modal ferroviário recebeu R\$ 334.470.000,00, e os outros modais receberam juntos R\$ 2.201.230.000,00, ou seja, observa-se que 72% dos investimentos foram direcionados ao modal rodoviário,

enquanto apenas 4% foram para o ferroviário e 24% aos outros. Conforme relata Gimenes (2017), o baixo investimento realizado no modal ferroviário e nos demais, em relação ao modal rodoviário, impede que estes cresçam e tenham sua eficácia no transporte aprimorada, restringindo as opções do exportador em termos de qualidade e outros parâmetros de preços ao buscar transporte para suas mercadorias, tornando-os refém do uso praticamente exclusivo do modal rodoviário.

#### 4.3 ANÁLISE COMPARATIVA DE DADOS QUANTITATIVOS DOS ACIDENTES TOTAIS, ACIDENTES COM VÍTIMAS E VIDAS PERDIDAS ORIUNDOS DA UTILIZAÇÃO DESTES MODAIS

Neste subcapítulo foi apresentada a análise comparativa de dados quantitativos dos acidentes e vidas perdidas oriundos da utilização dos modais rodoviário e ferroviário do Brasil.

##### 4.3.1 Análise e comparação dos acidentes e mortes dentre ambos os modais

Nesta etapa, foram elencados, comparados e analisados os dados quantitativos de acidentes e mortes diante do cruzamento de informações em torno de suas ocorrências. A partir do embasamento detalhado pela CNT (2019a) no referencial teórico, foi possível mencionar e analisar alguns dos fatores considerados agravantes no cenário de acidentes nas rodovias brasileiras conforme detalhado a seguir:

- Fator humano;
- Fator veicular;
- Fator institucional/social;
- Fator socioeconômico;
- Fator meio ambiente;
- Fator situação das vias rodoviárias federais.

Segundo a CNT (2019b), a combinação dos fatores mencionados levou a um total de 69.206 acidentes em 2018, dos quais 53.963 envolveram vítimas, resultando em 5.296 mortes. No segmento de transporte de cargas por caminhões, houve um número significativo de 18.293 acidentes no mesmo ano, com 12.631 deles envolvendo vítimas e 2.244 mortes. Esses acidentes envolvendo vítimas com

caminhões, principal meio de transporte de cargas do Brasil, representaram 23,4% do total de ocorrências com vítimas em rodovias federais em 2018.

Segundo a CNT e seus dados abordados ao longo do trabalho, mesmo com a diminuição do número de acidentes totais, acidentes envolvendo vítimas e mortes originados nas rodovias federais brasileiras ao longo dos últimos anos – entre 2011 e 2020 –, percebe-se a permanência de riscos causados pelo modal rodoviário à vida das pessoas. Na comparação dos dados quantitativos entre os anos de 2020 e 2021, por exemplo, notou-se o aumento de 1,6% no número de acidentes e 2,0% no número de mortes, ou seja, passou-se de 63.447 acidentes em 2020 para 64.452 acidentes em 2021, e de 5.287 mortes em 2020 para 5.391 mortes em 2021. Estes números ligam um alerta para que os órgãos federais deem maior atenção aos tópicos abordados anteriormente, com o objetivo de conter a escalada destes acidentes e mortes que ocorrem nas rodovias.

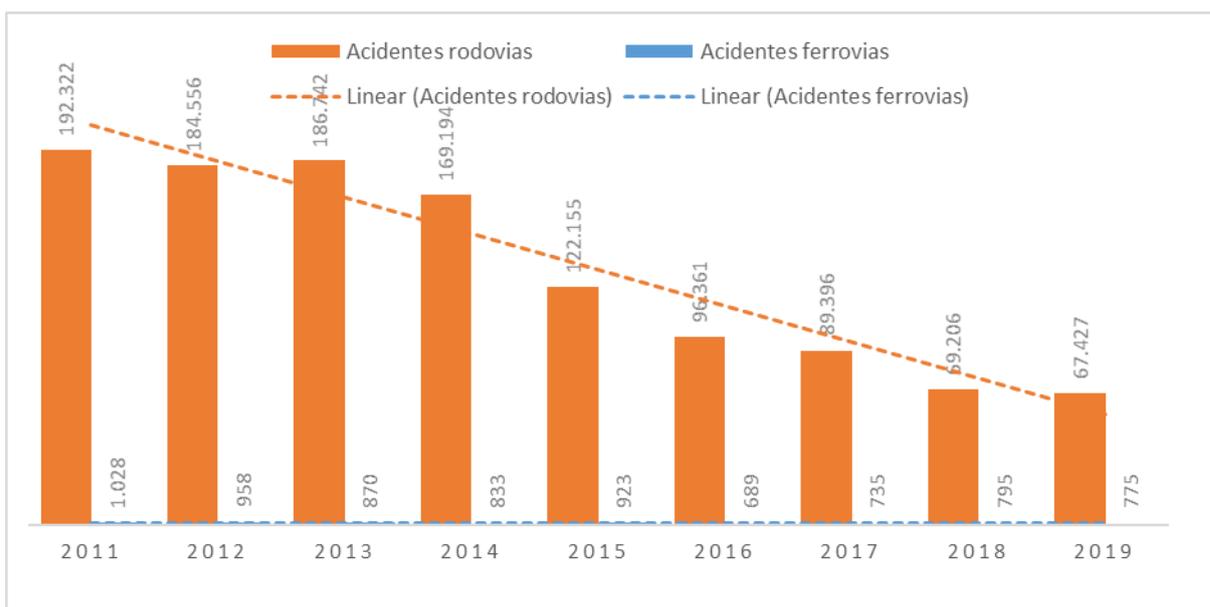
Analisando os resultados obtidos a partir do estudo técnico realizado frente a dados elencados por Miguel (2018), quanto ao modal ferroviário e os acidentes oriundos de sua utilização, foram observados fatores que refletem negativamente em sua utilização. São eles o fator humano, por envolver mortes, danos materiais e impactos ambientais, por exemplo. Miguel (2020) destaca a necessidade de uma maior atenção, por parte dos órgãos federais, à ocorrência de acidentes neste modal. Menciona também a obrigatoriedade em se mencionar à ANTT todos e quaisquer acidentes ferroviários aos quais possam ocorrer na malha federal concedida no Brasil, em decorrência da Resolução ANTT nº 1.431/2006 e a Resolução ANTT nº 5.902/2020.

Segundo a ANTT (2020, apud MIGUEL, 2020, p. 210) e seus dados abordados ao longo do trabalho, mesmo com a sutil diminuição do número de acidentes totais, acidentes envolvendo vítimas e mortes originadas nas ferrovias federais brasileiras ao longo dos últimos anos – entre 2011 e 2020 –, percebe-se a permanência de riscos causados pelo modal rodoviário à vida das pessoas. Tais estatísticas mencionadas possuem frequência de ocorrência de 10 a 20 vezes maior no Brasil, quando comparadas às estatísticas de países europeus. Acidentes envolvendo vítimas e mortes originados nas ferrovias federais brasileiras permaneceram com dados quantitativos constantes dentro deste período. A partir dos dados elencados, fora possível analisar a média anual de 845 acidentes totais que ocorre neste modal, com 217 pessoas feridas gravemente e 106 mortes,

contabilizados no intervalo de 2011 a 2020. Para as análises comparativas entre o modal ferroviário e o modal rodoviário, ajustou-se o intervalo de anos de acordo com os dados disponibilizados pelo mesmo período do outro modal, conforme detalhado no decorrer do trabalho.

Nos gráficos detalhados na sequência deste trabalho, abordaram-se dados quantitativos disponibilizados pelos órgãos federais da CNT e ANTT referentes à acidentes totais, acidentes envolvendo alguma vítima e mortes oriundas destes acidentes nos modais rodoviário e ferroviário. Em seguida, são apresentados os resultados dos dados quantitativos de acidentes totais rodoviários x acidentes totais ferroviários entre os anos de 2011 e 2019 no Gráfico 16, e posteriormente no Quadro 12.

Gráfico 16 – Acidentes rodoviários x acidentes ferroviários entre 2011 e 2019.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da CNT (2022a, p. 03) e ANTT (2020, *apud* MIGUEL, 2020, p. 212).

Quadro 12 – Acidentes rodoviários x acidentes ferroviários entre 2011 e 2019.

Ano	Acidentes totais	Acidentes rodovias	Percentual	Acidentes ferrovias	Percentual
2011	193.350	192.322	99,47%	1.028	0,53%
2012	185.514	184.556	99,48%	958	0,52%
2013	187.612	186.742	99,54%	870	0,46%
2014	170.027	169.194	99,51%	833	0,49%
2015	123.078	122.155	99,25%	923	0,75%
2016	97.050	96.361	99,29%	689	0,71%
2017	90.131	89.396	99,18%	735	0,82%
2018	70.001	69.206	98,86%	795	1,14%
2019	68.202	67.427	98,86%	775	1,14%

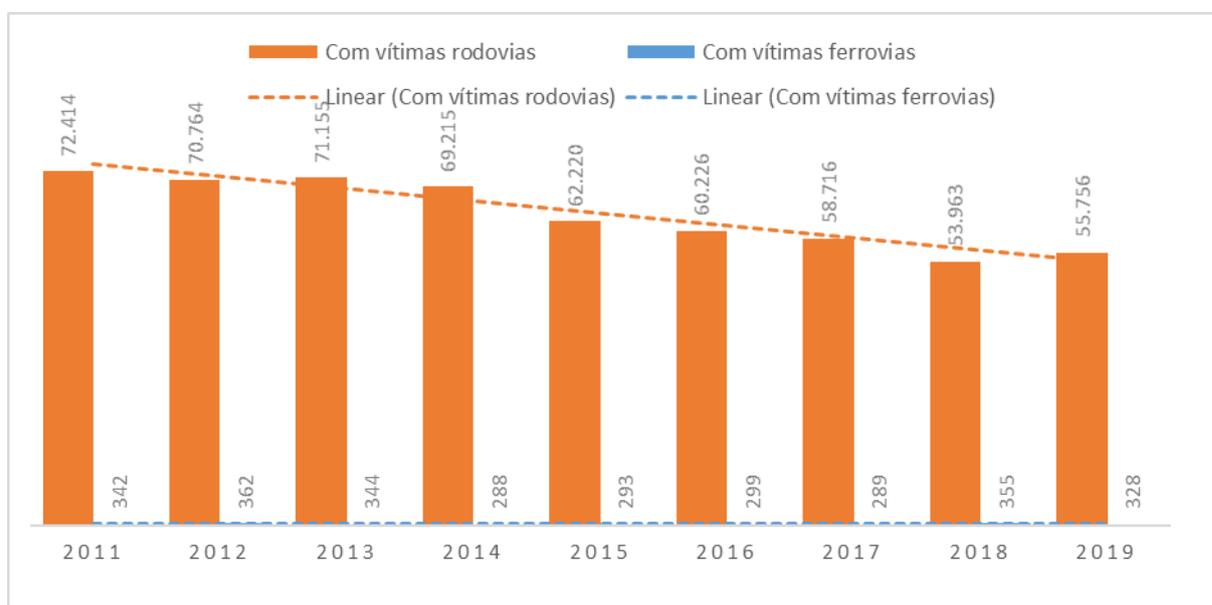
Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da CNT (2022a, p. 03) e ANTT (2020, *apud* MIGUEL, 2020, p. 212).

Os resultados apresentados no Quadro 12 mostram, de forma positiva, que os números totais de acidentes oriundos das rodovias brasileiras apresentam-se decrescentes ao longo dos últimos anos, comportamento comprovado pela linha de tendência linear traçada no Gráfico 16. Houve uma redução de 65% no número destes acidentes em 2019 – 67.427 acidentes contabilizados em 2019 – quando comparado com o ano de 2011, período com número mais expressivo de acidentes dentro do intervalo de análise – 192.322 acidentes contabilizados em 2011.

No entanto, observou-se o fato negativo de que estes números totais de acidentes registrados nas rodovias se apresentam de forma acentuada quando comparados aos números totais de acidentes registrados nas ferrovias brasileiras. Este fator torna-se claro ao somar os acidentes totais das rodovias aos das ferrovias em cada ano separadamente, e então, a partir da divisão de cada quantitativo de acidentes pela soma mencionada de seus anos, apresentam-se suas respectivas porcentagens conforme detalhado no Quadro 12. Os números totais de acidentes registrados nas ferrovias se encontravam em uma decrescente de menor intensidade entre 2011 e 2016, mostrando estagnação deste último ano até 2019, com todos os casos abaixo de 2% do total de acidentes entre rodovias e ferrovias.

Em seguida, são apresentados os resultados dos dados quantitativos de acidentes com vítimas em rodovias x acidentes com vítimas em ferrovias entre os anos de 2011 e 2019 no Gráfico 17, e posteriormente no Quadro 13.

Gráfico 17 – Acidentes com vítimas em rodovias x acidentes com vítimas em ferrovias entre 2011 e 2019.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da CNT (2022a, p. 03) e ANTT (2020, *apud* MIGUEL, 2020, p. 213).

Quadro 13 – Acidentes com vítimas em rodovias x acidentes com vítimas em ferrovias entre 2011 e 2019.

Ano	Acidentes totais	Com vítimas rodovias	Percentual	Com vítimas ferrovias	Percentual
2011	72.756	72.414	99,53%	342	0,47%
2012	71.126	70.764	99,49%	362	0,51%
2013	71.499	71.155	99,52%	344	0,48%
2014	69.503	69.215	99,59%	288	0,41%
2015	62.513	62.220	99,53%	293	0,47%
2016	60.525	60.226	99,51%	299	0,49%
2017	59.005	58.716	99,51%	289	0,49%
2018	54.318	53.963	99,35%	355	0,65%
2019	56.084	55.756	99,42%	328	0,58%

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da CNT (2022a, p. 03) e ANTT (2020, *apud* MIGUEL, 2020, p. 213).

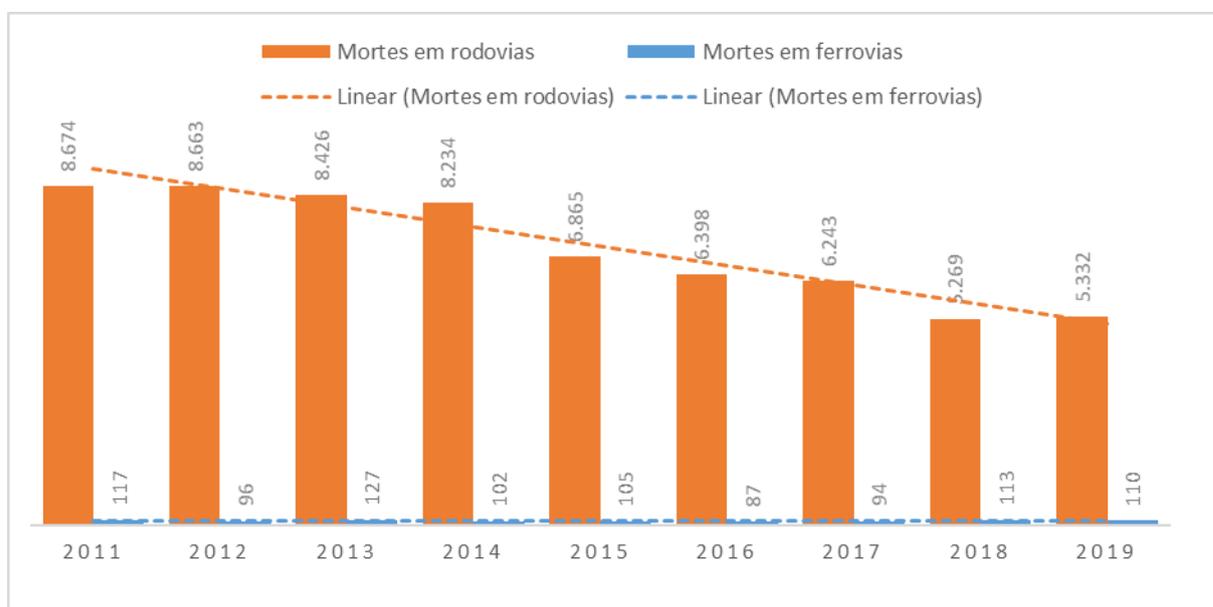
A partir dos resultados apresentados no Quadro 13, foi possível observar o fato positivo de que os números totais de acidentes envolvendo vítimas registrados nas rodovias brasileiras apresentam-se decrescentes ao longo dos últimos anos, comportamento comprovado também pela linha de tendência linear traçada no Gráfico 17. Houve uma redução de 23% no número destes acidentes em 2019 –

55.756 acidentes contabilizados em 2019 – quando comparado com o ano de 2011, período com número mais expressivo de acidentes dentro do intervalo de análise – 72.414 acidentes contabilizados em 2011.

Por outro lado, um fato negativo observado foi que estes números se apresentam de forma acentuada quando comparados aos números totais de acidentes envolvendo vítimas registrados nas ferrovias brasileiras. Este fator torna-se claro ao somar os acidentes envolvendo vítimas das rodovias aos das ferrovias em cada ano separadamente, e então, a partir da divisão de cada quantitativo de acidente pela soma mencionada de seus anos, apresentam-se suas respectivas porcentagens conforme detalhado no Quadro 13. Os números totais de acidentes envolvendo vítimas registrados nas ferrovias encontram-se estagnados entre 2011 até 2019, com todos os casos abaixo de 1% do total de acidentes com vítimas entre rodovias e ferrovias.

Em seguida, são apresentados os resultados dos dados quantitativos de mortes em rodovias x mortes em ferrovias entre os anos de 2011 e 2019 no Gráfico 18, e posteriormente no Quadro 14.

Gráfico 18 – Mortes em rodovias x mortes em ferrovias entre 2011 e 2019.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da CNT (2022a, p. 04) e ANTT (2020, *apud* MIGUEL, 2020, p. 213).

Quadro 14 – Mortes em rodovias x mortes em ferrovias entre 2011 e 2019.

Ano	Mortes totais	Mortes em rodovias	Percentual	Mortes em ferrovias	Percentual
2011	8.791	8.674	98,67%	117	1,33%
2012	8.759	8.663	98,90%	96	1,10%
2013	8.553	8.426	98,52%	127	1,48%
2014	8.336	8.234	98,78%	102	1,22%
2015	6.970	6.865	98,49%	105	1,51%
2016	6.485	6.398	98,66%	87	1,34%
2017	6.337	6.243	98,52%	94	1,48%
2018	5.382	5.269	97,90%	113	2,10%
2019	5.442	5.332	97,98%	110	2,02%

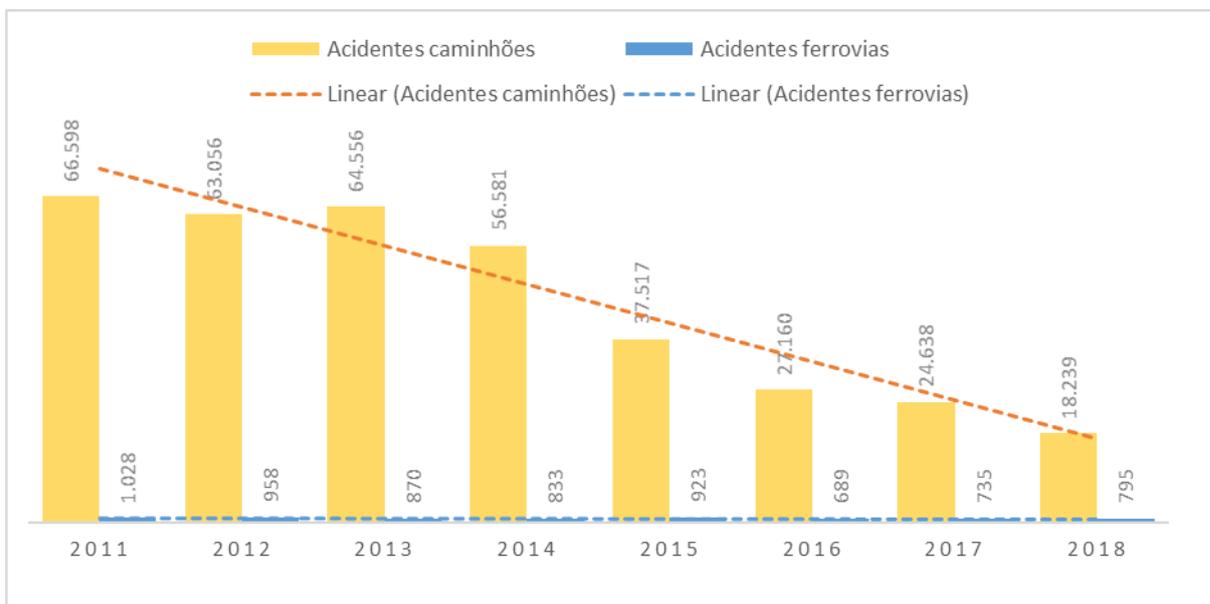
Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da CNT (2022a, p. 04) e ANTT (2020, *apud* MIGUEL, 2020, p. 213).

Nota-se que os números totais de mortes registrados nas rodovias brasileiras apresentam-se decrescentes – Quadro 14 – ao longo dos últimos anos, comportamento comprovado pela linha de tendência linear, evidenciada no Gráfico 18. Houve uma redução de 38,5% no número de mortes em 2019 – 5.332 mortes contabilizadas em 2019 – quando comparado com o ano de 2011, período com número mais expressivo de mortes dentro do intervalo de análise – 8.674 mortes contabilizadas em 2011.

Outro fato a se observar, negativo, é que estes números novamente apresentam-se de forma acentuada quando comparados aos números totais de mortes registradas nas ferrovias brasileiras. Este fator torna-se claro ao somar as mortes em rodovias às das ferrovias em cada ano separadamente, e então, a partir da divisão de cada quantitativo de mortes pela soma mencionada de seus anos, apresentam-se suas respectivas porcentagens conforme detalhado no Quadro 14. Os números totais de mortes registradas nas ferrovias encontram-se estagnados entre 2011 até 2018, com todos os casos abaixo de 3% do total de mortes entre rodovias e ferrovias.

Em seguida, são apresentados os resultados dos dados quantitativos de acidentes envolvendo pelo menos um caminhão em rodovias x acidentes totais ferroviários, entre os anos de 2011 e 2018 no Gráfico 19, e posteriormente no Quadro 15.

Gráfico 19 – Acidentes com pelo menos um caminhão x acidentes ferroviários entre 2011 e 2018.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da CNT (2019a, p. 38) e ANTT (2020, *apud* MIGUEL, 2020, p. 212).

Quadro 15 – Acidentes com pelo menos um caminhão x acidentes ferroviários entre 2011 e 2018.

Ano	Acidentes totais	Acidentes caminhões	Percentual	Acidentes ferroviários	Percentual
2011	67.626	66.598	98,48%	1.028	1,52%
2012	64.014	63.056	98,50%	958	1,50%
2013	65.426	64.556	98,67%	870	1,33%
2014	57.414	56.581	98,55%	833	1,45%
2015	38.440	37.517	97,60%	923	2,40%
2016	27.849	27.160	97,53%	689	2,47%
2017	25.373	24.638	97,10%	735	2,90%
2018	19.034	18.239	95,82%	795	4,18%

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da CNT (2019a, p. 38) e ANTT (2020, *apud* MIGUEL, 2020, p. 212).

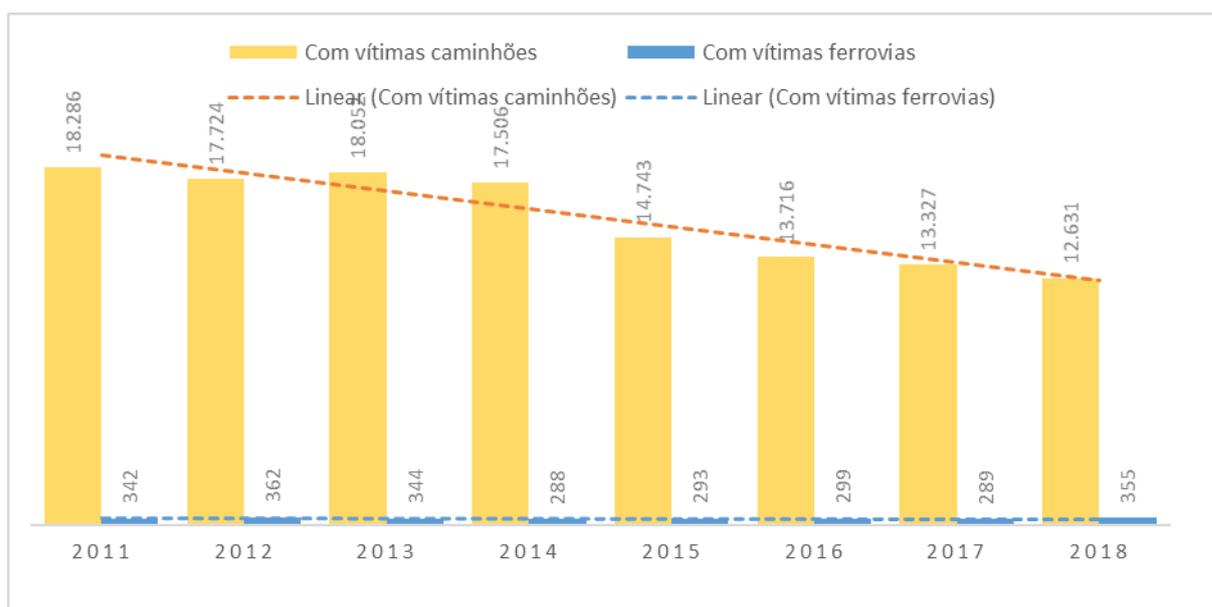
Os resultados apresentados no Quadro 15 mostram, de forma positiva, que os números totais de acidentes registrados com, pelo menos, um caminhão, oriundos das rodovias brasileiras apresentam-se decrescentes ao longo dos últimos anos, comportamento comprovado pela linha de tendência linear traçada no Gráfico 19. Houve uma redução de 72,5% no número destes acidentes em 2018 – 18.239 acidentes contabilizados em 2018 – quando comparado ao ano de 2011, período

com número mais expressivo de acidentes dentro do intervalo de análise – 66.598 acidentes contabilizados em 2011.

No entanto, observou-se o fato negativo de que estes números totais de acidentes registrados com, pelo menos, um caminhão nas rodovias, se apresentam de forma acentuada quando comparados aos números totais de acidentes registrados nas ferrovias brasileiras. Este fator torna-se claro ao somar os acidentes com pelo menos um caminhão aos das ferrovias em cada ano separadamente, e então, a partir da divisão de cada quantitativo de acidentes pela soma mencionada de seus anos, apresentam-se suas respectivas porcentagens conforme detalhadas no Quadro 15. Os números totais de acidentes registrados nas ferrovias encontravam-se em uma decrescente mais branda do ano de 2011 até 2016, mostrando estagnação deste último até o ano de 2018, com todos os casos apresentando-se abaixo de 5% do total de acidentes entre caminhões e ferrovias.

Em seguida, são apresentados os resultados dos dados quantitativos de acidentes com vítimas envolvendo pelo menos um caminhão em rodovias x acidentes com vítimas em ferrovias entre os anos de 2011 e 2018 no Gráfico 20, e posteriormente no Quadro 16.

Gráfico 20 – Acidentes com vítimas com pelo menos um caminhão x acidentes com vítimas em ferrovias entre 2011 e 2018.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da CNT (2019a, p. 39) e ANTT (2020, *apud* MIGUEL, 2020, p. 213).

Quadro 16 – Acidentes com vítimas com pelo menos um caminhão x acidentes com vítimas em ferrovias entre 2011 e 2018.

Ano	Acidentes totais	Com vítimas caminhões	Percentual	Com vítimas ferrovias	Percentual
2011	18.628	18.286	98,16%	342	1,84%
2012	18.086	17.724	98,00%	362	2,00%
2013	18.396	18.052	98,13%	344	1,87%
2014	17.794	17.506	98,38%	288	1,62%
2015	15.036	14.743	98,05%	293	1,95%
2016	14.015	13.716	97,87%	299	2,13%
2017	13.616	13.327	97,88%	289	2,12%
2018	12.986	12.631	97,27%	355	2,73%

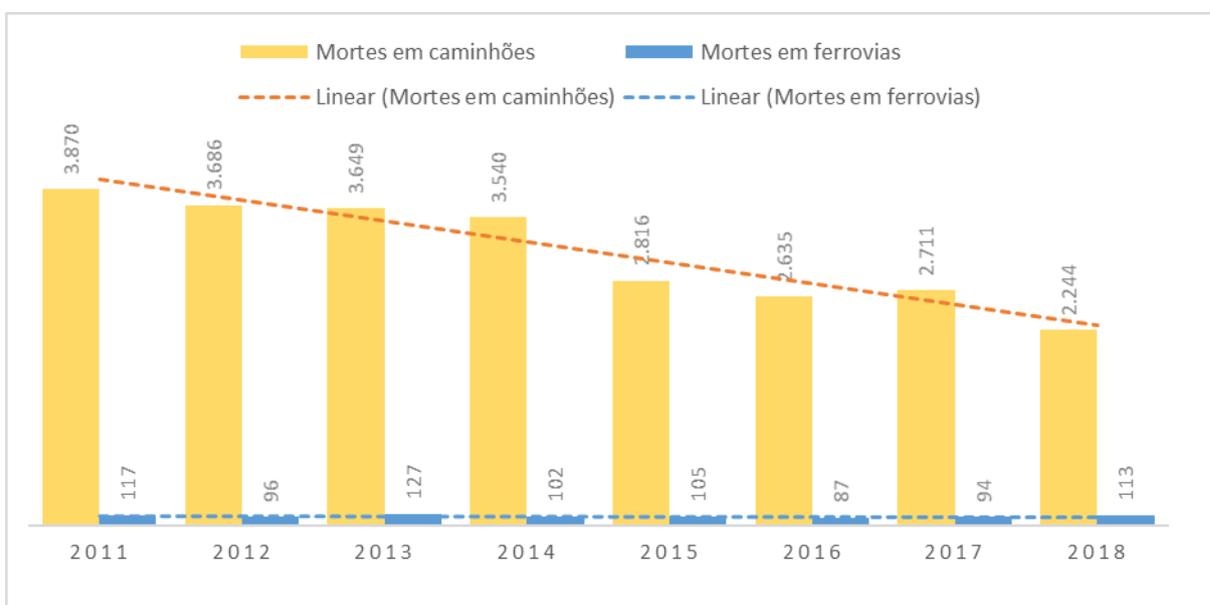
Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da CNT (2019a, p. 39) e ANTT (2020, *apud* MIGUEL, 2020, p. 213).

A partir dos resultados apresentados no Quadro 16, foi possível analisar o fato positivo de que os números totais de acidentes envolvendo vítimas com, pelo menos, um caminhão, registrados nas rodovias brasileiras apresentam-se decrescentes ao longo dos últimos anos, comportamento comprovado também pela linha de tendência linear traçada no Gráfico 20. Houve uma redução de 30,9% no número destes acidentes em 2018 – 12.631 acidentes contabilizados em 2018 – quando comparado com o ano de 2011, período com número mais expressivo de acidentes dentro do intervalo de análise – 18.286 acidentes contabilizados em 2011.

Por outro lado, um fato negativo observado foi que estes números se apresentam de forma acentuada quando comparados aos números totais de acidentes envolvendo vítimas registrados nas ferrovias brasileiras. Este fator torna-se claro ao somar os acidentes com vítimas com pelo menos um caminhão aos das ferrovias em cada ano separadamente, e então, a partir da divisão de cada quantitativo de acidente pela soma mencionada de seus anos, apresentam-se suas respectivas porcentagens conforme detalhado no Quadro 16. Os números totais de acidentes envolvendo vítimas registrados nas ferrovias encontram-se estagnados entre 2011 até 2018, com todos os casos estando abaixo de 3% do total de acidentes com vítimas entre caminhões e ferrovias.

Em seguida, são apresentados os resultados dos dados quantitativos de mortes envolvendo pelo menos um caminhão em rodovias x mortes em ferrovias entre os anos de 2011 e 2018 no Gráfico 21, e posteriormente no Quadro 17.

Gráfico 21 – Mortes com pelo menos um caminhão x mortes em ferrovias entre 2011 e 2018.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da CNT (2019a, p. 41) e ANTT (2020, *apud* MIGUEL, 2020, p. 213).

Quadro 17 – Mortes com pelo menos um caminhão x mortes em ferrovias entre 2011 e 2018.

Ano	Mortes totais	Mortes em caminhões	Percentual	Mortes em ferrovias	Percentual
2011	3.987	3.870	97,07%	117	2,93%
2012	3.782	3.686	97,46%	96	2,54%
2013	3.776	3.649	96,64%	127	3,36%
2014	3.642	3.540	97,20%	102	2,80%
2015	2.921	2.816	96,41%	105	3,59%
2016	2.722	2.635	96,80%	87	3,20%
2017	2.805	2.711	96,65%	94	3,35%
2018	2.357	2.244	95,21%	113	4,79%

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da CNT (2019a, p. 41) e ANTT (2020, *apud* MIGUEL, 2020, p. 213).

Nota-se que os números totais de mortes com, pelo menos, um caminhão, registrados nas rodovias brasileiras apresentam-se decrescentes – Quadro 17 – ao longo dos últimos anos, comportamento comprovado pela linha de tendência linear, evidenciada no Gráfico 21. Houve uma redução de 42% no número de mortes em 2018 – 2.244 mortes contabilizadas em 2018 – quando comparado com o ano de

2011, período com número mais expressivo de mortes dentro do intervalo de análise – 3.870 mortes contabilizadas em 2011.

Outro fato a se observar, negativo, é que estes números novamente apresentam-se de forma acentuada quando comparados aos números totais de mortes registradas nas ferrovias brasileiras. Este fator torna-se claro ao somar as mortes com pelo menos um caminhão às das ferrovias em cada ano separadamente, e então, a partir da divisão de cada quantitativo de mortes pela soma mencionada de seus anos, apresentam-se suas respectivas porcentagens conforme detalhado no Quadro 17. Os números totais de mortes registradas nas ferrovias encontram-se estagnados entre 2011 até 2018, com todos os casos estando abaixo de 5% do total de mortes entre caminhões e ferrovias.

#### **4.3.2 Combinação, análise e comparação dos acidentes e mortes dentre ambos os modais x extensões totais de suas respectivas malhas para o ano de 2019**

Com base nos resultados obtidos a partir das pesquisas e estudos técnicos abordados anteriormente, foi possível combinar, analisar e comparar os dados elencados, referentes as extensões totais das malhas dos modais rodoviário e ferroviário pelos acidentes e mortes originados nestas, dados estes restringidos para o ano de 2019 conforme disponibilizados nas pesquisas realizadas.

Em seguida, o comparativo da extensão total de cada malha x acidentes ocorridos em cada um dos modais, anteriormente abordados, foram apresentados conforme ilustrado no Quadro 18.

Quadro 18 – Extensão da malha em km x acidentes dentre ambos os modais em 2019.

Modal	Extensão da malha em km	Acidentes	Combinação da extensão em km por acidentes
Rodoviário	1.720.700	67.427	25,52
Ferrovário	31.299	775	40,39

Fonte: Elaborado pelo autor.

Através dos resultados apresentados no Quadro 18, foi possível analisar o comportamento existente em suas combinações, a partir do momento em que são divididos os fatores da extensão total de cada malha pelos acidentes originados

nelas. Diante disso, é evidenciado que os acidentes rodoviários são mais comuns do que os acidentes ferroviários frente às suas extensões. Estatisticamente, a cada 25,52 km de extensão de rodovias ocorre um acidente, enquanto nas ferrovias esse número é de um acidente a cada 40,39 km, ou seja, uma diferença de 14,87 km entre suas ocorrências.

Em seguida, o comparativo da extensão total de cada malha x mortes ocorridas em cada um dos modais, anteriormente abordados, foram apresentados conforme ilustrado no Quadro 19.

Quadro 19 – Extensão da malha em km x mortes dentre ambos os modais em 2019.

Modal	Extensão da malha em km	Mortes	Combinação da extensão em km por mortes
Rodoviário	1.720.700	5.332	322,71
Ferroviário	31.299	110	284,54

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com base nos dados fornecidos no Quadro 19, foi realizada uma análise das combinações existentes, dividindo os fatores da extensão total de cada malha pelo número de mortes ocorridas. Essa análise revela que as mortes em ferrovias são mais frequentes em comparação com as mortes em rodovias, considerando suas respectivas extensões. Estatisticamente, a cada 322,71 km de extensão de rodovias ocorre uma morte, enquanto nas ferrovias esse número é de uma morte a cada 284,54 km, representando uma diferença de 38,18 km entre as ocorrências. Esses dados ocorrem em uma frequência menor quando comparados aos dos acidentes gerais, mas dada sua gravidade, necessitam de atenção especial por parte dos órgãos fiscalizadores governamentais.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir das informações analisadas no presente trabalho, é possível inferir que diante da combinação entre os custos construtivos por km e as toneladas transportadas, o modal ferroviário possui um custo mais baixo por tonelada, o que indica um maior benefício em termos de eficiência de transporte. Nas regiões norte, nordeste e centro-oeste, as rodovias apresentaram um custo médio de construção cerca de 26% menor do que as ferrovias. No entanto, as ferrovias transportam anualmente 52% a mais de toneladas em comparação com as rodovias. Quando considerada toda a vida útil de cada modal, que é de 10 anos para as rodovias e 33 anos para as ferrovias, constatou-se que as ferrovias transportam 82% a mais de toneladas do que as rodovias, com um custo construtivo por tonelada 72% menor. Essa análise abrangente evidencia que, mesmo com um custo de construção mais elevado, as ferrovias oferecem um custo benefício significativo, permitindo o transporte de uma quantidade expressiva de toneladas ao longo do tempo, e, a partir disso, tornando seu investimento de implantação mais vantajoso.

Ao analisar os custos médios de manutenção por conservação, observou-se que as ferrovias possuem uma vantagem de 10% em relação às rodovias. A relação entre os custos de manutenção e as toneladas transportadas anualmente reforçou essa vantagem, revelando uma diferença de 59% nos custos de conservação por tonelada transportada, favorecendo as ferrovias. Além disso, como evidenciado anteriormente, as ferrovias se destacam ao oferecer uma maior otimização na quantidade de carga transportada em comparação com as rodovias. Essa conclusão foi alcançada ao combinar os custos de conservação com as toneladas transportadas em cada modal e realizar uma comparação entre eles.

Com base na análise realizada frente aos custos de transporte por tonelada, foi revelado que o transporte rodoviário apresenta custos mais altos em distâncias superiores a 75 km, destacando a vantagem econômica do modal ferroviário em termos de eficiência de transporte. Ao considerar os custos por km percorrido, verificou-se novamente que o transporte rodoviário se torna mais caro a partir de 75 km percorridos, com custos médios aproximadamente R\$ 0,13 mais altos nos intervalos de 750 km a 5000 km em comparação ao transporte ferroviário. Essa diferença representa um custo aproximadamente 3,1 vezes maior para o modal rodoviário, confirmando a viabilidade econômica do transporte ferroviário em

distâncias mais longas. Esses resultados destacam a importância de considerar a distância percorrida ao decidir pelo modal de transporte mais adequado, visando otimizar os custos logísticos. O transporte ferroviário se mostra vantajoso em termos de custo-benefício, especialmente em trajetos de longa distância com grandes volumes de cargas transportadas, proporcionando economias significativas em comparação ao transporte rodoviário.

Frente aos dados estatísticos sobre acidentes e mortes, os resultados revelaram uma diminuição significativa nos acidentes totais nas rodovias brasileiras ao longo dos anos, com uma redução de 65% entre 2011 e 2019. Por outro lado, os acidentes nas ferrovias apresentaram uma redução menos expressiva, especialmente entre 2016 e 2019, mas ainda representaram menos de 2% do total de acidentes de sua combinação com as rodovias. Da mesma forma, os acidentes com vítimas nas rodovias mostraram uma tendência decrescente, com uma redução de 23% em 2019 em comparação a 2011, enquanto os acidentes com vítimas nas ferrovias permaneceram estáveis, representando menos de 1% do total de acidentes com vítimas entre ambos os modais. Em relação às mortes, houve uma diminuição de 38,5% nas mortes nas rodovias em 2019 em comparação a 2011, enquanto as mortes nas ferrovias permaneceram estáveis, representando menos de 3% do total de mortes combinadas entre rodovias e ferrovias.

No que diz respeito aos acidentes envolvendo pelo menos um caminhão, foi constatada uma redução significativa de 72,5% destes acidentes entre 2011 e 2018. No entanto, os acidentes nas ferrovias apresentaram uma redução menor, representando menos de 5% do total de acidentes entre ambos. Da mesma forma, os acidentes com vítimas envolvendo pelo menos um caminhão nas rodovias mostraram uma tendência decrescente, com uma redução de 30,9% em 2018 em relação a 2011, enquanto os acidentes com vítimas nas ferrovias permaneceram estáveis, representando menos de 3% do total de acidentes com vítimas entre eles. Por sua vez, o número de mortes envolvendo pelo menos um caminhão encontrou-se em uma decrescente de 42% no período de 2011 a 2018, com as mortes em ferrovias apresentando números estáveis, representando 5% a menos do total de mortes oriundas da combinação entre caminhões e ferrovias.

Apesar da redução nos números de acidentes, vítimas e mortes nas rodovias, ainda existe uma disparidade significativa em comparação com as ferrovias, destacando a necessidade contínua de investimentos e aprimoramentos para

garantir a segurança viária em todo o país, tanto no modal rodoviário quanto no ferroviário. Os acidentes são mais frequentes nas rodovias em relação às suas extensões, com um acidente a cada 25,52 km, enquanto nas ferrovias esse número é de um acidente a cada 40,39 km. Em relação às mortes, foi observado que as ferrovias registraram um número maior de mortes em relação à extensão. Estatisticamente, a cada 322,71 km de rodovias ocorre uma morte, enquanto nas ferrovias esse número é de uma morte a cada 284,54 km, representando uma diferença de 38,18 km entre as ocorrências. Embora as mortes sejam menos frequentes do que os acidentes gerais, sua gravidade novamente exige uma atenção especial por parte das autoridades responsáveis pela fiscalização e segurança viária, com o objetivo de reduzir ao máximo esses números.

Ademais, com base nas informações combinadas, comparadas e analisadas, o modal ferroviário emerge como uma opção de investimento mais promissora. As análises revelaram que os custos construtivos por km por cada tonelada transportada pelas ferrovias são mais baixos. Além disso, o transporte ferroviário se mostra mais vantajoso em distâncias superiores a 75 km, com custos inferiores aos do transporte rodoviário. A segurança também é um fator a ser considerado, já que as ferrovias apresentam uma redução nos acidentes e mortes em comparação com as rodovias. Portanto, investir no desenvolvimento do modal ferroviário oferece benefícios econômicos e melhoria na segurança viária, tornando-se uma opção mais atrativa para o presente e o futuro.

## 5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Por fim, elencaram-se recomendações de assuntos relevantes para estudos futuros, relacionados diretamente aos modais rodoviário e ferroviário do Brasil. Esses tópicos, listados a seguir, são de extrema importância para análises e estudos comparativos entre os dois modais.

- Projeções de investimentos futuros nas infraestruturas dos modais rodoviário e ferroviário;
- Qual malha gera menos danos ambientais em sua implantação;
- Otimização da utilização combinada de todos os modais de transporte de cargas, enfatizando as estimativas ideais de percentuais de utilização para cada modalidade;

- Realização de uma análise comparativa de custos de transporte entre rodovias e ferrovias, considerando os custos de pedágio para uma rota específica no modal rodoviário;
- Indicativos das razões pelas quais houveram reduções nos números de acidentes e mortes nas rodovias e estabilizações destes números para as ferrovias;
- Mapeamento dos portos brasileiros, destacando se possuem conexão com os modais rodoviário e ferroviário.

## REFERÊNCIAS

ALVARENGA, Antonio Carlos; NOVAES, Antonio Galvão N. **Logística aplicada: suprimento e distribuição física**. 3. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2000.

ALVES, Carlos Eduardo Lopes *et al.* Avaliação do ciclo de vida do produto: com foco em trilhos ferroviários. **Braz Cubas Educação: Diálogos interdisciplinares**, [s. l.], v. 8, n. 6, p. 71-94, 2019.

ANTF – Associação Nacional dos Transportes Ferroviários. **Mapa ferroviário**. Brasília-DF: ANTF, [2022?]. 1 mapa, color. Escala: 1:25000000. Disponível em: [https://www.antf.org.br/\\_uploads/2021/06/Mapa-Site-VF.pdf](https://www.antf.org.br/_uploads/2021/06/Mapa-Site-VF.pdf). Acesso em: 24 nov. 2022.

ARAÚJO, Alécio dos Santos; CRUZ, Cassia Maria Santos; CRUZ, Katia Aparecida da; BARRETO, Jeferson de Matos; GERIBELLO, Renato Sabino; AMARANTE, Mayara dos Santos. Modais de transporte no Brasil. **Revista Pesquisa e Ação**, [s. l.], v. 5, n. 2, p. 1-27, jun. 2019. Disponível em: <https://revistas.brazcubas.br/index.php/pesquisa/article/view/657/710>. Acesso em: 09 set. 2022.

ASSIS, Ana Carolina Velloso *et al.* Ferrovias de carga brasileiras: uma análise setorial. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 46, p. 79-126, set. 2017. Disponível em: <http://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/14136>. Acesso em 27 out. 2022

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 7590**: trilho vignole: requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 7650**: trilho: terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 1982.

BALLOU, Ronald H. **Logística empresarial: transporte, administração de materiais e distribuição física**. 5ª ed. Porto Alegre: Bookman. 2006.

BATALHA, Mário Otávio *et al.* **Gestão agroindustrial**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 1997.

BERNUCCI, Liedi Bariani *et al.* **Pavimentação Asfáltica**: formação básica para engenheiros. 3. ed. Rio de Janeiro: Petrobras; ABEDA, 2008.

BOLETINS TÉCNICOS CNT, Março de 2023. Brasília-DF: CNT, 21 mar. 2023. Disponível em: <https://www.cnt.org.br/boletins>. Acesso em: 18 mai. 2023.

BORGES, Mário Caixeta. **Estudo da capacidade de carga por trilho na FCA – VLI – trecho Patrocínio/Araxá**. 2018. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Centro Universitário do Cerrado Patrocínio, Patrocínio, 2018. Disponível em: <https://www.unicerp.edu.br/ensino/cursos/engenhariacivil/monografias/2018/ESTUDODACAPACIDADEDECARGA.pdf>. Acesso em: 03 nov. 2022.

BORGES NETO, Camilo. **Manual didático de ferrovias**. Universidade Federal do Paraná, 2012. E-book. Disponível em: <https://c487c27585.clvaw->

cdnwnd.com/0d16f92baaaa598c13d9bb84d71da246/200000810-234e324470/APOSTILA\_MANUAL\_DIDATICO\_DE\_FERROVIAS\_UFPR\_2012.pdf. Acesso em: 18 mai. 2023.

BRASIL. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). **Manual de Pavimentação Rodoviária**. Rio de Janeiro: DNIT, 2006. Disponível em: <https://marcosporto.eng.br/wp-content/uploads/2018/02/Manual-de-Pavimentacao-719-DNIT-2006.pdf>. Acesso em: 15 out. 2022.

BRASIL. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes (DNIT). **Norma DNIT 005/2003 – Ter: defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos: terminologia**. Rio de Janeiro: DNIT, 2003. Disponível em: [https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/terminologia-ter/dnit\\_005\\_2003\\_ter-1.pdf](https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/terminologia-ter/dnit_005_2003_ter-1.pdf). Acesso em: 15 out. 2022.

CAVALET, Victor N. *et al.* Análise comparativa do custo-benefício entre pavimentos flexíveis em concreto asfáltico e pavimentos rígidos em concreto de cimento portland aplicado em rodovia de alto tráfego. *In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO E TRANSPORTE DA ANPET*, 33., 2019, Balneário Camboriú. **Anais**. Balneário Camboriú: Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes (ANPET), 2019. p. 1246-1257. Disponível em: [https://www.anpet.org.br/anais/documentos/2019/Infraestrutura/Dimensionamento,%20Avalia%C3%A7%C3%A3o%20e%20Gest%C3%A3o%20de%20Pavimentos%20III/1\\_719\\_AC.pdf](https://www.anpet.org.br/anais/documentos/2019/Infraestrutura/Dimensionamento,%20Avalia%C3%A7%C3%A3o%20e%20Gest%C3%A3o%20de%20Pavimentos%20III/1_719_AC.pdf). Acesso em: 27 out. 2022.

COLAVITE, Alessandro Serrano; KONISHI, Fabio. A matriz do transporte no Brasil: uma análise comparativa para a competitividade. *In: SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA (SEGeT)*, 12., 2015, Resende. **Anais eletrônicos** [...]. Resende: Associação Educacional Dom Bosco (AEDB), 2015. Disponível em: [www.aedb.br/seget/arquivos/artigos15/802267.pdf](http://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos15/802267.pdf). Acesso em: 01 abr. 2023.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT). **Acidentes e mortes nas rodovias federais aumentam em 2021 e geram um custo estimado de R\$ 12 bilhões**. Brasília, DF: CNT, 2022b. Disponível em: <https://www.cnt.org.br/agencia-cnt/acidentes-e-mortes-nas-rodovias-federais-aumentam-em-2021>. Acesso em: 05 out. 2022.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT). **Acidentes rodoviários: estatísticas envolvendo caminhões**. Brasília: CNT, 2019a. Disponível em: <https://cnt.org.br/acidentes-rodoviarior-caminhoes>. Acesso em: 05 nov. 2022.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT). **Anuário CNT do transporte: estatísticas consolidadas: apresentação**. Brasília-DF: CNT, 2021b. Disponível em: <https://anuariodotransporte.cnt.org.br/2021/Apresentacao>. Acesso em: 01 nov. 2022.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT). **Anuário CNT do Transporte: principais dados**. Brasília, DF, 2021a. Disponível em:

[https://anuariodotransporte.cnt.org.br/2021/File/Fer/FER\\_2\\_1\\_1.xlsx](https://anuariodotransporte.cnt.org.br/2021/File/Fer/FER_2_1_1.xlsx). Acesso em: 27 nov. 2022.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT). **Brasil tem método antigo para dimensionar o pavimento**. Brasília-DF: CNT, 2017a. Disponível em: <https://www.cnt.org.br/agencia-cnt/brasil-tem-metodo-antigo-para-dimensionar-o-pavimento>. Acesso em: 18 abr. 2023.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT). **CNT lança painel sobre acidentes rodoviários; veja os principais dados**. Brasília, DF, 2019b. Disponível em: <https://www.cnt.org.br/agencia-cnt/cnt-lanca-painel-sobre-acidentes-rodoviaros-veja-principais-dados>. Acesso em: 08 set. 2022.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT). **Custo logístico consome 12,7% do PIB do Brasil**. Brasília-DF: CNT, 2016. Disponível em: <https://www.cnt.org.br/agencia-cnt/custo-logistico-consome-12-do-pib-do-brasil>. Acesso em: 15 set. 2022.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT). **Painel CNT de acidentes rodoviários: principais dados - 2021**. Brasília-DF: CNT, 2022a. Disponível em: <https://www.cnt.org.br/painel-acidente>. Acesso em: 29 nov. 2022.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT). **Transporte de Cargas no Brasil: Ameaças e Oportunidades para o desenvolvimento do País: diagnóstico e plano de ação**. Brasília: CNT, [2022?]. Disponível em: <https://portal.tcu.gov.br/biblioteca-digital/transporte-de-cargas-no-brasil-ameacas-e-oportunidades-para-o-desenvolvimento-do-pais.htm>. Acesso em: 12 out.2022.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT). **Transporte rodoviário: por que os pavimentos das rodovias do Brasil não duram?** Brasília, DF: CNT, 2017b. Disponível em: <https://cnt.org.br/por-que-pavimentos-rodovias-nao-duram>. Acesso em: 26 out. 2022.

Coordenação-Geral de Planejamento e Programação de Investimentos (CGPLAN). Custos médios gerenciais. Brasília-DF: Departamento Nacional de Infra Estrutura de Transportes (DNIT), 2018. Disponível em: [https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/custos-e-pagamentos/custos-e-pagamentos-dnit/custo-medio-gerencial/copy\\_of\\_ANEXOIXCUSTOMDIOGERENCIALJULHO2017.pdf](https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/custos-e-pagamentos/custos-e-pagamentos-dnit/custo-medio-gerencial/copy_of_ANEXOIXCUSTOMDIOGERENCIALJULHO2017.pdf). Acesso em: 27 nov. 2022.

DANTAS, André Augusto Nóbrega; FRAGA, Yuri Sotero Bomfim. Ferrovias no Brasil: Projetos futuros e em andamento. **Research, Society and Development**, São Paulo, v. 10, n. 5, p. 1-8, 2021. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/download/14917/13358/193993>. Acesso em: 23 nov. 2022.

DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO RIO GRANDE DO SUL (DAER/RS). **Agendamento da reunião**. Porto Alegre: DAER/RS, 8 maio 2023. Informação enviada via e-mail - dados essenciais para o desenvolvimento do TCC: aluno Arthur Ledur Fabbris.

DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO RIO GRANDE DO SUL (DAER/RS). **Contagem volumétrica classificatória de tráfego**. Porto Alegre: DAER/RS, [2019?]. Disponível em: <https://www.daer.rs.gov.br/contagem-volumetrica-classificatoria-de-trafego>. Acesso em: 02 mai. 2023 .

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Manual de custos de infraestrutura de transportes**. 1 vol., p.121-126. CGCIT, 2017. Disponível em: [https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/custos-e-pagamentos/custos-e-pagamentos-dnit/sistemas-de-custos/sicro\\_antiga/manuais-de-custos-de-infraestrutura-de-transportes/volume-01-metodologia-e-conceitos.rar/view](https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/custos-e-pagamentos/custos-e-pagamentos-dnit/sistemas-de-custos/sicro_antiga/manuais-de-custos-de-infraestrutura-de-transportes/volume-01-metodologia-e-conceitos.rar/view). Acesso em: 19 mai. 2023 .

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Mapa multimodal**. [S. l.], 2018. 1 mapa color. Escala 1:5.000.000. Disponível em: <http://servicos.dnit.gov.br/dnitcloud/index.php/s/RCtBFGmJxDpiyHE#pdfviewer>. Acesso em: 29 out. 2022.

EIRAS, Diego Henrique Motta *et al.* A importância da composição da massa asfáltica para um bom desempenho. **Revista Teccen**, Vassouras, v. 11, n. 2, p. 65-72, jul/dez. 2018.

ELLER, Rogéria de Arantes Gomes; SOUSA JUNIOR, Wilson Cabral de; CURI, Marcos Lopes Cançado. Custos do transporte de carga no Brasil: rodoviário *versus* ferroviário. **Revista de Literatura dos Transportes**, Manaus, n. 1, v. 5, p. 50-64, 2011. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Rogeria-Eller/publication/50224270\\_Custos\\_do\\_transporte\\_de\\_carga\\_no\\_Brasil\\_rodoviario\\_versus\\_ferroviano/links/546e33740cf2bc99c2154f3f/Custos-do-transporte-de-carga-no-Brasil-rodoviario-versus-ferroviano.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Rogeria-Eller/publication/50224270_Custos_do_transporte_de_carga_no_Brasil_rodoviario_versus_ferroviano/links/546e33740cf2bc99c2154f3f/Custos-do-transporte-de-carga-no-Brasil-rodoviario-versus-ferroviano.pdf). Acesso em: 17 nov. 2022.

EMPRESA DE PLANEJAMENTO E LOGÍSTICA S.A. (EPL). **Metodologia de custos de transporte**. Brasília-DF: INFRA S.A., 2020. Disponível em: <https://portal.epl.gov.br/manual-metodologia-de-custos-de-transporte#>. Acesso em: 11 mai. 2023

FERNANDES, Gilberto. **Comportamento de estruturas de pavimentos ferroviários com utilização de solos finos e/ou resíduos de mineração de ferro associados a geossintéticos**. 2005. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Brasília, DF, 2005.

FERNANDES, Luiz Felipe Dalazen. **Novo modelo de gestão para alocação e controle de equipagens: caso MRS logística S. A.** 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Transporte Ferroviário de Carga) – Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <https://transportes.ime.eb.br/etfc/monografias/MON059.pdf>. Acesso em: 23 nov. 2022.

FILHO, José Moacir de Mendonça; ROCHA, Eider Gomes de Azevedo. Estudo Comparativo entre Pavimentos Flexível e Rígido na Pavimentação Rodoviária. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, São Paulo, ano 3, v. 2, ed. 6, p. 146-163, jun. 2018. Disponível em:

<https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/pavimentos-flexivel>. Acesso em: 27 out. 2022.

GIMENES, Sathya de Camargo Andrade. **Custo Brasil**: ferrovias, rodovias e redirecionamento das exportações. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Relações Internacionais) – Universidade de Brasília, Brasília, 2017. Disponível em: [https://bdm.unb.br/bitstream/10483/19425/1/2017\\_SathyadeCamargoAndradeGimenes.pdf](https://bdm.unb.br/bitstream/10483/19425/1/2017_SathyadeCamargoAndradeGimenes.pdf). Acesso em: 25 abr. 2023.

GRASSIE, Stuart L. Preventive Grinding Controls RCF Defects. **Internacional Railway Journal and Rapid Transit Review**, v. 41, 2001.

HALLACK, Abdo. Competitividade do Pavimento de Concreto. *In*: VIAS CONCRETAS. São Paulo, ago. 2008. Disponível em: [http://viasconcretas.com.br/wp-content/uploads/2019/08/2008\\_competitividade\\_pav\\_concreto\\_abdo\\_hallack.pdf](http://viasconcretas.com.br/wp-content/uploads/2019/08/2008_competitividade_pav_concreto_abdo_hallack.pdf). Acesso em: 20 out. 2022.

HIJJAR, Maria Fernanda. **Logística, soja e comércio internacional**. 2004. Disponível em: <https://www.ilos.com.br/web/logistica-soja-e-comercio-internacional/>. Acesso em: 08 set. 2022.

INFRASA. **[Simulador de Custos de Transporte]**. [S. l.]: Infrasa, [2023]. Disponível em: <https://simuladores.infrasa.gov.br/simuladores/simulador-de-custo-de-transporte/embed>. Acesso em: 05 maio 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE ECONOMIA (IBRE). **[Simulador de Custos Médios Gerenciais]**. [S. l.]: IBRE, c2019. Disponível em: <https://simuladorcmg-ibre.fgv.br/>. Acesso em: 18 maio 2023.

LEITE, Cesar Eduardo. *et al.* (2016). Análise comparativa de custos entre os meios de transporte rodoviário e ferroviário. *In*: CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO, 12., INOVARSE – RESPONSABILIDADE SOCIAL APLICADA, 3., 2016, Rio de Janeiro. **Anais [...]**. Rio de Janeiro, 2016.

LESSA, Daniele. Especial Rodovias – as primeiras estradas brasileiras. *In*: Câmara dos Deputados. Brasília, DF, 2009. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/radio/programas/260157-especial-rodovias-as-principais-estradas-brasileiras-06-49/>. Acesso em: 08 out. 2022.

LIMA NETO, Oswaldo (coord.). *et al.* **Transportes no Brasil: história e reflexões**. Recife, PE: Ed. Universitária da UFPE, 2001.

MACÊDO, Fernanda Bittencourt. **Estudo do desgaste de trilhos ferroviários**. 2009. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2009. Disponível em: [https://www.ufjf.br/ep/files/2009/08/tcc\\_jul2009\\_fernandamacedo.pdf](https://www.ufjf.br/ep/files/2009/08/tcc_jul2009_fernandamacedo.pdf). Acesso em: 09 nov. 2022.

MANUAL – **Metodologia de custos de transporte**. In: INFRA S.A. Brasília-DF, 19 jan. 2020. Disponível em: <https://portal.epl.gov.br/manual-metodologia-de-custos-de-transporte#>. Acesso em: 09 mai. 2023 .

MATTA, Carlos Alberto Martins da. **Informações sobre a ferrovia**. [S. l.], 06 abr. 2023. Informação enviada via e-mail - dados essenciais para o desenvolvimento do TCC: aluno Arthur Ledur Fabbris.

MIGUEL, Daniel Alfredo Alves. Acidentes ferroviários no Brasil: análise comparativa com a União Europeia. *In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTE DA ANPET, 34., 2020, [s. l.]. Anais eletrônicos [...]. [S. l.]: ANPET, 2020, p. 210-221. Disponível em: [https://www.anpet.org.br/anais34/documentos/2020/Aspectos%20Econ%3%B4mic os%20Sociais%20Pol%3%ADticos%20e%20Ambientais%20do%20Transporte/Ge st%3%A3o%20do%20Transporte%20Ferrovi%3%A1rio%20e%20Hidrovi%3%A1 rio/4\\_220\\_AC.pdf](https://www.anpet.org.br/anais34/documentos/2020/Aspectos%20Econ%3%B4mic os%20Sociais%20Pol%3%ADticos%20e%20Ambientais%20do%20Transporte/Ge st%3%A3o%20do%20Transporte%20Ferrovi%3%A1rio%20e%20Hidrovi%3%A1 rio/4_220_AC.pdf). Acesso em: 05 nov. 2022.*

MIGUEL, Daniel Alfredo Alves. Relatório do intercâmbio entre ANTT e ERA: segurança ferroviária. *In: AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES (ANTT). [S. l.], 2018. Disponível em: <https://portal.antt.gov.br/documents/363688/388803/Relat%C3%B3rio+Daniel+Alfred o+Alves+Miguel.pdf/741d03b3-adf7-ce2f-c619-2e4213a6bd07?t=1592175003047>. Acesso em: 07 nov. 2022.*

MOREIRA, Welison Serafim; MARQUES, Jaffer Jael; OLIVEIRA, Jucelaine Lopes de. Diferenças métricas de bitolas: impactos causados nas operações ferroviárias no sudeste brasileiro. *In: FATECLOG OS DESAFIOS DA LOGÍSTICA REAL NO UNIVERSO VIRTUAL, 11., 2020, Bragança Paulista. Anais eletrônicos [...]. Bragança Paulista: FATEC Jornalista Omair Fagundes de Oliveira, 2020. Disponível em: [https://fateclog.com.br/anais/2020/DIFEREN%C3%87AS%20M%C3%89TRICAS%2 0DE%20BITOLAS%20IMPACTOS%20CAUSADOS%20NAS%20OPERA%C3%87% C3%95ES%20FERROVI%C3%81RIAS%20NO%20SUDESTE%20BRASILEIRO\(1\). pdf](https://fateclog.com.br/anais/2020/DIFEREN%C3%87AS%20M%C3%89TRICAS%2 0DE%20BITOLAS%20IMPACTOS%20CAUSADOS%20NAS%20OPERA%C3%87% C3%95ES%20FERROVI%C3%81RIAS%20NO%20SUDESTE%20BRASILEIRO(1). pdf). Acesso em: 17 out. 2022.*

MOSCHETTI, Ricardo. O Pavimento de Concreto é uma Realidade Nacional, Por quê? *In: VIAS CONCRETAS. [S. l.], mai. 2015. Disponível em: <[https://viasconcretas.com.br/wp-content/uploads/2015/09/Pav\\_concreto\\_Ricardo\\_Moschetti.pdf](https://viasconcretas.com.br/wp-content/uploads/2015/09/Pav_concreto_Ricardo_Moschetti.pdf)>. Acesso em: 28 out 2022.*

MUNHOZ, Eduardo Dornelas. **Impacto dos investimentos sobre o valor de fretes rodoviários e ferroviários**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Econômicas) – Universidade de Brasília, Brasília, 2017. Disponível em: [https://bdm.unb.br/bitstream/10483/19887/1/2017\\_EduardoDornelasMunhoz.pdf](https://bdm.unb.br/bitstream/10483/19887/1/2017_EduardoDornelasMunhoz.pdf). Acesso em: 28 abr. 2023 .

PEREIRA, Humberto. Modais de transportes. **Revista Administradores**. [S. l.], p.27-32, fev. 2010. Disponível em: <https://administradores.com.br/artigos/modais-de-transportes>. Acesso em: 09 set. 2022.

PEREIRA, Luiz Andrei Gonçalves; LESSA, Simone Narciso. O processo de planejamento e desenvolvimento do transporte rodoviário no Brasil. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 12, n. 40, p. 26-46, dez. 2011. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/16414/>. Acesso em: 27 set. 2022.

PETRONI, Caio de Vilhena. **Estudo da performance dos diversos tipos de trilhos assentados na via da MRS, critérios de desgaste, fadiga de contato**. 2006. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Transporte Ferroviário de Carga) – Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <https://transportes.ime.eb.br/etfc/monografias/MON028.pdf>. Acesso em: 23 nov. 2022.

PORTO, Telmo Giolito. **PTR 2501: ferrovias**. São Paulo: Escola Politécnica de São Paulo, 2004. Disponível em: <http://sites.poli.usp.br/d/ptr0540/download/ApostilaNova.pdf>. Acesso em: 19 nov. 2022.

PRINCIPAIS dados. *In*: ANUÁRIO CNT do transporte. [S. i.], c2021. Disponível em: <https://anuariodotransporte.cnt.org.br/2021/Rodoviario/1-1-/Principais-dados>. Acesso em: 22 out. 2022.

SEMPREBONE, Paula da Silva, 2005. **Desgastes em Trilhos Ferroviários: Um estudo Teórico**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

SGAVIOLI, Fernando *et al.* Análise do custo do ciclo de vida do lastro ferroviário na estrada de ferro Vitória Minas. **Revista Transportes**, São Paulo, v. 23, n. 4, p. 5-12, 2015.

SILVA, João Vitor. Custo da ferrovia Nova Transnordestina sofrerá aumento, diz presidente da Valec. **Câmara dos deputados**: Agência Câmara Notícias, Brasília-DF, mar. 2016. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/noticias/483303-custo-da-ferrovia-nova-transnordestina-sofrera-aumento-diz-presidente-da-valec/#:~:text=Ele%20afirmou%20que%20o%20custo,R%24%2010%2C5%20bilh%C3%B5es>. Acesso em: 23 nov. 2022.

SOUZA, Diogo Fumagalli; MARKOSKI, Adelar. Competitividade logística do Brasil: Um estudo com base na infraestrutura existente. **Revista de Administração**, v. 10, n. 17, p. 135-144, 2012.

VIAS CONCRETAS, PAVIMENTAÇÃO COM SUSTENTABILIDADE. **Pavimento verde, cada vez mais presente**. [S. l.], [2022?]. Disponível em: <https://viasconcretas.com.br/tecnologia/pavimento-de-concreto/>. Acesso em: 11 nov. 2022.

XAVIER, Rafael de Melo Rezende e Sampaio. **Melhor aproveitamento do intervalo concedido**. 2008. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Transporte Ferroviário de Carga) – Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2008.

Disponível em: <https://transportes.ime.eb.br/etfc/monografias/MON044.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2022.