

**UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO
PROGRAMA DE MESTRADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO OPERACIONAL, FINANCEIRO E AMBIENTAL
EM UMA EMPRESA DE TRANSPORTE FERROVIÁRIO DE CARGAS**

FELLIPE VITUCCI DE LUCCA RIBEIRO

São Paulo

2021

UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO
PROGRAMA DE MESTRADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO OPERACIONAL, FINANCEIRO E AMBIENTAL
EM UMA EMPRESA DE TRANSPORTE FERROVIÁRIO DE CARGAS

FELLIPE VITUCCI DE LUCCA RIBEIRO

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Nove de Julho - UNINOVE, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Geraldo Cardoso de Oliveira Neto

São Paulo

2021



PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

DE

Fellipe Vitucci de Lucca Ribeiro

Título da Dissertação: "Avaliação do Desempenho Operacional, Ambiental e Financeiro em uma Empresa de Transporte Ferroviário de Cargas".

A Comissão examinadora, composta pelos professores abaixo, considera o(a) candidato(a) Fellipe Vitucci de Lucca Ribeiro APROVADO.

São Paulo, 21 de outubro de 2021.

Prof(a). Dr(a). Geraldo Cardoso de Oliveira Neto (UNINOVE / PPGEP) - Orientador

Geraldo Cardoso de Oliveira Neto

Prof(a). Dr(a). João Carlos de Oliveira Matias (Universidade de Aveiro / DEGEIT) - Membro Externo

Assinado por: **JOÃO CARLOS DE OLIVEIRA**

MATIAS

Num. de Identificação: 8108435359

Prof(a). Dr(a). Fabio Henrique Pereira (UNINOVE/PPGEP) - Membro Interno

Fabio Henrique Pereira

Dedico este trabalho a Deus, a minha amada família, a todos os meus queridos professores e amigos e a UNINOVE.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, por me proporcionar saúde e sabedoria.

A minha esposa Rafaela Cristina Sant'anna Horn pela paciência e por sempre estar ao meu lado, me incentivando e apoiando.

A minha filha Mariah Vitucci Horn, pela compreensão nos momentos de ausência e por sempre estar me proporcionando lembranças alegres.

A minha mãe Alexandra Vitucci de Lucca cujo empenho em me criar veio sempre em primeiro lugar. Aqui estão os resultados dos seus esforços.

Ao meu pai Clóvis Ribeiro pelo seu esforço em me proporcionar a melhor educação, sem ele nada seria possível.

As minhas avós, bisavós, tias, tios, primos, primas, padrasto, madrasta, padrinhos e amigos por sempre estarem torcendo por mim.

Ao meu orientador Prof. Dr. Geraldo Cardoso de Oliveira Neto por toda ajuda desde o começo do programa até aqui, um grande parceiro.

Ao Prof. Dr. Aparecido dos Reis Coutinho, pelo suporte no tempo que passamos juntos.

Aos professores Dr. Ricardo Kenji Oi e ao Me. Renato Fares Khalil, por me guiarem e incentivarem ao longo da minha trajetória acadêmica.

Aos colegas e gestores da RUMO Logística e da MRS Logística, pela compreensão e apoio.

A todos os meus amigos, funcionários e professores do PPGEF da UNINOVE que foram essenciais ao longo desta jornada.

Agradeço também a Universidade Nove de Julho pela oportunidade de cursar este programa de Mestrado.

RESUMO

O setor de transportes de cargas é um dos mais relevantes para economia, sendo que a expectativa para os próximos anos é de crescimento, sendo o seu desempenho fundamental para a competitividade e posicionamento de um país no mercado global de importações e exportações. Com relação ao Brasil, o país está consolidado no mercado global de *commodities*, por meio da exportação produtos primários, como os agrícolas e minerais, em que há a tendência de maior utilização de vias férreas. Neste modo torna-se necessário que as ferrovias de cargas busquem uma posição vantajosa no mercado, com relação aos fatores operacionais, econômicos e ambientais. O setor de transporte ferroviário de cargas brasileiro depende fortemente de fontes de energia não renováveis, sendo o óleo diesel o principal combustível utilizado, derivado de petróleo e que traz as diversas preocupações: emissões de gases poluentes, elevados custos e volatilidade de preços. Neste modo, não foi identificado na pesquisa realizada na literatura, trabalhos que analisaram o desempenho operacional, financeiro e ambiental juntos no contexto do transporte ferroviário de cargas, bem como são poucas as pesquisas em países emergentes. Assim o objetivo principal deste trabalho foi em compreender a efetividade e as contribuições proporcionadas por ações de melhorias e resolução de problemas no desempenho operacional, financeiro e ambiental em uma empresa de transporte ferroviário de cargas nas regiões sudeste e centro-oeste do Brasil. A avaliação foi realizada por meio de mapeamento de problemas e verificação das ações para melhoria e resolução de problemas, bem como por meio da análise de indicadores antes e depois da implementação das ações. Os resultados mostraram que as ações de melhorias propostas atingiram uma quantidade satisfatória de problemas, no entanto, a análise dos problemas mostra que nem todos os problemas foram priorizados da mesma forma, faltando mais ações além das que foram realizadas. Já análise dos indicadores indicam evolução nos índices de desempenho operacional e ambiental, já o desempenho financeiro piorou.

Palavras-chave: transporte ferroviário de cargas, desempenho operacional, desempenho financeiro, desempenho ambiental.

ABSTRACT

The cargo transport sector is one of the most relevant for the economy and the expectation for the next years is of growth with its performance being fundamental for the competitiveness and positioning of a country in the global market of imports and exports. Talking about Brazil, the country is consolidated in the global commodities market, through the export of primary products, such as agricultural and mineral products, where there is a tendency towards greater use of railways. In this way, it becomes necessary for freight railways to seek an advantageous position in the market with about operational, economic and environmental factors. The Brazilian rail freight transport sector strongly depends on non-renewable energy sources with diesel oil being the main fuel used, derived from petroleum and which brings several concerns: polluting gas emissions, high costs and price volatility. In this way, it was not identified in the research carried out in the literature, works that analyzed the operational, financial and environmental performance together in the context of freight rail transport and there are few researches in emerging countries. Thus, the main objective of this work was to understand the effectiveness and contributions provided by actions to improve and solve problems in operational, financial and environmental performance in a freight railway company in the Southeast and Midwest regions of Brazil. The evaluation was carried out through problem mapping and verification of actions for improvement and problem solving, as well as through the analysis of indicators before and after the implementation of the actions. The results showed that the proposed improvement actions reached a satisfactory number of problems, however the analysis of the problems shows that not all problems were prioritized in the same way, missing more actions than those that were carried out. The analysis of the indicators shows an evolution in the operational and environmental performance indices, while the financial performance worsened.

Keywords: freight rail, operational performance, financial performance, environmental performance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura do trabalho.....	20
Figura 2 - Matriz de transportes brasileira do ano de 2019.....	24
Figura 3 - Concessões ferroviárias no Brasil.....	25
Figura 4 - Evolução do transporte ferroviário de cargas no Brasil em TU.....	26
Figura 5 - Evolução do transporte ferroviário de cargas no Brasil em TKU – 2006 a 2008.	26
Figura 6 - <i>Buildup</i> seleção de artigos.....	32
Figura 7– Representatividade de artigos que relacionam o desempenho operacional, financeiro e ambiental no contexto do transporte ferroviário de cargas.....	64
Figura 8 – Representatividade de artigos que relacionam o desempenho operacional, financeiro e ambiental no contexto do transporte ferroviário de cargas.....	64
Figura 9 – Quantidade de artigos com relação ao seu ano de publicação.....	65
Figura 10 - Estrutura de um estudo de caso.....	69
Figura 11 - Esquema adaptado de método Prisma.....	72
Figura 12 – Malha ferroviária e concessões da Empresa ABC.....	73
Figura 13 - Exemplo de avaliação de relação entre itens.....	78
Figura 14 - Tipos de linha de circulação.....	82
Figura 15 - Esquema de um ciclo de transporte ferroviário.....	83
Figura 16 – Relação dos problemas com o desempenho operacional, ambiental e financeiro.....	90
Figura 17 tela de supervisão Trip Optimizer.....	94
Figura 18 - Tela de interface homem máquina Trip Optimizer.....	95
Figura 19 - Trecho de linha singela e pátios de cruzamento.....	96
Figura 20 – Trem tipo: comparações.....	97
Figura 21 – Balanço de massa.....	99
Figura 22 - Comparativo entre faturamento convencional e “faturamento 2.0”.....	102
Figura 23 – Tela de interface aplicativo Chave na Mão.....	104
Figura 24 - Simulador de trens.....	105
Figura 25 - Relação das ações com o desempenho operacional, ambiental e financeiro.....	111

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Artigos com relação ao local pesquisado	66
Tabela 2 – Critérios para avaliação e pontuação	77
Tabela 3 - Avaliação quantitativa da relação das ações de melhoria com os problemas	109
Tabela 4 - avaliação quantitativa da relação dos problemas com as ações de melhoria	110

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Lacuna de pesquisa	17
Quadro 2 – Revisão sistemática da literatura inicial: parte A	33
Quadro 3 – Revisão sistemática da literatura inicial: parte B	34
Quadro 4 - Avaliação de artigos de desempenho operacional no contexto do transporte ferroviário de cargas.....	45
Quadro 5 – Artigos que conceituaram como avaliar o desempenho operacional no transporte ferroviário de cargas.....	46
Quadro 6 - Avaliação de artigos de desempenho financeiro no contexto do transporte ferroviário de cargas.....	55
Quadro 7 - Artigos que conceituaram como avaliar o desempenho financeiro no transporte ferroviário de cargas.....	56
Quadro 8 - Artigos que explanaram sobre como melhor avaliar o desempenho ambiental no transporte ferroviário de cargas	62
Quadro 9 - Artigos que conceituaram como avaliar o desempenho ambiental no transporte ferroviário de cargas.....	63
Quadro 10 - Artigos avaliaram desempenho operacional, financeiro e ambiental no contexto do transporte ferroviário de cargas através de um principal	67
Quadro 11 - Resumo de artigos que explanaram sobre como melhor avaliar o desempenho no transporte ferroviário de cargas	68
Quadro 12 - Indicadores da Empresa ABC	76
Quadro 13 – Classificação da combinação de indicadores.....	79
Quadro 14 - Problemas iniciais da Empresa ABC.....	89
Quadro 15 - Critérios de planejamento	98
Quadro 16 - Ação para melhoria e resolução de problemas	107
Quadro 17 – Relação de problemas e ações	108
Quadro 18 – Avaliação de indicadores operacionais	112
Quadro 19 - Avaliação de indicadores financeiros	114
Quadro 20 - Avaliação de indicadores ambientais	116
Quadro 21 - Análise de correlação entre os indicadores de desempenho	117
Quadro 22 - Análise de correlação entre os indicadores.....	119
Quadro 23- Análise do módulo da correlação entre os indicadores	120

LISTA DE SIGLAS

%CDV - Percentual do custo de diesel sobre o custo variável total

%qG - Percentual de acidentes graves

AF - Ativos fixos

ANTF - Associação Nacional dos Transportadores Ferroviários

ANTT - Agência Nacional de Transportes Terrestres

C - Tempo de ciclo médio total

CD - Custos com óleo diesel

cD - Consumo de combustível

CV - Custo variável

CNT - Confederação Nacional do Transporte

EE - Eficiência energética

GEE - Gases do efeito estufa

HC - Quadro funcional: quantidade de maquinistas

iA - Índice de acidentes

IA - Índice ambiental

IF-1 - Índice financeiro 1

IF-2 - Índice financeiro 2

IO-1 - Índice operacional 1

IO-2 - Índice operacional 2

MC - Margem de contribuição (lucro operacional bruto)

mCO₂-eq - Emissões de dióxido de carbono equivalente

NV - Frota de vagões

ROL - Receita operacional líquida

tcFA - Tempo médio de fila e anomalias

TKB - Movimentação ferroviária bruta (t) versus distância percorrida (km)

TKU - Mercadoria transportada e remunerada (t) versus distância percorrida (km)

vc - Velocidade média de condução

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA, LACUNA E PERGUNTA DE PESQUISA	15
1.2 OBJETIVO	17
1.2.1 Objetivos específicos	17
1.3 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA	18
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	20
2 REVISÃO DA LITERATURA	21
2.1 CONCEITOS FUNDAMENTAIS	21
2.1.1 Transporte ferroviário de cargas	21
2.1.2 Gestão de desempenho no transporte ferroviário de cargas	27
2.2 REVISÃO SISTEMÁTICA E BIBLIOMÉTRICA DA LITERATURA.....	31
2.2.1 Revisão sistemática da literatura	32
2.2.2 Revisão bibliométrica da literatura	63
2.2.3 Síntese de indicadores utilizados no contexto do transporte ferroviário de cargas	66
3 MATERIAIS E MÉTODOS	69
3.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	71
3.2 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	72
3.3 COLETA DE DADOS.....	73
3.4 ANÁLISE DE DADOS	75
4 ESTUDO DE CASO E RESULTADOS	80
4.1 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA DE TRANSPORTE FERROVIÁRIO DE CARGAS.....	80
4.2 EXPLICAÇÃO DETALHADA DE CADA INDICADOR.....	82
4.3 A EMPRESA ANTES DA IMPLANTAÇÃO DE AÇÕES PARA MELHORIA.....	87
4.4 PLANO DE AÇÃO PARA MELHORIA E RESOLUÇÃO DOS PROBLEMAS ..	90
4.4.1 Ações para redução de acidentes ferroviários	90
4.4.2 Implantação de tecnologia de trens semiautônomos: <i>Trip optimizer</i> .	93
4.4.3 Ampliação de capacidade de malha ferroviária	95
4.4.4 Melhorias na qualidade do planejamento operacional	97

4.4.5 Implantação de solução para flexibilização no faturamento de trens	101
4.4.6 Compromissos ambientais	102
4.4.7 Melhorias na gestão da logística de maquinistas através da utilização de inteligência artificial: “Chave na Mão”	103
4.4.8 Aquisição de um novo simulador de trens	104
4.4.9 Investimentos em comunicação no trecho	106
4.4.10 Aumento no quadro de maquinistas	106
4.4.11 Quadro resumo das ações propostas	106
4.5 A EMPRESA APÓS DA IMPLANTAÇÃO DE AÇÕES PARA MELHORIA.....	107
4.5.1 Avaliação de problemas relacionando ações para melhoria e resolução de problemas.....	107
4.5.2 Avaliação de indicadores antes e depois das ações para melhoria e resolução de problemas	111
4.5.3 Avaliação da correlação dos dados	117
5 DISCUSSÕES.....	121
6 CONCLUSÕES.....	128
REFERÊNCIAS.....	131
APÊNDICE 1.....	138
APÊNDICE 2.....	139

1 INTRODUÇÃO

O transporte ferroviário de cargas apresenta grande importância para a competitividade da economia regional e nacional, sendo caracterizado basicamente como um modal de longo curso e baixa velocidade. É utilizado especialmente para movimentar grandes volumes de cargas com menores custos operacionais e menor impacto ambiental referente a emissão de poluentes frente ao modal rodoviário. São cargas típicas transportadas pelo modal ferroviário: produtos agrícolas, minérios, produtos siderúrgicos, fertilizantes, combustíveis, além de contêineres (ANTT, 2019; BALLOU, 2006; LUAN *et al.*, 2018).

Com relação ao Brasil, o país está consolidado no mercado global de commodities, por meio da exportação produtos primários, como os agrícolas e minerais, em que há a tendência de maior utilização de vias férreas, uma vez que as características físico-volumétricas, geográficas e econômicas desses bens necessitam de um sistema logístico com participação do modal ferroviário de cargas para se tornar mais competitivo (ANTT, 2019; CNT, 2019).

A movimentação ferroviária no Brasil em 2018 atingiu recorde histórico. Segundo a Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), foram movimentadas neste ano 569,8 milhões de toneladas úteis (TU) de mercadorias, correspondente a uma elevação de 5,7% em relação ao ano de 2017. Entre 2015 e 2018 houve crescimento do transporte ferroviário no Brasil, fato contrário ao transporte rodoviário e à economia do país, que tiveram queda neste período. No biênio de 2019 e 2020 houve retração neste setor devido a fatores externos relacionados a restrição de barragens de povo, principal produto transportado pelas vias férreas no Brasil (ANTT, 2019).

O gerenciamento operacional é uma atividade importante e voltada para administrar recursos que criam e fornecem produtos e serviços, em que fazem parte tarefas relacionadas ao processo produtivo, assim como as questões relacionadas às tomadas de decisões. Não obstante, o gerenciamento de operações logísticas se refere a todas as operações que foram relacionadas, de modo a fornecer bens e serviços até os clientes finais, que são processados em diferentes etapas e pontos da cadeia onde se agregam valores e custos repassados ao cliente final (SLACK, 2010).

Com o ambiente cada vez mais competitivo no setor de transportes é necessário que as ferrovias de cargas busquem uma posição vantajosa no mercado, principalmente com relação aos fatores econômicos e ambientais. Para isso é fundamental um gerenciamento de serviço com foco em eficiência operacional e energética (ŠTEFANCOVÁ *et. al*, 2017). O grande impacto do setor de transportes no contexto ambiental está no fato deste ser responsável por grande parte do consumo de petróleo e seus derivados, que possuem expectativas futuras de redução de disponibilidade, além de contribuir expressivamente nas emissões de gases do efeito estufa (GEE) (CHAVES e GOMES, 2013).

De acordo com a Confederação Nacional dos Transportes (CNT), a elevada concorrência no setor entre os modais e as operadoras logísticas, motivam a constante busca por alternativas na redução de custos e eficiência operacional. A grande parcela dos custos com combustíveis nos custos totais de transporte faz com que as empresas do segmento busquem atuar com políticas de gestão que resultem na redução do consumo de combustível (CNT, 2019).

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA, LACUNA E PERGUNTA DE PESQUISA

Foram constatadas na literatura científica 39 pesquisas que relacionam o desempenho operacional, financeiro e ambiental no contexto do transporte ferroviário de cargas. No entanto apenas 5 dos 39 trabalhos avaliaram o desempenho operacional, financeiro e ambiental no transporte ferroviário de cargas.

A avaliação do desempenho operacional foi conceituada por Gorman *et al.* (2011) nos Estados Unidos através da relação de movimentações ferroviárias remuneradas com relação ao total de movimentações ferroviárias brutas

Mais recentemente Maltseva *et al.* (2020) propuseram na Rússia a avaliação de desempenho operacional através do total de movimentações ferroviárias remuneradas com relação ao tamanho da frota e quadro funcional. Já a avaliação do desempenho financeiro foi proposta através da relação dos ativos fixos e custos operacionais com a receita operacional e o lucro operacional.

Também se tratando da avaliação do desempenho financeiro, Lulli *et al.* (2011) sugeriram na Itália a relação dos custos operacionais com relação ao total de movimentações ferroviárias.

Com relação a avaliação do desempenho ambiental, Gould e Niemeier (2011) propuseram nos Estados Unidos as emissões de poluentes resultantes do consumo de combustível com relação ao total de movimentações ferroviárias.

Neste modo, Lebedevas *et al.* (2017) conceituaram na Lituânia a avaliação de desempenho ambiental através do consumo de combustível ou de algum outro indicador derivado do consumo de diesel, como emissões de poluentes ou energia resultante da combustão de diesel, em relação total de movimentações ferroviárias.

Assim não foi identificada na revisão da literatura nenhuma pesquisa que relacionasse o desempenho operacional, financeiro e ambiental juntos no transporte ferroviário de cargas, sendo raros os trabalhos deste tema em países emergentes e latino-americanos como o Brasil. Neste modo não foram encontradas também pesquisas que relacionassem o desempenho operacional, financeiro e ambiental com problemas e ações de melhoria no contexto do transporte ferroviário de cargas.

Assim a pergunta de pesquisa é a seguinte:

Qual é a efetividade e as contribuições proporcionadas por ações de melhorias e resolução de problemas no desempenho operacional, financeiro e ambiental em uma empresa de transporte ferroviário de cargas nas regiões sudeste e centro-oeste do Brasil?

A partir do momento em que a pergunta de pesquisa está definida, o estudo fica mais centrado, permitindo que fortes pressupostos possam ser criados direcionando o trabalho exatamente para o que precisa ser pesquisado (MILES e HUBERMAN, 1994).

O quadro 1 ilustra os *gaps* de pesquisa no qual representam a lacuna de pesquisa que será explorada através deste trabalho.

Quadro 1 - Lacuna de pesquisa

GAPS		OBJETIVO DO TRABALHO	
-> Poucos trabalhos conceituam como avaliar o desempenho operacional financeiro e ambiental no contexto do transporte ferroviário de cargas	LACUNA DE PESQUISA	Avaliação	TRANSPORTE FERROVIÁRIO DE CARGAS
-> Nenhum trabalho avalia o desempenho operacional, financeiro e ambiental juntos		Desempenho operacional, financeiro e ambiental	
-> Poucos trabalhos referentes ao tema estudaram países emergentes		Regiões sudeste e centro-oeste do Brasil	
-> Trabalhos não relacionam problemas com ações de melhoria no contexto do transporte ferroviário de cargas		Relacionando problemas com ações de melhoria	
AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO OPERACIONAL, FINANCEIRO E AMBIENTAL ANTES E DEPOIS DA IMPLANTAÇÃO DE AÇÕES PARA MELHORIA EM UMA EMPRESA DE TRANSPORTE FERROVIÁRIO DE CARGAS NAS REGIÕES SUDESTE E CENTRO-OESTE DO BRASIL.			

Fonte: o autor (2021)

1.2 OBJETIVO

Compreender a efetividade e as contribuições proporcionadas por ações de melhorias e resolução de problemas no desempenho operacional, financeiro e ambiental em uma empresa de transporte ferroviário de cargas nas regiões sudeste e centro-oeste do Brasil.

1.2.1 Objetivos específicos

1) Avaliar o desempenho operacional, financeiro e ambiental antes e depois da implantação de ações para melhoria em uma empresa de transporte ferroviário de cargas nas regiões sudeste e centro-oeste do Brasil.

2) Apresentar a relação entre problemas e ações para melhoria e resolução de problemas com o desempenho operacional, financeiro e ambiental no transporte ferroviário de cargas.

3) Avaliar a correlação entre desempenho operacional, financeiro e ambiental no contexto do transporte ferroviário de cargas.

4) Avaliar a correlação entre os indicadores operacionais, financeiros e ambientais no contexto do transporte ferroviário de cargas.

1.3 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA

Um dos setores relevantes na economia é o transporte de cargas, devido a sua contribuição econômica, e como ele interage com os demais setores, sendo que a expectativa de crescimento até 2030 é de que as movimentações cresçam cerca de 2,7% a cada ano. No entanto o setor é responsável por uma parcela importante de emissões de GEE, o que favorece o efeito estufa e as mudanças climáticas (CARDENETE E LÓPEZ-CABACO, 2021; HEINOLD e MEISEL, 2020)

As economias emergentes e os países em desenvolvimento vêm experimentando um rápido crescimento na demanda por transporte, sendo operações de transportes eficientes e com baixas emissões de GEE podem contribuir para redução nos custos de transportes, favorecendo que estes países atendam à crescente demanda e impulsionem suas economias (KAACK *et al.*, 2018).

Países desenvolvidos têm implementado recentemente políticas de transferência de modal para tornar a logística mais amigável em termos ambientais. A medida que um país se desenvolve, espera-se também que as migrações de modal também cresçam, sendo que a mais comum está na mudança do transporte rodoviário de carga para o transporte ferroviário de cargas, que possui melhor desempenho ambiental (CHEN *et al.*, 2020).

Devido à forte dependência e participação do transporte ferroviário de cargas na movimentação de *commodities*, a competitividade de um determinado país ou região com relação aos preços das commodities é fortemente dependente dos custos relacionados ao transporte ferroviário de cargas (LEE e KIM, 2018).

No Brasil, o setor de transporte de cargas depende fortemente de fontes de energia não renováveis, sendo o óleo diesel o principal combustível utilizado no setor de transportes e a principal fonte utilizada no transporte ferroviário de cargas. O setor de transporte representa cerca de um terço de todo o consumo brasileiro de derivados de petróleo, sendo o principal responsável pelos danos ambientais decorrentes da queima de combustíveis fósseis (EPE, 2018; SILVA *et al.*, 2020).

Devido as dificuldades econômicas e operacionais da cadeia logística brasileira, bem como a necessidade de grandes esforços para promover pequenas evoluções ambientais, um estudo de caso brasileiro é capaz de ser um exemplo válido de redução de emissões atmosféricas em operações de transporte em todo o mundo (Pinto *et al.*, 2018).

Neste aspecto, o modo ferroviário é ambientalmente mais sustentável que o rodoviário e ainda pode conduzir a menores custos logísticos. Atualmente, a conservação de energia e a redução das emissões de carbono são temas importantes em escala mundial, onde grande parte dos esforços acadêmicos estão centrados na condução de pesquisas nestes tópicos, sendo que poucos trabalhos na literatura enfocam juntos operação e meio ambiente no transporte ferroviário de cargas (HUANG *et al.*, 2021; LIN *et al.*, 2017).

Neste sentido, este trabalho pode contribuir para a teoria, prática e sociedade como um todo, avaliando o desempenho operacional, financeiro e ambiental no transporte ferroviário de cargas.

Para a teoria, este é um trabalho inédito, podendo ser utilizado como referência para futuros estudos que relacione desempenho operacional, financeiro e ambiental no contexto do transporte ferroviário de cargas, também sendo utilizado como referência destes temas em países emergentes, latino-americanos e no Brasil.

Com relação a prática, este trabalho contribui na orientação de profissionais e empresas do ramo de transporte ferroviário de cargas, auxiliando na avaliação e na compreensão mais profunda referente ao desempenho operacional, financeiro e ambiental, bem como na compreensão de ações de melhoria e resolução de problemas nestes temas.

Com relação a sociedade, este trabalho contribui estudando um importante setor para o Brasil e que possui uma forte relação operacional, financeira e ambiental com as comunidades próximas a faixa de domínio de suas operações, através da geração de empregos diretos e indiretos, desenvolvimento cultural da sociedade, emissões de gases do efeito estufa (GEE), ruídos sonoros, entre outros.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Com a finalidade de cumprir com os objetivos propostos, esta dissertação foi dividida em seis capítulos.

O primeiro capítulo contempla a introdução; o problema de pesquisa, lacuna e a pergunta de pesquisa; o objetivo geral e os específicos; e a justificativa e relevância.

O capítulo dois traz a revisão bibliométrica e sistemática da literatura, onde é apresentado o estado da arte dos conceitos e fundamentos relacionados ao tema. Também neste capítulo são apresentados os conceitos fundamentais encontrados sobre os temas que sustentam esta pesquisa.

O terceiro capítulo apresenta os materiais e métodos utilizados para estruturar esta dissertação e seus respectivos procedimentos.

O quarto capítulo traz o estudo de caso realizado, conforme a metodologia descrita, assim como os resultados obtidos.

O quinto capítulo apresenta as discussões do tema.

Por fim o sexto e último capítulo, apresenta as conclusões deste trabalho bem como sugestões e recomendações para futuras pesquisas.

A figura 1 a seguir apresenta uma ilustração de como este trabalho está estruturado.

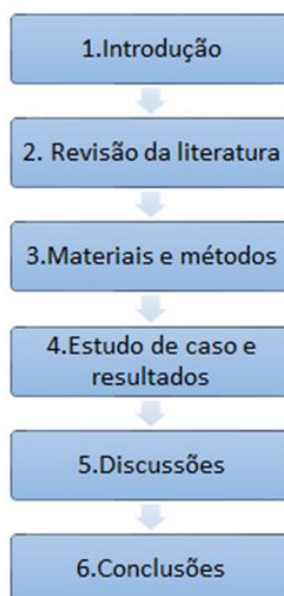


Figura 1 - Estrutura do trabalho

Fonte: o autor (2021)

2 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo serão apresentados os conceitos fundamentais encontrados na literatura referentes aos principais temas que sustentam esta pesquisa. Também serão abordados os resultados e análises da revisão sistemática e bibliométrica da literatura, que contribuíram para o desenvolvimento desta pesquisa.

2.1 CONCEITOS FUNDAMENTAIS

Serão apresentados nesta seção conceitos iniciais sobre o tema desta pesquisa encontrados em revisões empíricas introdutórias sobre o tema na literatura acadêmica, bem em informações técnicas e históricas do setor encontradas em agências regulatórias, empresas, entidades representativas e instituições governamentais.

2.1.1 Transporte ferroviário de cargas

A principal diferença de sistemas ferroviários de cargas para sistemas ferroviários de passageiros está na complexidade das operações, sendo que a operação ferroviária de cargas é mais complexa do que a operação de transporte de passageiros devido a grande quantidade de fluxos e diferentes operações concorrendo pela mesma malha ferroviária. Os fluxos são características únicas do transporte que se diferem por origem, destino, tipo de vagão, cliente, terminal de origem, terminal de destino, mercadoria, entre outras variáveis (JÜTTE *et al.*, 2011).

Os sistemas de transportes possuem um papel muito importante pois são necessários para que outros sistemas funcionem. Por sua vez as ferrovias são indicadas para transportar produtos de alto volume e baixo valor agregado, como as commodities agrícolas e minerais, que se encaixam nesta definição. As atividades relacionadas à produção, processamento e exportação desses produtos são potencializadas com o uso do transporte ferroviário (VENCOVSKY, 2011).

O modal ferroviário é considerado como a melhor opção para transporte terrestre em longas distâncias devidas suas vantagens econômicas, sociais, energéticas e ambientais, em relação a outros modais. Este modal representa um

tráfego com baixos ou nulos índices de congestionamentos, baixos índices de acidentes, emissões reduzidas e baixo consumo de combustível por unidade de carga transportada. No entanto o modal rodoviário, tem baixo custo de capital, é mais flexível do ponto de vista geográfico e temporal e geralmente é mais rápido (DINCER E ZAMFIRESCU, 2020; PINCHASIK *et al.*, 2020).

O transporte ferroviário de cargas se caracteriza em sua maioria pelo carregamento de vagões em um pátio de origem (terminais, armazéns, indústrias, minas, entre outros), que é transportado até outro pátio de destino para descarga (por exemplo, em portos, onde as cargas são embarcadas em navios ou centros de distribuição para transbordo para outros modais ou armazenagem) e, por fim, o retorno dos vagões vazios para serem carregados novamente (LOUZADA *et al.*, 2018). A infraestrutura ferroviária é normalmente composta de vários elementos, incluindo estações, lastro, trilhos, equipamento de via, equipamentos de sinalização e telecomunicações, passagens de níveis, bueiros, túneis e pontes. A circulação de trens pode ocorrer em trechos de linhas únicas ou em malhas de linhas duplas. Operações em linhas única, mais conhecidas como singelas, são estruturas ferroviárias onde os trens só podem ultrapassar ou cruzar outros trens em locais específicos, como pátios de cruzamento. Operações em linhas duplas são trechos que permitem a circulação de dois ou mais trens simultâneos e em sentidos diferentes (FERREIRA 1997; MINTZIA *et al.*, 2018).

A competitividade entre o modal rodoviário, que possui uma grande e crescente parcela do transporte de cargas na maioria dos países em todo o mundo, com o ferroviário, é a mais discutida. A remoção de caminhões de rotas de longa distâncias (maiores que 300km) contribui para menores índices de emissão de GEE; redução nos custos de transporte; favorece o tráfego e diminui congestionamentos e filas; reduz as chances de acidentes e avarias; reduz problemas de manutenção e vulnerabilidade a condições meteorológicas adversas. No entanto está competitividade muitas vezes favorece as rodovias que por sua vez possuem maiores velocidades de entrega e na previsibilidade, uma vez que há grandes variações nas previsões de chegadas de trens de cargas. (KAACK *et al.*, 2018; LEE E KIM, 2018; LIU *et al.*, 2019; MCKINNON; 2016; PINTO *et al.*, 2018; RAMANI *et al.*, 2019; ZUO *et al.*, 2018). Na maioria dos casos, apenas partes das cadeias de transporte podem ser

deslocadas das estradas para as via férreas devido às limitações físicas da malha ferroviária, assim a multimodalidade rodoferroviária pode ser uma solução para dar maior flexibilidade e competitividade para o transporte ferroviário de cargas (CARDENETE E LÓPEZ-CABACO, 2021; ISLAM, 2018; PINCHASIK *et al.*, 2020).

Há um renascimento recente sobre o uso do transporte ferroviário de cargas para suprir a demanda global de frete em constante aumento. Espera que os volumes globais de frete ferroviário cresçam 2,7% ao ano no período 2021 a 2030, com alguns países tendo taxas de crescimento significativamente maiores (HEINOLD, 2020).

De acordo com a Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2019) a característica geográfica e espacial do território brasileiro contribui para um grande desbalanceamento e representatividade entre os modais de transportes, contribuindo para um sistema de transporte nacional ineficiente e com subutilização de alguns tipos de modais, como o ferroviário.

O Brasil é um país com histórico de falta de investimentos em infraestrutura de transportes. Em 2017 os investimentos no modal rodoviário representam mais de 70% de todo o capital empregado pela união. Assim, o baixo incentivo da união nos demais modais de transporte dificulta o crescimento, aprimoramento, participação e competitividade no setor (SAMPAIO e DAYCHOUM, 2017).

A Figura 2 mostra a participação dos modais de transporte no Brasil, que aponta para o perfil concentrado no modal rodoviário, o que se traduz em elevados custos operacionais e impactos ambientais relevantes, com maiores emissões de GEE (CNT, 2019).

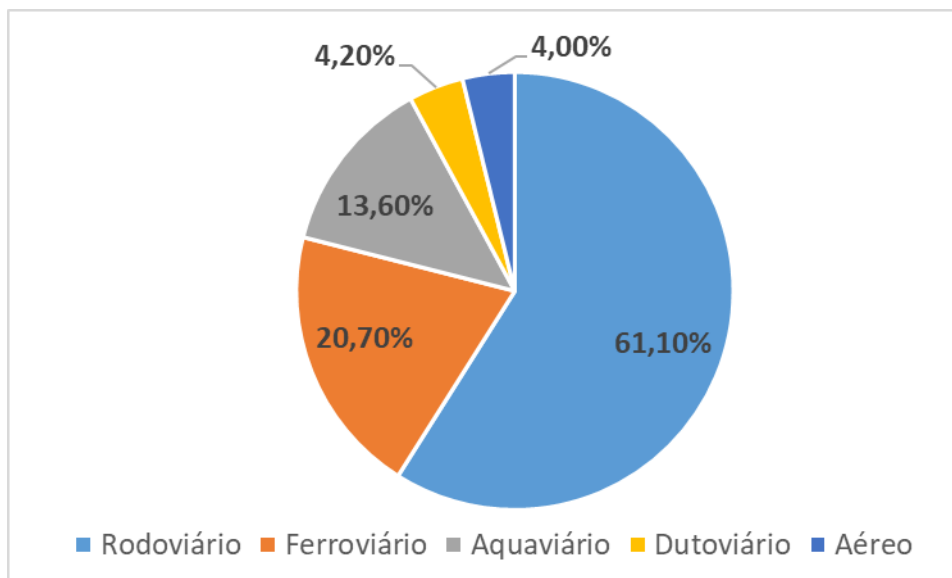


Figura 2 - Matriz de transportes brasileira do ano de 2019

Fonte: adaptado de CNT (2020)

Para a Associação Nacional dos Transportadores Ferroviários (ANTF) a perspectiva é de que em 2025 o transporte ferroviário de cargas deva representar cerca de 31% da matriz de transportes brasileira, suportada por uma redução na ordem de 14% nos custos de frete ferroviário, refletindo em na redução de aproximadamente 19.10^6 t.CO₂ emitidos pelo setor de transportes brasileiro (ANTF, 2019).

De acordo com a ANTT (2020) e exposto na figura 3, existem atualmente 15 concessões de trechos ferroviários no Brasil que apresentam em torno de 29.000 km de extensão de malhas viárias, são elas: VALEC, Ferrovia Centro-Atlântica, Ferrovia Norte Sul (FNSTN e FNSTC), estrada de Ferro Paraná Oeste, Estrada de Ferro Paraná Oeste, Ferrovia Transnordestina Logística, Ferrovia Tereza Cristina, Rumo Malha Central, 9) Rumo Malha Central, 10) Rumo Malha Paulista, 11) Rumo Malha Oeste, Rumo Malha Sul, Estrada de Ferro Vitória a Minas (VALE), Estrada de Ferro Carajás (VALE) e Ferrovia de Integração Oeste-Leste (VALEC). A Figura 3 mostra a malha ferroviária no Brasil e as concessionárias (ANTF, 2019).

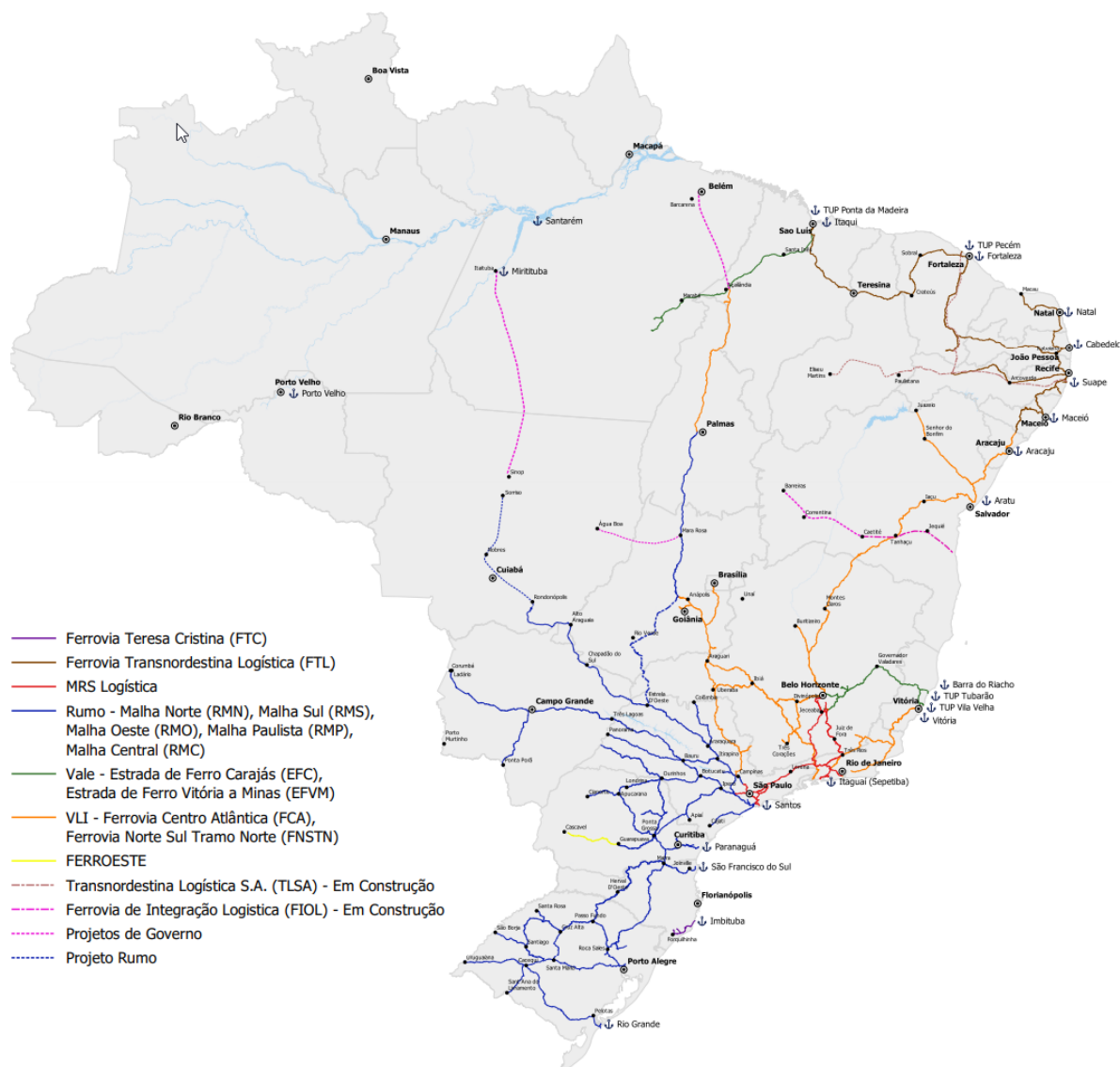


Figura 3 - Concessões ferroviárias no Brasil

Fonte: ANTF (2019)

Segundo a CNT a movimentação de cargas no Brasil pelo modal ferroviário vem crescendo ao longo dos anos. Em 2018 foi transportado por meio das ferrovias brasileiras 569,9 milhões de toneladas úteis (TU), o que representa um crescimento na ordem 6% em relação ao ano de 2017 e na ordem 30% com relação a 2006, sendo ilustrado na Figura 4 (CNT, 2019).

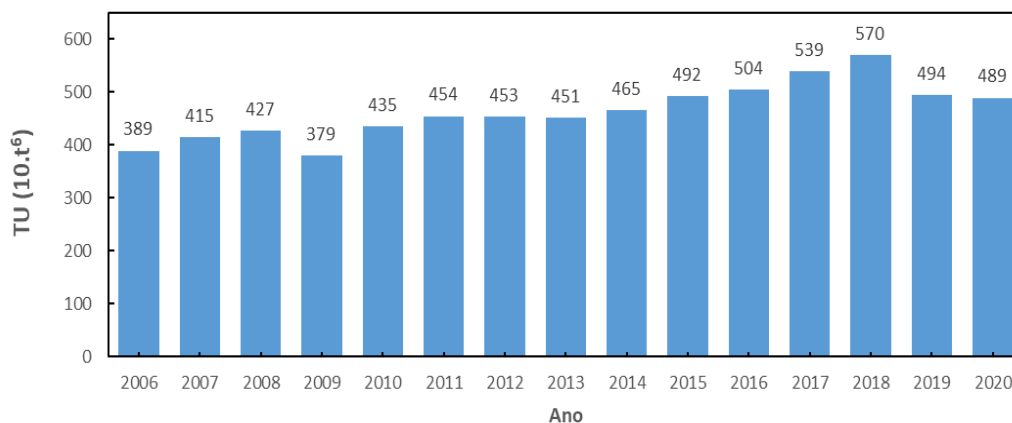


Figura 4 - Evolução do transporte ferroviário de cargas no Brasil em TU

Fonte: adaptado de ANTF (2020); ANTT (2020); CNT (2020)

Outro indicador importante e muito utilizado para mensurar a evolução do transporte ferroviário de cargas é o TKU (tonelada quilômetro útil), que representa o somatório dos produtos das TU transportadas pelas distâncias de cada trecho da malha ferroviária. A Figura 5 mostra a evolução da carga transportada no Brasil, em termos de TKU no período 2016-2018, que atingiu 407 bilhões de TKU, alcançando o maior valor da sua série histórica, com uma média anual de crescimento de 5,32% (ANTT 2003; ANTF 2019).

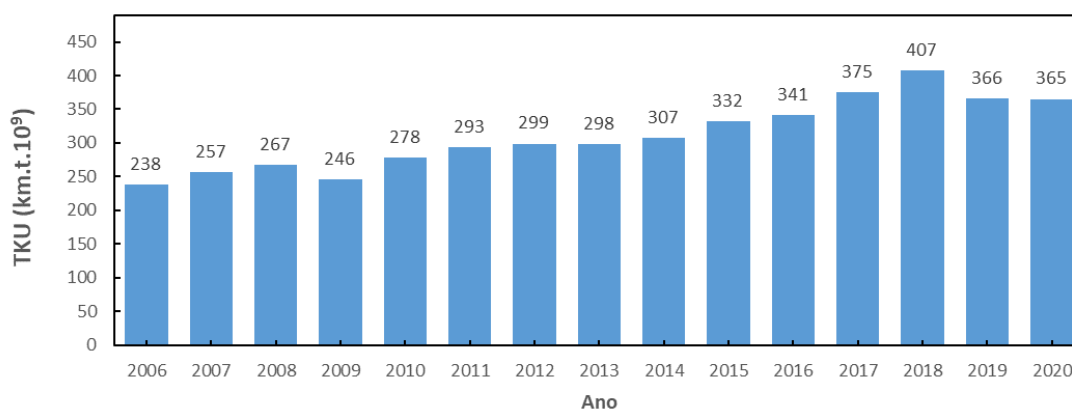


Figura 5 - Evolução do transporte ferroviário de cargas no Brasil em TKU – 2006 a 2008.

Fonte: adaptado de ANTF (2020); ANTT (2020); CNT (2020)

A queda do volume total transportado, em TU e TKU, nos anos de 2019 e 2020, foi pontual e atípica. Historicamente o setor experimentou crescimentos sucessivos, com índices de crescimento acima do PIB. A explicação para a inversão do ritmo acentuado deve-se ao impacto provocado pela interrupção da produção de minério de ferro de algumas operações no país, dado que principal produto transportado por vias férreas no Brasil é o minério de ferro, seguido pelos produtos agrícolas, principalmente a soja e milho seus derivados e o açúcar (BALLOU 2006; BRASIL, 2016; CNT, 2019).

2.1.2 Gestão de desempenho no transporte ferroviário de cargas

Conforme o Dicionário Dicio (2021) gestão pode ser definido como a “ação de gerir, de administrar, de governar ou de dirigir negócios públicos ou particulares; administração.”

Conforme o Dicionário Michaelis (2021) desempenho pode ser definido como o “conjunto de características que permitem determinar o grau de eficiência e as possibilidades de operação de determinado veículo, motor, máquina, etc.”

Neste contexto gestão de desempenho pode ser definida como o gerenciamento dos objetivos, metas e resultados de todas as atividades, processos e setores de uma organização (Brandão e Guimarães, 2001). De forma mais objetiva Brandão *et al.* (2012) definem gestão de desempenho como sendo ações organizacionais que possuem relação com os resultados de uma empresa, como por exemplo a melhoria dos processos de trabalho.

Assim nesta sessão serão conceituados os principais temas que possuem relação com os resultados de operadoras ferroviárias de cargas.

O uso eficiente da capacidade ferroviária está baseado em maximizar a movimentação de cargas, mantendo o nível de serviço e atendimento operacional em conformidade com a expectativa dos contratantes. Existem duas abordagens gerais para aumentar o desempenho de um corredor ferroviário: realizando novos investimentos em infraestrutura, ou melhorando a produtividade e eficiência operacional (POURYOUSEF *et al.*, 2016).

Os “gargalos” de capacidade existentes nos sistemas ferroviários são as principais causas para o baixo desempenho e falta de sucesso do crescimento deste

modal, sendo quase que sempre conhecidos e mapeados pelos operadores ferroviários (PITTMAN *et al.*, 2020). O tempo de ciclo ou ciclo operacional de uma operação ferroviária, representa o nível de serviço e qualidade da operação ferroviária de cargas e se inicia após o carregamento de um vagão e se encerra quando o vagão vazio retorna para um novo carregamento, sendo que em operações casadas, onde o vagão após a descarga é carregado novamente o ciclo se encerra na descarga subsequente ao carregamento inicial. (Lulli *et al.*, 2011; Maltseva *et al.*, 2020).

De acordo com Casemiro *et al.* (2020) há um grande interesse por parte das ferrovias de cargas em aumentar seu desempenho através de soluções que contribuam para a redução de custos, maximização da receita, melhorias na gestão da manutenção, aumento de eficiência operacional e redução no consumo de combustíveis e emissões de poluentes atmosféricos. Muitas empresas de transporte ferroviário de cargas têm direcionado seus esforços e investimentos em soluções tecnológicas e computacionais, sendo um tema recente e relevante.

De acordo com Rao *et al.*, (2015), a utilização de algoritmos em sistemas de gestão de transporte ferroviário de cargas contribui para reduzir custos operacionais, avaliando informações como: tempo de viagem, consumo de energia, limites de capacidade de diferentes rotas e sistemas de sinalização, entre outros dados, aplicando diferentes soluções, de forma automática e em tempo real. Pode-se destacar quatro principais objetivos para sistemas de otimização em ferrovias de cargas, sendo eles: economia máxima de combustível; emissões mínimas; custos mínimos e condução de alto desempenho e segura (LU *et al.*, 2010; RAO *et al.*; 2015).

Investimentos em infraestrutura ferroviária se concentram na ampliação da malha ferroviária existente ou na expansão da faixa de domínio e contribuem diretamente para o desempenho do transporte ferroviário de cargas. No mundo, a construção de ferrovias de cargas é demorada e custa, em média, cerca de US\$ 900 mil a US\$ 3 milhões por quilômetro de linha construída. Por outro lado, as estradas rodoviárias raramente ultrapassam US \$ 1 milhão por quilômetro de estrada construída, e podem ser concluídas em períodos até 40% mais rápidos (CHEN *et al.*, 2020; KAACK *et al.*, 2018; LIU *et al.*, 2015; LIN *et al.*, 2017; MERCHAN *et al.*, 2020; PINTO *et al.*, 2018).

Para Huang *et al.* (2021) e Liu *et al.* (2019) algumas ações alternativas frente a investimentos em infraestrutura e ativos ferroviários possuem potencial de elevar o desempenho do transporte ferroviário de cargas. Estas ações podem ser efetivadas através de políticas governamentais que incentivem a produtividade das operadoras ferroviárias; políticas e incentivos corporativos nos temas de eficiência operacional; gerenciamento eficaz de energia e consumo de combustíveis; impostos sobre emissões de carbono, além de outros métodos alternativos. Pittman *et al.* (2020) citaram algumas medidas com potencial de contribuir para o uso mais eficiente da capacidade dos sistemas ferroviários de cargas, dentre elas: melhorias na sinalização de tráfego ferroviário; viabilização de trens mais longos; investimentos em locomotivas mais potentes; eficiência em agendamento, programação e planejamento ferroviário; entre outras.

Com as atuais limitações da maioria dos sistemas ferroviários de cargas em todo o mundo e a crescente demanda global ao longo dos últimos no setor de transportes, espera-se que as malhas ferroviárias estejam cada vez mais saturadas com altos índices de congestionamentos e filas, prejudicando o nível de serviço nos sistemas de transporte ferroviário. É um grande desafio para as operadoras ferroviárias de cargas aumentar seu desempenho no sentido de melhorar seu atendimento e expandir seus negócios. Um dos principais desafios da gestão no transporte ferroviário de cargas está no gerenciamento eficiente do tráfego ferroviário, que na maioria dos sistemas é centralizado em um centro de controle operacional (CCO) (JÜTTE *et al.*, 2011; RAO *et al.*, 2016).

Durante as operações ferroviárias ocorrem eventos inesperados e anomalias não programadas, interrompendo inúmeras vezes os serviços planejados. Assim os horários e sequenciamentos programados da circulação de trens e o planejamento de escala e logística de operadores de trens precisam ser revistos inúmeras vezes, para garantir o fluxo contínuo de trens com o nível de serviço esperado pelos contratantes. São exemplos comuns de interrupções de tráfego ferroviário: acidentes ferroviários; avaria no material rodante (locomotivas e vagões); problemas na malha ferroviária (trilhos, superestrutura e infraestrutura), efeitos de ações climáticas não esperados, entre outros. Em muitos casos, essas interrupções inviabilizam a execução das operações planejadas, dependendo de medidas corretivas e imediatas, que podem

suprimir o mitigar os impactos operacionais. Decidir sobre quais ações priorizar e executar durante uma interrupção de tráfego, corresponde a gestão de desvios ou reprogramação, que é uma tarefa complexa com muitas variáveis a serem analisadas e múltiplas decisões a serem tomadas, dificultando para que os responsáveis encontrem a melhor solução de forma rápida. A tomada de ações em tempo real deve considerar e respeitar restrições de circulação (velocidade de condução em cada trecho, restrições de eficiência energética e consumo de combustível, entre outros) e a posição em tempo real de cada trem. Ser ágil e assertivo na tomada de decisão em sistemas ferroviários é importante para a segurança da operação, evitando acidentes, e para a produtividade, onde se deve buscar a utilização mais eficiente do sistema. Assim é importante a comunicação ágil, disponibilidade e confiabilidade de dados, bem como a utilização de sistemas de suporte à decisão que proporcionem tempo de resposta satisfatório. (BETTINELLI *et al.*, 2017; CORMAN *et al.*, 2010; LUSBY *et al.*, 2017).

Com as crescentes preocupações com o meio ambiente, juntamente com os elevados custos com combustíveis além da crescente demanda e competitividade no setor de transportes, o segmento ferroviário de cargas enfrenta pressões para melhorar seu desempenho energético. O consumo de energia no transporte ferroviário está relacionado com a operação do trem, sendo que as paradas e acelerações são fatores chaves para a eficiência energética. O grande desafio para reduzir os níveis de consumo de combustíveis é manter o sistema com aceleração constante evitando as paradas (HEINOLD *et al.*, 2018; LU *et al.*, 2010; PELLEGRINI *et al.*, 2016). São diversas as variáveis que influenciam no consumo energético das operações ferroviárias de cargas: características do trecho; modo de circulação e condução; dinâmica dos trens; entre outros. (COLOMA E GARCÍA, 2016; MERCHAN *et al.*, 2020; HEINOLD *et al.*, 2018; RAO *et al.*, 2016).

As locomotivas diesel-elétricas são as mais utilizadas em todo o mundo, sendo classificadas como veículos híbridos que tem seu próprio sistema de potência elétrico. Possui como fonte de energia primária, o óleo diesel, que é o combustível que alimenta um motor à combustão, que por sua vez, gera emissões de poluentes e gases de efeito estufa (ANNADANAM E KOTA, 2019; SAADAT *et al.*, 2016). De acordo com Zenith *et al.* (2020) os poluentes associados ao consumo de óleo diesel

por locomotivas são: CO₂ (dióxido de carbono), MP (material particulado), CO (dióxido de carbono), NO_x (óxidos de nitrogênio), CH (benzeno) e SO₂ (dióxido de enxofre), sendo obtidos pelo volume de combustível utilizado versus o fator específico de emissão de cada poluente para veículos pesados.

2.2 REVISÃO SISTEMÁTICA E BIBLIOMÉTRICA DA LITERATURA

Será apresentado nesta sessão a revisão da literatura a respeito dos temas que fundamentam a pesquisa: desempenho operacional; desempenho financeiro; desempenho ambiental no contexto do transporte ferroviário de cargas. Esta seção tem como objetivo identificar o estado da arte para os temas propostos e identificar as lacunas não cobertas pela literatura que possam ser abordadas neste estudo.

O primeiro passo foi definir as combinações de palavras chaves junto ao orientador do trabalho que sustentam o tema desta pesquisa: "*FREIGHT RAIL*" AND "*ENVIRONMENTAL*"; "*FREIGHT RAIL*" AND "*ECONOMIC*"; "*FREIGHT RAIL*" AND "*OPERATIONAL*"; "*FREIGHT RAILWAY*" AND "*ENVIRONMENTAL*"; "*FREIGHT RAILWAY*" AND "*ECONOMIC*"; "*FREIGHT RAILWAY*" AND "*OPERATIONAL*"; "*CARGO TRAIN*" AND "*ENVIRONMENTAL*"; "*CARGO TRAIN*" AND "*ECONOMIC*"; "*CARGO TRAIN*" AND "*OPERATIONAL*"; "*RAIL FREIGHT*" AND "*ENVIRONMENTAL*"; "*RAIL FREIGHT*" AND "*ECONOMIC*"; "*RAIL FREIGHT*" AND "*OPERATIONAL*".

Foram baixados nas bases de dados Scopus, Elsevier, Springer, Wiley, Taylor & Francis, Sage, Emerald e IEE um total de 191 artigos, sendo representado através da figura 6 cada passo realizado para a seleção dos artigos, onde de acordo com Donato e Donato (2019), todo processo de revisão deve ser documentado, apresentando sua estruturação e organização de forma transparente e detalhada. Assim o primeiro passo foi a exclusão de artigos duplicados. O segundo passo foi realizado através da leitura completa dos trabalhos, descartando aqueles não estavam enquadrados no objetivo desta pesquisa, restando, por fim, 39 artigos selecionados. Como critério de exclusão de trabalhos que não estavam dentro do contexto deste tema foram descartados trabalhos referentes a transporte ferroviário de cargas em alta velocidade, transporte de passageiros e utilização alternativa de ramais

ferroviários (construção de parques, áreas verdes, instalação de indústrias, entre outros).

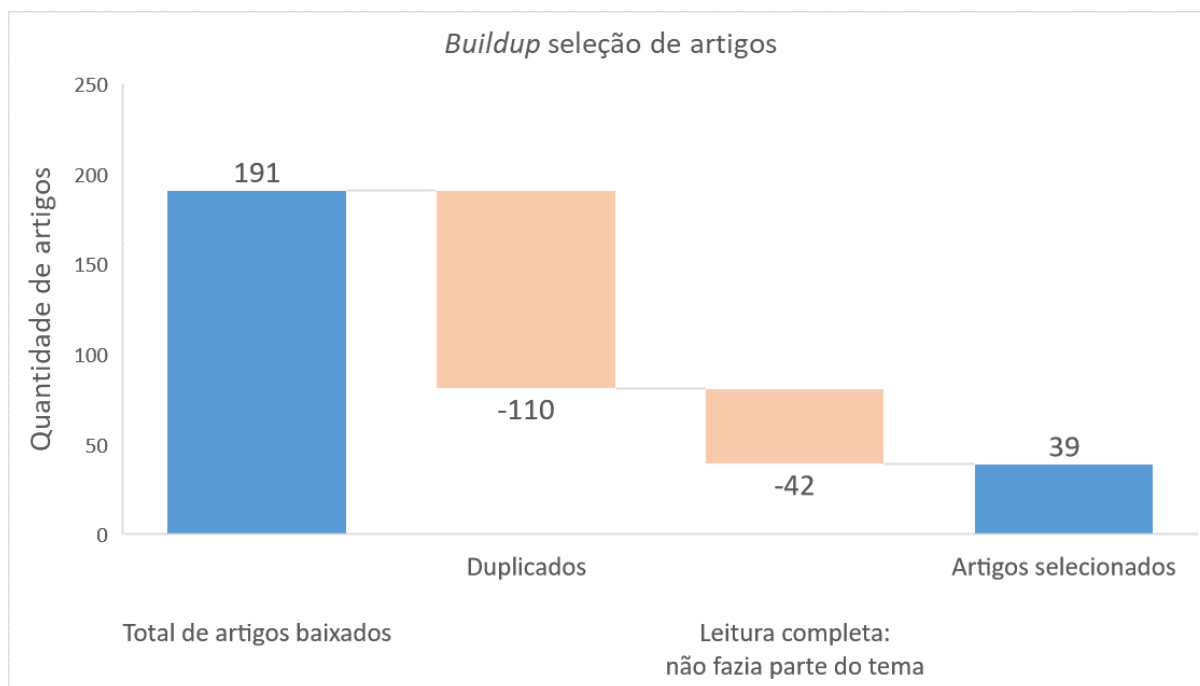


Figura 6 - *Buildup* seleção de artigos

Fonte: o autor (2021)

2.2.1 Revisão sistemática da literatura

A revisão da literatura desta pesquisa identificou 39 artigos, que foram classificados conforme o desempenho que foi abordado no contexto do transporte ferroviário de cargas: desempenho operacional, desempenho financeiro e desempenho ambiental. O quadro 2 e o quadro 3 representam a avaliação inicial destes artigos conforme o desempenho operacional abordado relacionado ao transporte ferroviário de cargas, bem como informações referente aos autores, ano, método e país pesquisado.

Quadro 2 – Revisão sistemática da literatura inicial: parte A

TÍTULO	DADOS DOS ARTIGOS					DESEMPENHO		
	AUTORES E ANO	MÉTODO	TIPO	MERCADORIA	LOCAL PESQUISADO	OPERACIONAL	FINANCEIRO	AMBIENTAL
Rail track infrastructure ownership: Investment and operational issues	Ferreira (1997)	Estudo de caso	estudo de caso	Não especificado	Austrália	X	X	
US rail freight performance under downsized regulation	Spychalski e Swan (2004)	Estudo de caso	estudo de caso	Não especificado	EUA	X	X	
A strategic model of freight operations for rail transportation systems	Fernández et al. (2004)	Simulação/Modelagem matemática	simulação e modelagem matemática	Não especificado	Não especificado	X	X	
Railway corporate governance in a free-functioning freight transport market: A South African position	Pienaar (2010)	Estudo de caso	estudo de caso	Carvão e minério de ferro	África do Sul	X	X	
Development of Railway Regulatory Scheme in Central Java Region of Indonesia	Wachi et al. (2011)	Estudo de caso	estudo de caso	Containers e graneis	Indonésia		X	
North American freight rail industry real-time optimized equipment distribution systems: State of the practice	Gorman et al. (2011)	Estudo de caso	estudo de caso	Não especificado	EUA	X	X	
Optimizing railway crew scheduling at DB Schenker	Jütte et al. (2011)	Simulação/Modelagem matemática Estudo de caso	simulação e modelagem matemática estudo de caso	Não especificado	Alemanha	X	X	
Service network design for freight railway transportation: the Italian case	Lulli et al. (2011)	Simulação/Modelagem matemática Estudo de caso	simulação e modelagem matemática estudo de caso	Não especificado	Itália	X	X	
Spatial assignment of emissions using a new locomotive emissions model	Gould e Niemeier (2011)	Simulação/Modelagem matemática Estudo de múltiplos casos	simulação e modelagem matemática estudo de múltiplos	Não especificado	EUA			X
Divide-and-price: A decomposition algorithm for solving large railway crew scheduling problems	Jütte e Thonemann (2012)	Estudo de caso	estudo de caso	Não especificado	Europa	X	X	
On the influence of freight trains on humans: a laboratory investigation of the impact of nocturnal low frequency vibration and noise on sleep and heart rate	Smith et al. (2013)	Estudo de caso Experimento	estudo de caso experimento	Não especificado	Suécia			X
Can efficiency improvements reduce resource consumption? A historical analysis of ten activities.	Dahmus (2014)	Estudo de múltiplos casos	estudo de múltiplos casos	Não especificado	EUA e mundo*			X
Global trade, local impacts: lessons from California on health impacts and environmental justice concerns for residents living near freight rail yards	Hricko et al. (2014)	Estudo de múltiplos casos	estudo de múltiplos casos	Não especificado	EUA			X
An empirical analysis of Australian freight rail demand	Wijeweera et al. (2014)	Simulação/Modelagem matemática	simulação e modelagem matemática	Não graneis	Austrália		X	
Combined empty and loaded train scheduling for dedicated freight railway corridors	Upadhyay e Bolia (2014)	Simulação/Modelagem matemática Estudo de caso	simulação e modelagem matemática estudo de caso	Não especificado	índia	X	X	
Considerations in modelling freight rail noise	Schulten et al. (2015)	Estudo de caso	estudo de caso	Não especificado	Austrália	X		X
Development around freight rail corridors: noise assessment and mitigation	Schulten e Parnell (2015)	Estudo de múltiplos casos	estudo de múltiplos casos	Não especificado	Austrália			X
Operation of freight railways in densely used mixed traffic networks—An impact model to quantify changes in freight train characteristics	Fumasoli et al. (2015)	Simulação/Modelagem matemática	simulação e modelagem matemática	Não especificado	Suíça	X		X
Estimating order delivery times and fleet capacity in freight rail networks: part I—simulation modelling	Godwin et al. (2015)	Simulação/Modelagem matemática Estudo de caso	simulação e modelagem matemática estudo de caso	Não especificado	índia	X	X	

Fonte: o autor (2021)

Quadro 3 – Revisão sistemática da literatura inicial: parte B

TÍTULO	DADOS DOS ARTIGOS					DESEMPENHO		
	AUTORES E ANO	MÉTODO	TIPO	MERCADORIA	LOCAL PESQUISADO	OPERACIONAL	FINANCEIRO	AMBIENTAL
Research indicators of railway transport activity in time series	Chistik et al. (2016)	Estudo de caso	estudo de caso	Não especificado	Rússia	X	X	
Vibration from freight trains fragments sleep: A polysomnographic study	Smith et al. (2016)	Estudo de caso	estudo de caso	Não especificado	Não especificado			X
Freight rail transport governance: An international issue	Pienaar (2016)	Estudo de múltiplos casos	estudo de múltiplos casos	Não especificado	Não especificado	X		
Research of energy efficiency and reduction of environmental pollution in freight rail transportation	Lebedevas et al. (2017)	Estudo de caso	estudo de caso	Não especificado	Lituânia			X
Medium-to-low-speed freight rail transport induced environmental vibration and analysis of the vibration isolation effect of building slope protection piles	Sun e Gao (2017)	Simulação/Modelagem matemática Estudo de caso	simulação e modelagem matemática estudo de caso	Não especificado	China	X		X
Devising a method for the automated calculation of train formation plan by employing genetic algorithms.	Butko et al. (2017)	Simulação/Modelagem matemática Estudo de caso	simulação e modelagem matemática estudo de caso	Não especificado	Ucrânia	X		
Assessing the Environmental Impact of the Self-propelled Bulk Carriage through LCA	Hegedić et al. (2018)	Estudo de caso	estudo de caso	Não especificado	Não especificado	X		X
Error types and potential mitigation strategies in Signal Passed at Danger (SPAD) events in an Australian rail organisation.	Punzet et al. (2018)	Estudo de caso	estudo de caso	Containers e granéis	Austrália	X		X
Prediction of arrival times of freight traffic on US railroads using support vector regression	Barbour et al. (2018)	Simulação/Modelagem matemática Estudo de caso	simulação e modelagem matemática estudo de caso	Não especificado	EUA	X		
Modeling and field testing of an electromagnetic energy harvester for rail tracks with anchorless mounting	Lin et al. (2018)	Simulação/Modelagem matemática Estudo de caso Experimento	simulação e modelagem matemática estudo de caso	Não especificado	Não especificado	X	X	
Impact of the economic situation in the Slovak Republic on performances of railway transport	Danis et al. (2019)	Estudo de caso	estudo de caso	Não especificado	Eslováquia		X	
Evaluating a distributed regenerative braking system for freight trains	Pyper e Heyns (2019)	Simulação/Modelagem matemática Estudo de caso	simulação e modelagem matemática estudo de caso	Não especificado	Não especificado		X	X
Agriculture, transportation, and the COVID-19 crisis	Gray (2020)	Estudo de múltiplos casos	estudo de múltiplos casos	Agrícolas	Canadá	X	X	
Railway crew scheduling with semi-flexible timetables	Rählmann e Thonemann (2020)	Estudo de múltiplos casos	estudo de múltiplos casos	Não especificado	Europa	X	X	
Coordinated dispatch of integrated electricity-natural gas system and the freight railway network	Long et al. (2020)	Simulação/Modelagem matemática Estudo de caso	simulação e modelagem matemática estudo de caso	Gás natural liquefeito	China		X	X
Efficiency Analysis of Russian Rail Freight Transportation Companies with Super Slack-Based Measurement Data Environment Analysis	Maltseva et al. (2020)	Simulação/Modelagem matemática Estudo de caso	simulação e modelagem matemática estudo de caso	Não especificado	Rússia	X	X	
Enhanced data reconciliation of freight rail dispatch data	Barbour et al. (2020)	Simulação/Modelagem matemática Estudo de caso	simulação e modelagem matemática estudo de caso	Não especificado	EUA	X		
Echno-economic analysis of freight railway electrification by overhead line, hydrogen and batteries: Case studies in Norway and USA.	Zenith et al. (2020)	Simulação/Modelagem matemática Estudo de múltiplos casos	simulação e modelagem matemática estudo de múltiplos casos	Não especificado	EUA e Noruega		X	X
Transport policy, rail freight sector and market structure: The economic effects in Brazil	Betarelli Jr et al. (2020)	Simulação/Modelagem matemática Estudo de múltiplos casos	simulação e modelagem matemática estudo de múltiplos casos	Não especificado	Brasil		X	
An intelligent social-based method for rail-car fleet sizing problem.	Zahrani et al. (2021)	Simulação/Modelagem matemática	simulação e modelagem matemática	Não especificado	Não especificado	X	X	

Fonte: o autor (2021)

Os próximos subtópicos dentro deste capítulo irão apresentar os resultados referentes ao desempenho operacional, financeiro e ambiental no transporte ferroviário de cargas encontrados na literatura científica. Os indicadores foram incluídos através de suas siglas para facilitar a leitura visual dos resultados, onde a legenda com o significado de cada indicador e sigla está retratado no apêndice 2.

2.2.1.1 Desempenho operacional no contexto do transporte ferroviário de cargas

Ferreira (1997) em um estudo de caso analisou a relação entre a concessões da malha e as operadoras de transporte ferroviário de cargas na Austrália. Foi proposto um modelo de administração da malha sendo gerenciado por uma *joint venture*, com potencial de gerar maior competitividade de frete entra as operadoras, bem como proporcionar novos entrantes, como pequenas operadoras ferroviárias, contribuindo para maior utilização do sistema ferroviário de cargas. Concluiu que o nível de serviço de uma operadora de transporte ferroviário de cargas está relacionado com o tempo de ciclo e com a previsibilidade de suas operações, sendo que estas duas variáveis de serviço estão associadas a infraestrutura da malha ferroviária. Sobre a utilização da capacidade de infraestrutura ferroviária, concluíram que quando o fluxo de trens está próximo da capacidade máxima do sistema os atrasos inesperados provocam aumento nos tempos de ciclo e geram filas e congestionamentos que reduzem a capacidade do sistema. Ainda foram identificados que investimentos centrados no controle e comunicação de trens; melhorias na via férrea e ampliação ou extensão de pátios de cruzamento tem grande potencial para contribuir para a melhoria de desempenho operacional em sistemas de transporte ferroviário de carga.

Mais tarde Spsychalski e Swan (2004) em um estudo de caso avaliaram a evolução do transporte ferroviário de cargas nos Estados Unidos perante a redução dos níveis de interferência governamental no setor de transporte ferroviário de cargas. Os resultados mostram que houveram reduções históricas nas tarifas de transporte praticadas, que foram proporcionadas pelos ganhos de produtividade no segmento. Concluíram que melhorias na produtividade operacional em transporte ferroviário de cargas reduzem os custos relacionados ao transporte e pode ser obtido através de

uma série de iniciativas, dentre elas: não prestação de serviços que causem prejuízo, utilização de equipamentos mais eficientes, regras trabalhistas mais flexíveis e reduções no quadro funcional. Além disto os ganhos de produtividade podem proporcionar reduções nas tarifas de transporte sem comprometer o lucro ou até mesmo maximizando o lucro.

Ainda em 2004 Fernández *et al.* (2004) em um trabalho de simulação e modelagem matemática desenvolveram um modelo de simulação estratégico para representar e analisar detalhadamente operações ferroviárias de cargas. Concluíram que os principais fatores de desempenho operacional em ferroviárias de cargas são tempo de ciclo e as propriedades da malha que variam conforme as características dos trens, prioridades de trens, número de trens em circulação, rota e nos tempos de fila e congestionamentos experimentados pelos trens. O estudo também destaca como fundamental para o bom desempenho operacional do sistema o planejamento das movimentações de vagões vazios.

Posteriormente Pienaar (2010) em um estudo de caso analisou as perspectivas de governança corporativa e políticas governamentais para contribuir com o desenvolvimento sólido do transporte ferroviário de cargas na África do Sul. Concluíram que uma operação de transporte ferroviário de cargas competitiva e orientada para o lucro requer a definição de indicadores de desempenho claros e adequados, bem como o monitoramento das operações com o objetivo de medir a rentabilidade financeira. O objetivo de uma operação ferroviária eficiente é minimizar os custos variáveis diretos relacionados a operação, para que as tarifas possam contribuir mais ativamente com os custos fixos indiretos e também com maiores lucros.

Já Gorman *et al.* (2011) em um estudo de caso avaliaram os benefícios e as medidas de sucesso de sistemas de otimização em tempo real em duas operadoras ferroviárias de cargas nos EUA. Concluíram que o desempenho operacional em operações ferroviárias de cargas pode ser avaliado pela relação das movimentações de transporte de cargas remuneradas com relação ao total de movimentações numa operação ferroviária. No entanto o estudo ainda concluí que cada operação pode ter seu desempenho mensurado com uma metodologia exclusiva devido as particularidades e complexidades únicas de cada sistema. O estudo também conclui

que o aumento no tempo de ciclo está associado a capacidade operacional, sendo que quanto menor for o tempo de ciclo maior será a capacidade operacional do sistema ferroviário. Assim um planejamento adequado que contribua para a redução de movimentação de vagões vazios e a alocação de vagões corretos para atender demandas específicas proporciona ciclos enxutos e maior capacidade operacional."

Por sua vez Jütte *et al.* (2011) em um estudo de caso com simulação e modelagem matemática desenvolveram um software numa operação ferroviária de cargas na Alemanha para otimização da logística a alocação de maquinistas em operações rotineiras do dia a dia e também no planejamento estratégico. Concluíram que trens de curto prazo não programados, são comuns nas operações ferroviárias de cargas e possuem grande potencial de refletir negativamente na capacidade operacional da malha ferroviária. Estes trens podem ser uma nova demanda ou um trem para atender algum serviço interno da operadora ferroviária.

Neste mesmo ano Lulli *et al.* (2011) em um estudo de caso com simulação e modelagem matemática realizaram uma análise operacional numa operadora ferroviária de cargas na Itália e também desenvolveram um modelo matemático de otimização de diversas variáveis operacionais e com o objetivo de minimizar os custos de transporte. Diagnosticaram que cerca de 40% dos vagões retornavam vazios para atenderem novas demandas de transporte. Através da utilização do modelo matemático foi possível reduzir em cerca de 15% a movimentação de vagões vazios, refletindo num aumento na ordem de 10% na movimentação de cargas. Concluíram que a gestão de vagões vazios, o planejamento de manobras ao longo do trajeto e a priorização de trens devem ser cuidadosamente gerenciados pois representam uma parcela significativa nos custos de transporte ferroviários e de aumento nos tempos de ciclo. O estudo ainda conclui que há uma relação entre tempo de ciclo, custos de transporte e movimentação de cargas.

Posteriormente Jütte e Thonemann (2012) em um estudo de caso desenvolveram um algoritmo para otimização dos custos referentes a logística de maquinistas de uma operadora de transporte ferroviário na Europa. Concluíram que um sistema ferroviário de cargas, quase que sempre, tem características de um sistema de longas distâncias, composto por inúmeras viagens de trens, onde em cada viagem diferentes maquinistas conduzem o trem entre sua origem e destino. Apesar

das grandes complexidades dos sistemas ferroviários de cargas as programações logísticas precisam ser geradas rapidamente, uma vez que as operações e programações de trens são bastante voláteis e dinâmicas.

Passados dois anos Upadhyay e Bolia (2014) em um estudo de caso com simulação e modelagem matemática propuseram um algoritmo para otimização da utilização de material rodante em uma operação ferroviária de cargas na Índia, utilizando como base a diferenciação entre vagões carregados e vazios. Concluíram que modelos de simulação e otimização são ferramentas com baixo tempo de resposta e que fornecem um valioso suporte quantitativo, suportando tomadas de decisão de planejamento operacional com maior qualidade e mais lucrativas em cenários complexos, como as operações ferroviárias de cargas. A premissa básica para um planejamento operacional de circulação de trens se dá, principalmente, pelo cumprimento dos horários programados.

No ano seguinte Schulten *et al.* (2015) em um estudo de caso discutiram as questões a serem consideradas para analisar com sucesso os ruídos do transporte ferroviário de cargas. Concluíram que as operações ferroviárias de cargas envolvem uma série de variáveis complexas, onde cada local da malha possui um comportamento operacional diferente, variando ainda com características do tipo do trem.

Já Fumasoli *et al.* (2015) em um trabalho de trabalho de simulação e modelagem matemática avaliaram o efeito das características de trens de carga no consumo de capacidade da malha em uma operação ferroviária mista (cargas e passageiros) na Suíça. Concluíram que os diferentes tipos de trens que circulam no mesmo trecho e possuem diferentes características como peso do trem; tamanho do trem; velocidade máxima de condução; condições de frenagem e aceleração, influenciam diretamente a perda de capacidade dos sistemas ferroviários. Sugere-se que operações ferroviárias com maiores níveis de padronização tendem a ser mais eficiente que operações diversificadas. Concluíram também uma relação entre a velocidade de condução dos trens, tempo de ciclo e capacidade, onde a operação de trens mais rápidos reduz o tempo de ciclo e proporciona maior capacidade operacional.

Neste mesmo ano Godwin *et al.* (2015) em um estudo de caso com simulação e modelagem matemática desenvolveram um algoritmo para avaliar a capacidade dinâmica de uma operação de transporte ferroviário de cargas na Índia em relação a quantidade de ativos ferroviários alocados na malha. Verificou-se uma relação entre saturação da malha, tempo de ciclo, congestionamentos e filas com a quantidade de ativos em operação (vagões e locomotivas). Os resultados sugerem que se deve controlar rigidamente o tamanho da frota de ativos avaliando o impacto operacional na saturação do sistema. Concluíram que a capacidade operacional é ampliada ao se adicionar ativos em uma operação ferroviária até o ponto que o aumento na saturação da malha não reflita no aumento dos tempos de ciclo devido a filas e congestionamentos.

Posteriormente Chistik *et al.* (2016) em um estudo de caso analisaram dados históricos de operação ferroviária de cargas e passageiros de uma operadora ferroviária na Rússia. Através da análise histórica foi possível verificar um crescimento no transporte ferroviário de cargas e uma retração no transporte ferroviário de passageiros. Para mensurar os resultados e a evolução do transporte ferroviário de cargas foi utilizada a relação entre distância percorrida e volume movimentado.

Assim Pienaar (2016) em um estudo de múltiplos casos avaliou os modelos dos vagões ferroviários de cargas mais utilizados em todo o mundo. Concluiu que a utilização e alocação de vagões adequados contribui para uma operação ferroviária de cargas mais eficientes, sendo que há três fatores primordiais para escolha do vagão adequado: características da carga a ser transportada; características e limitações de infraestrutura ferroviária; características dos locais de carga e descarga.

No ano seguinte Sun e Gao (2017) em um estudo de caso com simulação e modelagem matemática analisaram a medição das vibrações sonoras causadas pela movimentação de trens de carga em uma região urbana da China. Concluíram através do estudo realizado características operacionais que diferem trens de cargas de trens de passageiros, sendo que trens de cargas são mais pesados e operam em velocidades mais baixas, se comparado a trens de passageiros, que são mais leves e que geralmente trafegam em velocidades maiores ou até mesmo em altas velocidades.

Já Butko *et al.* (2017) em um estudo de caso com simulação e modelagem matemática elaboraram método matemático para otimizar as programações referentes formação de trens de cargas na Ucrânia. Os resultados da simulação mostraram que o método é capaz de aumentar a produtividade da operação ferroviária de cargas, proporcionando carregamentos adicionais. Concluíram ainda que uma das maiores oportunidades para aumentar a produtividade operacional em sistemas ferroviários de cargas está na elaboração de um planejamento operacional eficiente, programando o tráfego ferroviário e todas as atividades intermediárias em pátios de processamento.

Passado um ano Hegedić *et al.* (2018) em um estudo de caso avaliaram o ciclo de vida da atividade de manutenção da malha no transporte ferroviário de cargas através da utilização de vagão com sistema de tração próprio e controlado por controle remoto. Concluíram que indicador mais apropriado para calcular as movimentações em transporte ferroviário de cargas é a combinação entre a distância percorrida versus a carga transportada, pois através dele é possível representar as duas principais variáveis de desempenho operacional em ferrovias.

Já Punzet *et al.* (2018) em um estudo de caso analisaram eventos de desvios de segurança operacional durante a condução de trens em uma ferrovia australiana. Através da avaliação dos relatórios de viagens foi possível diagnosticar que 97,1% dos eventos de desvios de segurança operacional foram classificados como "ato do maquinista", onde 74,3% destes eram de total responsabilidade e causa do maquinista, onde os principais motivos eram: violação da velocidade de condução permitida, distração do condutor (foco em atividades consideradas de baixa criticidade) e falta de habilidade dos maquinistas. Concluíram que independentemente do treinamento, a operação de trens será diferente entre diferentes maquinistas devido a fatores comportamentais humanos, sendo que o modo de condução de um trem por um maquinista possui grande relação com o consumo de combustível e eficiência energética da viagem ferroviária. Devem ser realizados monitoramentos contínuos de desempenho dos maquinistas para determinar se cada maquinista está lidando com seu trem de maneira segura e eficiente, bem como devem ser realizados treinamentos abrangentes para garantir que os condutores utilizem comportamentos estratégicos e técnicas exclusivas para cada trecho.

Assim Barbour *et al.* (2018) em um estudo de caso com simulação e modelagem matemática propuseram em uma operação ferroviária de cargas nos Estados Unidos um modelo baseado em dados para programar a previsão de trens com base nas propriedades de cada trem com as características da malha ferroviária e com os conflitos de tráfego. Os resultados mostraram uma melhoria na ordem de 14% referentes a previsão dos trens, sendo que em alguns pontos específicos da malha ferroviária a melhoria se deu na ordem de 21%. Concluíram que os tempos de viagens numa operação de transporte ferroviários de cargas sofre grandes variabilidades à medida que a saturação da capacidade malha ferroviária vai aumentando devido a quantidade de trens operando simultaneamente. Destaca-se ainda que a maior heterogeneidade das características dos trens na malha, como por exemplo mercadoria; cargas; peso do trem; tamanho do trem; entre outros, contribuem para baixas previsibilidades em operação ferroviárias de cargas. O estudo ainda conclui que a previsibilidade e a capacidade ferroviárias são afetadas de forma significativa pela alta volatilidade dos tempos de operação em pátios de processamento e também pelo baixo desempenho do planejamento da logística de maquinistas. Sobre infraestrutura ferroviária e desempenho operacional foi possível concluir que vias duplas geram maior capacidade operacional do que operações em linhas singelas (únicas), no entanto são poucas as áreas de linha dupla na maioria dos sistemas ferroviários de cargas em todo o mundo devido aos elevados custos de construção de infraestrutura ferroviária."

Ainda neste mesmo ano Lin *et al.* (2018) em um estudo de caso experimental com simulação e modelagem matemática propuseram e testaram um dispositivo piezoelétrico de geração de energia a partir da instalação de molas que absorvem a energia da vibração oriundas da circulação de trens. Os resultados mostraram que o equipamento se mostrou prático e de rápida instalação, sendo que os testes de campo mostram um potencial de geração de energia na ordem de 7W a 56W. Concluíram que os principais fatores de desempenho para este tipo dispositivo estão na dureza da mola e no arranjo dos componentes internos. Concluíram que sua aplicação pode contribuir para a redução de custos com a geração de energia própria para equipamentos ferroviários ao longo da malha e também permite fornecer energia em locais remotos, contribuindo para o desempenho e segurança operacional."

Posteriormente Gray (2020) em um estudo de múltiplos casos avaliou os impactos causados pela pandemia da doença COVID na cadeia de suprimentos agrícolas no Canadá. Os resultados mostram que a participação agrícola dos modais de transporte ferroviário, rodoviário e hidroviário aumentou, uma vez que houve a diminuição da demanda de transporte por outros setores da economia, gerando capacidade adicional para atender a demanda de transporte de produtos agrícolas, que em possuem relação com a demanda mundial por alimentos. Concluiu que o transporte de commodities agrícolas, geralmente realizado em longas distâncias, sendo fortemente dependente do modal ferroviário e hidroviário, bem como de portos e terminais para ser competitivo. O desempenho operacional entre as partes diretamente ou indiretamente envolvidas é fundamental para tornar a logística financeiramente eficiente. No entanto trajetos curtos dentro desta logística de longas distâncias são realizados, quase que exclusivamente, através do modal rodoviário.

Ainda no ano de 2020 Rählmann e Thonemann (2020) em um estudo de múltiplos casos desenvolveram na Europa um algoritmo com horários flexíveis de trens para auxiliar na logística e alocação de maquinistas em uma rede ferroviária de cargas com baixa utilização e saturação de capacidade de malha. Os resultados mostraram uma redução de até 27,4% no tempo de espera do trem aguardando maquinista. Concluíram que a flexibilização de trens através priorização de trens ou mudança de sequenciamento de trens em uma malha ferroviária de alta saturação é geralmente inviável devido às limitações físicas da infraestrutura ferroviárias ou por conta do impacto operacional e de custos em toda a operação ferroviária.

Já Maltseva *et al.* (2020) em um estudo de caso com simulação e modelagem matemática analisaram a eficiência operacional e financeira das 5 maiores operadoras ferroviárias da Rússia. Concluíram a eficiência operacional pode ser avaliada pela relação entre o tamanho da frota de vagões, movimentação total (distância versus volume movimentado), quadro funcional (número de colaboradores). Concluiu-se também que as empresas com menor diversidade de cargas possuem tendencia de serem mais eficientes em termos operacionais, uma vez que os ativos são quase que exclusivos, universais e dedicados a apenas um segmento, sendo que uma empresa com grande diversidade de segmentos possui muitos e diferentes ativos, sendo que a utilização total dos ativos depende de inúmeros fatores de diversos segmentos.

Ainda neste ano Barbour *et al.* (2020) em um estudo de caso com simulação e modelagem matemática desenvolveram uma ferramenta para completar dados de operações ferroviárias de cargas incompletos ou duvidosos através da avaliação e posteriores correção de dados históricos pré processados e que não satisfaçam premissas. Os resultados mostram que após a correção dos dados foram normalizadas variações erradas na ordem 15% em relação aos valores apontados. A ferramenta ainda aumenta o número de apontamentos em relação ao total de atividades realizada de 40% para aproximadamente 95%; sendo dentre os eventos de responsabilidade do operador/maquinista as causas mais constantes eram a violação da velocidade de condução permitida e distração do condutor (foco em atividades consideradas de baixa criticidade). Concluíram que a crescente utilização de ferramentas de otimização para auxiliar no desempenho operacional em transporte ferroviário de cargas necessita uma grande quantidade de dados operacionais confiáveis e precisos.

Mais recentemente Zahrani *et al.* (2021) em um trabalho de trabalho de simulação e modelagem matemática desenvolveram um modelo dinâmico de dimensionamento e alocação de vagões para determinar como os ativos devem ser distribuídos entre diferentes operações e demandas, de modo a maximizar a operação global. Os resultados mostram melhorias de até 27% na movimentação ferroviária total através da utilização do modelo. Concluíram que a capacidade operacional em sistemas ferroviários de cargas é dinâmica e dependem de diferentes fatores, dentre eles: localização de vagões, tamanho da frota de vagões, disponibilidade de vagões vazios e carregados, horário de necessidade de carregamento e descarga de vagões pelos clientes, entre outros. O estudo ainda destaca que o transporte ferroviário de cargas é a opção mais segura em termos de segurança operacional, se comparado com outros modais.

No Quadro 4 foram identificados os indicadores que suportaram os estudos referentes aos artigos selecionados e que relacionaram o transporte ferroviário de cargas com o desempenho operacional. Sendo que foi possível diagnosticar que

alguns artigos não citam indicadores em seus estudos, mas colaboram para o tema de forma qualitativa conforme apresentado anteriormente.

Quadro 4 - Avaliação de artigos de desempenho operacional no contexto do transporte ferroviário de cargas

TÍTULO	DADOS DOS ARTIGOS			INDICADORES OPERACIONAIS								
	AUTORES E ANO	MÉTODO	LOCAL PESQUISADO	TKU	TKB	C	tcFA	vc	IA	NV	HC	%qG
Rail track infrastructure ownership: Investment and operational issues	Ferreira (1997)	Estudo de caso	Austrália			X	X					
US rail freight performance under downsized regulation	Spychalski e Swan (2004)	Estudo de caso	EUA									
A strategic model of freight operations for rail transportation systems	Fernández et al. (2004)	Simulação/Modelagem matemática	Não especificado		X	X	X					
Railway corporate governance in a free-functioning freight transport market: A South African position	Pienaar (2010)	Estudo de caso	África do Sul									
North American freight rail industry real-time optimized equipment distribution systems: State of the practice	Gorman et al. (2011)	Estudo de caso	EUA	X	X	X				X		
Optimizing railway crew scheduling at DB Schenker	Jütte et al. (2011)	Simulação/Modelagem matemática Estudo de caso	Alemanha									
Service network design for freight railway transportation: the Italian case	Lulli et al. (2011)	Simulação/Modelagem matemática Estudo de caso	Itália	X	X	X						
Divide-and-price: A decomposition algorithm for solving large railway crew scheduling problems	Jütte e Thonemann (2012)	Estudo de caso	Europa				X					
Combined empty and loaded train scheduling for dedicated freight railway corridors	Upadhyay e Bolia (2014)	Simulação/Modelagem matemática Estudo de caso	Índia	X	X							
Considerations in modelling freight rail noise	Schulten et al. (2015)	Estudo de caso	Austrália									
Operation of freight railways in densely used mixed traffic networks—An impact model to quantify changes in freight train characteristics	Fumasoli et al. (2015)	Simulação/Modelagem matemática	Suíça			X		X				
Estimating order delivery times and fleet capacity in freight rail networks: part I-simulation modelling	Godwin et al. (2015)	Simulação/Modelagem matemática Estudo de caso	Índia			X	X			X		
Research indicators of railway transport activity in time series	Chistik et al. (2016)	Estudo de caso	Rússia	X								
Freight rail transport governance: An international issue	Pienaar (2016)	Estudo de múltiplos casos	Não especificado									
Medium-to-low-speed freight rail transport induced environmental vibration and analysis of the vibration isolation effect of building slope protection piles	Sun e Gao (2017)	Simulação/Modelagem matemática Estudo de caso	China					X				
Devising a method for the automated calculation of train formation plan by employing genetic algorithms.	Butko et al. (2017)	Simulação/Modelagem matemática Estudo de caso	Ucrânia									
Assessing the Environmental Impact of the Self-propelled Bulk Carriage through LCA	Hegedić et al. (2018)	Estudo de caso	Não especificado	X	X							
Error types and potential mitigation strategies in Signal Passed at Danger (SPAD) events in an Australian rail organisation.	Punzet et al. (2018)	Estudo de caso	Austrália						X			
Prediction of arrival times of freight traffic on US railroads using support vector regression	Barbour et al. (2018)	Simulação/Modelagem matemática Estudo de caso	EUA			X						
Modeling and field testing of an electromagnetic energy harvester for rail tracks with anchorless mounting	Lin et al. (2018)	Simulação/Modelagem matemática Estudo de caso Experimento	Não especificado									
Agriculture, transportation, and the COVID-19 crisis	Gray (2020)	Estudo de múltiplos casos	Canadá	X	X							
Railway crew scheduling with semi-flexible timetables	Rählmann e Thonemann (2020)	Estudo de múltiplos casos	Europa									
Efficiency Analysis of Russian Rail Freight Transportation Companies with Super Slack-Based Measurement Data Envelopment Analysis	Maltseva et al. (2020)	Simulação/Modelagem matemática Estudo de caso	Rússia	X	X	X				X	X	
Enhanced data reconciliation of freight rail dispatch data	Barbour et al. (2020)	Simulação/Modelagem matemática Estudo de caso	EUA									
An intelligent social-based method for rail-car fleet sizing problem.	Zahrani et al. (2021)	Simulação/Modelagem matemática	Não especificado	X	X				X	X		X

Fonte: o autor (2021)

Ainda foi possível identificar dois artigos que conceituaram como avaliar o desempenho operacional no transporte ferroviário de cargas, conforme ilustrado no quadro 5.

Quadro 5 – Artigos que conceituaram como avaliar o desempenho operacional no transporte ferroviário de cargas

TÍTULO	DADOS DOS ARTIGOS			Principal KPI para avaliar o desempenho operacional
	AUTORES E ANO	MÉTODO	PÁIS PESQUISADO	
Efficiency Analysis of Russian Rail Freight Transportation Companies with Super Slack-Based Measurement Data Envelopment Analysis	Maltseva et al. (2020)	Simulação/Modelagem matemática Estudo de caso	Rússia	Movimentações remuneradas (TKU) em relação a quantidade de vagões operacionais (tamanho da frota) versus quantidade de maquinistas disponíveis (quadro funcional) versus tempo de ciclo (C) KPI = (movimentações remuneradas)/(tamanho da frota*quadro funcional)
North American freight rail industry real-time optimized equipment distribution systems: State of the practice	Gorman et al. (2011)	Estudo de caso	EUA	Movimentações remuneradas (TKU) em relação total de movimentações (TKB) KPI = (movimentações remuneradas)/(total de movimentações)

Fonte: o autor (2021)

2.2.1.2 Desempenho financeiro no contexto do transporte ferroviário de cargas

Ferreira (1997) em um estudo de caso analisou a relação entre as concessões da malha e as operadoras de transporte ferroviário de cargas na Austrália. Foi proposto um modelo de administração da malha sendo gerenciado por uma joint venture, com potencial de gerar maior competitividade de frete entre as operadoras, bem como proporcionar novos entrantes, como pequenas operadoras ferroviárias, contribuindo para maior utilização do sistema ferroviário de cargas. Conclui que operadores ferroviários de cargas estão preocupados em reduzir os custos operacionais e aumentar a receita, por meio do crescimento da participação no mercado ou do aumento das tarifas de frete, sendo que os aumentos de participação de mercado estão relacionados com o nível de serviço que cada operador ferroviário pode oferecer. Sugeriu-se que a implantação de novas soluções seja previamente analisada uma vez que podem retratar aumentos nos custos com manutenção,

refletindo diretamente no aumento das tarifas de frete ferroviário ou na redução dos lucros.

Posteriormente Spychalski e Swan (2004) em um estudo de caso avaliaram a evolução do transporte ferroviário de cargas nos Estados Unidos perante a redução dos níveis de interferência governamental no setor de transporte ferroviário de cargas. Os resultados mostram que houve reduções históricas nas tarifas de transporte praticadas, que foram proporcionadas pelos ganhos de produtividade no segmento. Concluíram que melhorias na produtividade operacional em transporte ferroviário de cargas reduzem os custos relacionados ao transporte e pode ser obtido através de uma série de iniciativas, dentre elas: não prestação de serviços que causem prejuízo, utilização de equipamentos mais eficientes, regras trabalhistas mais flexíveis e reduções no quadro funcional. Além disto os ganhos de produtividade podem proporcionar reduções nas tarifas de transporte sem comprometer o lucro ou até mesmo maximizando o lucro.

No mesmo ano Fernández *et al.* (2004) em um trabalho de trabalho de simulação e modelagem matemática desenvolveram um modelo de simulação estratégico para representar e analisar detalhadamente operações ferroviárias de cargas. Concluíram que os custos operacionais em uma operação ferroviária de cargas esta relacionado com desempenho operacional e com as características da malha. Destacou-se também que priorizações de trens em sistemas ferroviárias geram operações e/ou movimentação adicionais, que refletem em maiores custos operacionais.

Passados alguns anos Pienaar (2010) em um estudo de caso analisou as perspectivas de governança corporativa e políticas governamentais para contribuir com o desenvolvimento sólido do transporte ferroviário de cargas na África do Sul. Concluíram que uma operadora ferroviária de cargas possui um objetivo comercial, onde todos os custos relacionados ao transporte devem ser pagos por seus contratantes. A tarifa de frete cobre os custos variáveis diretos incorridos na prestação do serviço de transporte, contribuindo também para os custos fixos indiretos. O objetivo de uma operação ferroviária eficiente é minimizar os custos variáveis diretos relacionados a operação, para que as tarifas possam contribuir mais ativamente com os custos fixos indiretos e também com maiores lucros.

No ano seguinte Wachi *et al.* (2011) em um estudo de caso analisaram as operações e a infraestrutura ferroviária na Indonésia e propuseram uma nova regulamentação para o transporte ferroviário de cargas. Os resultados mostram a viabilidade financeira do transporte ferroviário de cargas, onde através de projetos propostos como a aquisição de ativos ferroviários (vagões e locomotivas) e investimentos para iniciar a movimentações de containers por vias férreas se tem uma taxa interna de retorno sobre os investimentos na ordem de 26% a 37% do valor investido. Concluíram que o transporte ferroviário de cargas deve ser incentivado, sendo classificado como uma atividade essencial para a manutenção das atividades econômicas das regiões sob influência da faixa de domínio ferroviário.

Já Gorman *et al.* (2011) em um estudo de caso avaliaram os benefícios e as medidas de sucesso de sistemas de otimização em tempo real em duas operadoras ferroviárias de cargas nos EUA. Concluíram que entre a origem e destino de um fluxo ferroviário, diferentes operações podem ser realizadas ao longo do trajeto, sendo que cada operação agrega um custo operacional diferente.

Ainda em 2011 Jütte *et al.* (2011) em um estudo de caso com simulação e modelagem matemática desenvolveram um software numa operação ferroviária de cargas na Alemanha para otimização da logística a alocação de maquinistas em operações rotineiras do dia a dia e também no planejamento estratégico. Concluíram que um dos mais representativos custos do transporte ferroviário de cargas está nos custos relacionados a logística e alocação de maquinistas em trens, que constituem custos com hotéis; hora extras; diárias; refeições; taxi; entre outros, sendo uma atividade complexa devido a dependência do planejamento e gestão da circulação de trens, bem como devido as inúmeras restrições legais e trabalhistas da categoria. A gestão adequada da logística e alocação de maquinistas deve ter como objetivo principal reduzir todos os custos logísticos referentes a esta atividade, sendo que os resultados mostraram que a planejamento centralizado da logística e alocação de maquinistas pode trazer um resultado na ordem de 12% em custos em relação ao planejamento local em regiões geográficas pré-definidas.

Neste contexto Lulli *et al.* (2011) em um estudo de caso com simulação e modelagem matemática realizaram uma análise operacional numa operadora ferroviária de cargas na Itália e também desenvolveram um modelo matemático de otimização de diversas variáveis operacionais e com o objetivo de minimizar os custos

de transporte. Diagnosticaram que cerca de 40% dos vagões retornavam vazios para atenderem novas demandas de transporte. Através da utilização do modelo matemático foi possível reduzir em cerca de 15% a movimentação de vagões vazios, refletindo num aumento na ordem de 4% nos custos de transporte. Concluíram que a gestão de vagões vazios, o planejamento de manobras ao longo do trajeto e a priorização de trens devem ser cuidadosamente gerenciados pois representam uma parcela significativa nos custos de transporte ferroviários e de aumento nos tempos de ciclo. O estudo ainda conclui que há uma relação entre tempo de ciclo, custos de transporte e movimentação de cargas. Foi sugerido ainda que um indicador adequado para mensurar o desempenho financeiro em operações ferroviárias de cargas é a relação dos custos operacionais com relação as movimentações ferroviárias totais.

No ano seguinte Jütte e Thonemann (2012) em um estudo de caso desenvolveram um algoritmo para otimização dos custos referentes a logística de maquinistas de uma operadora de transporte ferroviário na Europa. Concluíram que a logística e alocação de maquinistas devem ter como principal desafio a alocação de cada maquinista em um serviço que gere o menor custo logístico possível, respeitando as restrições trabalhistas e requisitos legais. Em sistemas eficientes todas ou a maior parte das solicitações de maquinistas devem ser atendidas, evitando que trens fiquem parados e gerem filas e congestionamentos

Passados dois anos Wijeweera *et al.* (2014) em um trabalho de trabalho de simulação e modelagem matemática avaliaram os impactos da taxa de câmbio, da tarifa de frete e atividades macroeconômicas em relação a demanda por frete ferroviário não granel na Austrália. Os resultados mostraram que o câmbio, a volatilidade da moeda local e as atividades internacionais exercem um impacto considerável sobre a demanda de frete ferroviário. Concluíram que os aumentos nas tarifas de transporte impactam negativamente as demandas por transporte ferroviário de cargas, sendo que o repasse de custos com investimentos de infraestrutura em tarifas de frete possuem grande potencial para reduzir a competitividade do modal e consequentemente a demanda de transporte.

No mesmo ano Upadhyay e Bolia (2014) em um estudo de caso com simulação e modelagem matemática propuseram um algoritmo para otimização da utilização de material rodante em uma operação ferroviária de cargas na Índia, utilizando como base a diferenciação entre vagões carregados e vazios. Concluíram que a alocação

de vagões vazios está totalmente relacionada aos custos e ao nível de serviço prestado pelas operadoras de transporte ferroviário de cargas, sendo que quanto maiores forem as movimentações de vagões vazios, maiores serão os custos de transportes. O nível de serviço, na visão dos contratantes de frete ferroviário, está na pontualidade, sendo que atrasos e desvios nas operações podem ser contornados com movimentações adicionais de vagões vazios. Sugeriram que os custos de transporte sejam minimizados através de políticas de precificação e operações alternativas e focadas em reduzir as movimentações de vagões vazios.

Posteriormente Godwin *et al.* (2015) em um estudo de caso com simulação e modelagem matemática desenvolveram um algoritmo para avaliar a capacidade dinâmica de uma operação de transporte ferroviário de cargas na Índia em relação a quantidade de ativos ferroviários alocados na malha. Verificou-se que para alcançar a capacidade ideal da frota sem alocar ativos além da necessidade contribui para uma maior economia de custos, uma vez que menores serão os custos variáveis de manutenção e desgaste de componentes de vagões e locomotivas.

No ano seguinte Chistik *et al.* (2016) em um estudo de caso analisaram dados históricos de operação ferroviária de cargas e passageiros de uma operadora ferroviária na Rússia. Concluíram que as políticas de tarifas do modal ferroviário de cargas devem ser flexíveis para que este modal possa competir com outros modais concorrentes. Destaca-se também que uma alternativa para maximizar os lucros em operações ferroviários é aumentar a participação do transporte de mercadorias com alto valor agregado e que possibilitem maiores tarifas por frete e lucros.

Dois anos depois Lin *et al.* (2018) em um estudo de caso experimental com simulação e modelagem matemática propuseram e testaram um dispositivo piezoelétrico de geração de energia a partir da instalação de molas que absorvem a energia da vibração oriundas da circulação de trens. Os resultados mostraram que o equipamento se mostrou prático e de rápida instalação, sendo que os testes de campo mostram um potencial de geração de energia na ordem de 7W a 56W. Verificou-se que os principais fatores de desempenho para este tipo dispositivo estão na dureza da mola e no arranjo dos componentes internos. Concluíram que sua aplicação pode contribuir para a redução de custos com a geração de energia própria para equipamentos ferroviários ao longo da malha e também permite fornecer energia em locais remotos, contribuindo para o desempenho e segurança operacional."

Um ano depois Danis *et al.* (2019) em um estudo de caso avaliaram a relação entre as tarifas de transporte ferroviário de cargas na Eslováquia com o PIB e com o volume total movimentado. Concluíram que a utilização do transporte ferroviário de cargas aumentou ao longo dos anos, mesmo as tarifas de transporte também terem sofrido aumentos, concluindo que a demanda permanece inelástica à variação de preço. Este fato se deve a vantagens, além das financeiras, proporcionadas pelo transporte ferroviário de cargas frente a outros modais de transporte. O estudo também identificou a relação do setor de transporte ferroviário com o crescimento do PIB, que cresceram proporcionalmente, sendo um setor relevante para economia nacional.

Ainda em 2019 Pyper e Heyns (2019) em um estudo de caso com simulação e modelagem matemática analisaram a viabilidade econômica e técnica de um sistema de frenagem regenerativa distribuída para trens de cargas. Concluíram que o consumo de energia está relacionado a eficiência energética que além dos benefícios ambientais, como redução nas emissões de gases do efeito, também proporciona benefícios financeiros relevantes, como: redução de custos variáveis e relacionados a operação do trem; custos associados a impostos sobre emissões de carbono e custos relacionados a créditos de emissões de carbono. Também foi possível verificar a viabilidade econômica para sistemas de frenagem regenerativa, que podem trazer uma redução na ordem de 10% a 24% no consumo de combustíveis em operações ferroviárias de cargas.

Posteriormente Gray (2020) em um estudo de múltiplos casos avaliou os impactos relacionados ao COVID-19 na cadeia de suprimentos agrícolas no Canadá. Concluiu que o transporte de commodities agrícolas, geralmente realizado em longas distâncias, sendo fortemente dependente do modal ferroviário e hidroviário, bem como de portos e terminais para ser competitivo. O desempenho operacional entre as partes diretamente ou indiretamente envolvidas é fundamental para tornar a logística financeiramente eficiente. No entanto trajetos curtos dentro desta logística de longas distâncias são realizados, quase que exclusivamente, através do modal rodoviário. Também se concluiu que as tarifas de transporte ferroviário de cargas são fortemente dependentes e variam conforme os custos de combustíveis.

Já Rählmann e Thonemann (2020) em um estudo de múltiplos casos desenvolveram na Europa um algoritmo com horários flexíveis de trens para auxiliar

na logística e alocação de maquinistas em uma rede ferroviária de cargas com baixa utilização e saturação de capacidade de malha. Concluíram um dos principais desafios da logística e alocação de maquinistas está no planejamento que favoreça trocas de maquinistas nas estações ferroviárias ao longo do percurso de um trem, evitando custos de deslocamentos com serviços de táxi para suportar trocas ao longo da malha ferroviárias, bem como utilizar o máximo de tempo contratual do maquinista para que ele esteja conduzindo um trem ao invés de estar em deslocamento.

Ainda neste ano Long *et al.* (2020) em um estudo de caso com simulação e modelagem matemática desenvolveram um algoritmo para avaliar a sinergia e os benefícios do transporte ferroviário de cargas frente a utilização de dutos na cadeia de produção, distribuição e consumo de gás natural liquefeito (GNL) na China. A simulação mostrou que o transporte ferroviário de cargas é benéfico, proporcionando redução de custos devido maior eficiência energética em relação ao modal dutoviário. Além disso o transporte por trem possibilitou ampliar a área de distribuição de GNL, uma vez que as ferrovias atingiram locais que careciam de gasodutos. Concluíram que uma rede de distribuição de cargas multimodal pode contribuir para uma cadeia de transporte mais eficiente em termos de energia e mais rentável, utilizando o modal mais adequado em cada operação. Concluíram também que a intermodalidade também possibilita expandir e ampliar a rede de distribuição de uma operação de transporte, contribuindo para aumento nas receitas.

Assim Maltseva *et al.* (2020) em um estudo de caso com simulação e modelagem matemática analisaram a eficiência operacional e financeira das 5 maiores operadoras ferroviárias da Rússia. Concluíram transporte ferroviário pode ser reconhecido como uma parte importante da condução da economia da região sobre sua influência, sendo que sua eficiência financeira em operações ferroviárias pode ser avaliada através da relação entre custos operacionais, receita operacional, lucro operacional e resultado de ativos fixos. Foi verificado também que o aspecto legal e as políticas de controle governamentais desempenham um papel fundamental no mercado de transporte ferroviário de cargas, pois os preços e competitividade possuem forte dependência de fatores políticos.

Já Zenith *et al.* (2020) em um estudo de múltiplos casos com simulação e modelagem matemática avaliaram a viabilidade eletrificação de duas operações ferroviárias de cargas, sendo uma nos Estados Unidos e a outra na Noruega. Os

resultados mostram que a eletrificação de sistemas ferroviários é motivada pela volatilidade dos preços do óleo diesel e também pela disponibilidade de energia renovável a preços acessíveis, sendo que economicamente, a eletrificação pode reduzir os custos de energia devido ao preço mais baixo da eletricidade em comparação com o óleo diesel. Concluíram que a viabilidade de eletrificação de operações ferroviárias a diesel não podem ser generalizadas, devendo ser analisadas dentro de um contexto exclusivo, onde o custo da energia elétrica local o tópico mais relevante para este tema, sendo que a intensidade de tráfego e a disponibilidade de tecnologia também são fatores decisivos dentro do contexto a ser analisado. Verificase também que os custos com manutenção de locomotivas elétricas são menores do que a de suas equivalentes a diesel.

Ainda neste mesmo ano Betarelli Jr *et al.* (2020) em um estudo de múltiplos casos com simulação e modelagem matemática analisaram os impactos econômicos da política de revisão tarifária no setor de frete ferroviário no Brasil por meio do uso de um modelo matemático. Os resultados mostraram que a revisão tarifária de 2012 foi desafiadora porque ocorreu apenas após 15 anos do início das concessões ferroviárias, num cenário onde as operadoras de transporte ferroviário de cargas mantinham elevados preços nas tarifas de transporte pois não havia nenhuma regulamentação. Concluíram que fortes intervenções governamentais não são benéficas para o desempenho financeiro no transporte ferroviário de cargas, sendo que as consequências referentes as políticas tarifárias foram positivas para a economia nacional, mas negativas para as operadoras ferroviárias que tiveram redução dos seus investimentos, receitas e taxas de rentabilidade. Concluíram também que políticas tarifárias no setor de transporte promovem efeitos no crescimento do PIB, nas exportações e nos investimentos no setor de transportes.

Mais recentemente Zahrani *et al.* (2021) em um trabalho de trabalho de simulação e modelagem matemática desenvolveram um modelo dinâmico de dimensionamento e alocação de vagões para determinar como os ativos devem ser distribuídos entre diferentes operações e demandas, de modo a maximizar a operação global. Concluíram que os custos operacionais variam conforme a capacidade dinâmica da malha ferroviária e através da utilização de políticas de precificação dinâmica é possível aumentar a movimentação em até 27%.

No quadro 6 foram identificados os KPIs que suportaram os estudos referentes aos artigos selecionados e que relacionaram o transporte ferroviário de cargas com o desempenho financeiro. Sendo que foi possível diagnosticar que alguns artigos não citam indicadores em seus estudos, mas colaboram para o tema de forma qualitativa conforme apresentado anteriormente.

Quadro 6 - Avaliação de artigos de desempenho financeiro no contexto do transporte ferroviário de cargas

TÍTULO	DADOS DOS ARTIGOS			INDICADORES FINANCEIROS						
	AUTORES E ANO	MÉTODO	LOCAL PESQUISADO	ROL	CV	MC	CD	%CDV	AF	
Rail track infrastructure ownership: Investment and operational issues	Ferreira (1997)	Estudo de caso	Austrália	X	X	X				
US rail freight performance under downsized regulation	Spychalski e Swan (2004)	Estudo de caso	EUA	X		X				
A strategic model of freight operations for rail transportation systems	Fernández et al. (2004)	Simulação/Modelagem matemática	Não especificado	X	X	X				
Railway corporate governance in a free-functioning freight transport market: A South African position	Pienaar (2010)	Estudo de caso	África do Sul	X	X	X				
Development of Railway Regulatory Scheme in Central Java Region of Indonesia	Wachi et al. (2011)	Estudo de caso	Indonésia	X	X	X			X	
North American freight rail industry real-time optimized equipment distribution systems: State of the practice	Gorman et al. (2011)	Estudo de caso	EUA		X	X				
Optimizing railway crew scheduling at DB Schenker	Jütte et al. (2011)	Simulação/Modelagem matemática Estudo de caso	Alemanha		X					
Service network design for freight railway transportation: the Italian case	Lulli et al. (2011)	Simulação/Modelagem matemática Estudo de caso	Itália		X					
Divide-and-price: A decomposition algorithm for solving large railway crew scheduling problems	Jütte e Thonemann (2012)	Estudo de caso	Europa		X	X				
Combined empty and loaded train scheduling for dedicated freight railway corridors	Upadhyay e Bolia (2014)	Simulação/Modelagem matemática Estudo de caso	Índia	X	X	X				
Estimating order delivery times and fleet capacity in freight rail networks: part I - simulation modelling	Godwin et al. (2015)	Simulação/Modelagem matemática Estudo de caso	Índia		X					
Research indicators of railway transport activity in time series	Chistik et al. (2016)	Estudo de caso	Rússia	X	X	X				
Modeling and field testing of an electromagnetic energy harvester for rail tracks with anchorless mounting	Lin et al. (2018)	Simulação/Modelagem matemática Estudo de caso Experimento	Não especificado							
Impact of the economic situation in the Slovak Republic on performances of railway transport	Danis et al. (2019)	Estudo de caso	Eslováquia	X						
Evaluating a distributed regenerative braking system for freight trains	Pyper e Heyns (2019)	Simulação/Modelagem matemática Estudo de caso	Não especificado		X	X	X			
Agriculture, transportation, and the COVID-19 crisis	Gray (2020)	Estudo de múltiplos casos	Canadá	X			X	X		
Railway crew scheduling with semi-flexible timetables	Rählmann e Thonemann (2020)	Estudo de múltiplos casos	Europa		X					
Coordinated dispatch of integrated electricity-natural gas system and the freight railway network	Long et al. (2020)	Simulação/Modelagem matemática Estudo de caso	China	X	X	X	X	X		
Efficiency Analysis of Russian Rail Freight Transportation Companies with Super Slack Based Measurement Data Envelopment Analysis	Maltseva et al. (2020)	Simulação/Modelagem matemática Estudo de caso	Rússia	X	X	X				
Echno-economic analysis of freight railway electrification by overhead line, hydrogen and batteries: Case studies in Norway and USA	Zenith et al. (2020)	Simulação/Modelagem matemática Estudo de múltiplos casos	EUA e Noruega				X			
Transport policy, rail freight sector and market structure: The economic effects in Brazil	Betarelli Jr et al. (2020)	Simulação/Modelagem matemática Estudo de múltiplos casos	Brasil	X		X				
An intelligent social-based method for rail-car fleet sizing problem.	Zahrani et al. (2021)	Simulação/Modelagem matemática	Não especificado							

Fonte: o autor (2021)

Ainda foi possível identificar dois artigos que conceituaram como avaliar o desempenho financeiro no transporte ferroviário de cargas, conforme ilustrado no quadro 7.

Quadro 7 - Artigos que conceituaram como avaliar o desempenho financeiro no transporte ferroviário de cargas

TÍTULO	DADOS DOS ARTIGOS			Principal KPI para avaliar o desempenho financeiro
	AUTORES E ANO	MÉTODO	PAÍS PESQUISADO	
Efficiency Analysis of Russian Rail Freight Transportation Companies with Super Slack Based Measurement Data Envelopment Analysis	Maltseva et al. (2020)	Simulação/Modelagem matemática Estudo de caso	Rússia	Relação entre margem de contribuição (MC) versus receita operacional líquida (ROL) em relação ao custo variável (CV) versus o custo com ativos fixos. KPI = (ativos fixos*custos operacionais)/(receita operacional*lucro operacional)
Service network design for freight railway transportation: the Italian case	Lulli et al. (2011)	Simulação/Modelagem matemática Estudo de caso	Itália	Custos operacionais em relação total de movimentações (TKB) KPI = (custos operacionais)/(total de movimentações)

Fonte: o autor (2021)

2.2.1.3 Desempenho ambiental no contexto do transporte ferroviário de cargas

Gould e Niemeier (2011) em um estudo de múltiplos casos com simulação e modelagem matemática desenvolveram um modelo estatístico nos Estados Unidos que determina a eficiência energética e as emissões de poluentes atmosféricos através de dados geralmente observáveis ou disponíveis, levando em consideração fatores espaciais. Sugeriu-se que a eficiência energética pode ser avaliada em sistemas de transporte ferroviário de cargas através da relação entre as emissões totais resultantes da combustão de combustível com a movimentação ferroviária bruta, esta última representada pela relação de movimentação ferroviária bruta versus a distância percorrida. Concluíram que as emissões de poluentes e consumo energético em operações ferroviárias de cargas são relacionadas diretamente com o consumo de combustível, este por sua vez é amplamente influenciado pelo peso do trem, formação do trem (quantidade, localização e modelo de vagões e locomotivas), distância percorrida, velocidade e perfil e condição de via. Concluíram também que

operações ferroviárias de cargas em inclinações com o mesmo valor, em módulo, e variando positivamente ou negativamente não apresentam a mesmo número, em módulo, no consumo de combustíveis, ou seja, não se anulam. Verificou-se que corredores ferroviários planos tem menores taxas de emissões de poluentes do que regiões montanhosas.

Posteriormente Smith *et al.* (2013) em um estudo de caso experimental realizaram um estudo na Suécia sobre a influência das vibrações sonoras do modal ferroviário de cargas na saúde de seres humanos. Os resultados mostram que as frequências sonoras emitidas pelo transporte ferroviário contribuem para distúrbios do sono, bem como para elevação do ritmo cardíaco, sendo que os efeitos aumentam conforme o nível de amplitude da vibração. Concluíram que indivíduos que moram próximos a linhas ferroviárias e, portanto, sujeitos à exposição a ruído e vibração, estão em risco de ter seu sono prejudicado, tendo efeitos negativos de saúde em curto e longo prazo.

No ano seguinte Dahmus (2014) em um estudo de múltiplos casos analisou dados globais referentes a eficiência energética de 10 diferentes atividades, dentre elas o transporte ferroviário de cargas. Concluíram que historicamente a demanda movimentada através das ferrovias aumentou e as emissões de gases do efeito estufa proporcionais e unitárias reduziram. No entanto as emissões totais do setor aumentaram ao longo do tempo, sendo que os grandes desafios futuros devem estar focados nas reduções totais de emissões trazendo impactos positivos e relevantes para o meio ambiente. Os resultados ainda mostraram que através de incentivos ambientais e fiscais, exigências legais de eficiência ambiental e políticas de preços que sustentem a eficiência energética, os impactos ambientais podem ser reduzidos e até superar os crescimentos na quantidade de bens e serviços fornecidos.

No mesmo ano Hricko *et al.* (2014) em um estudo de múltiplos casos mapearam os impactos das emissões de poluentes referentes as operações de trens em pátios ferroviários nos Estados Unidos na saúde das comunidades que possuem proximidade com a faixa de domínio da ferrovia. Concluíram que a poluição pela combustão de diesel em pátios ferroviários, cria riscos significativos de câncer para aqueles que vivem perto das instalações ferroviárias, sendo uma questão de saúde pública pouco priorizada nos Estados Unidos. O estudo também identificou o perfil

socioeconômico das comunidades próximas aos pátios ferroviários e conclui que em grande maioria são pessoas de baixa renda e/ou de grupos de minoria social, o que contribui para os impactos na saúde serem ainda maiores. Sugeriu-se que esforços políticos sejam realizados para promover maior proteção à saúde pública, direcionando localizações mais isoladas para os pátios ferroviários.

Passado um ano Schulten *et al.* (2015) em um estudo de caso discutiram as questões a serem consideradas para analisar com sucesso os ruídos do transporte ferroviário de cargas. Concluíram que para contribuir com sistemas de transporte verdes é necessário que as operações ferroviárias atendam aos requisitos e normas de emissões de ruídos. No entanto é importante que seja validada e comprovada a eficácia do sistema de medição de ruídos utilizado em relação a diferentes operações de transporte e que o mesmo seja reavaliado periodicamente devido a mudanças constantes na faixa de domínio e nas áreas de relação.

Ainda no mesmo ano Schulten e Parnell (2015) em um estudo de múltiplos casos avaliaram o ruído resultante do transporte ferroviário de cargas em residências próximas a faixa de domínio na Austrália. Os resultados mostraram que expansão do setor de transporte ferroviário cargas contribui para maior proximidade da faixa de domínio com residências, sendo um tema preocupante de saúde pública. No entanto concluíram que é possível projetar novas residências ou adequar residências existentes e próximas a faixa de domínio ferroviária para que atendam os parâmetros adequados de ruído.

Já Fumasoli *et al.* (2015) em um trabalho de trabalho de simulação e modelagem matemática avaliaram o efeito das características de trens de carga no consumo de capacidade da malha em uma operação ferroviária mista (cargas e passageiros) na Suíça. Caracterizaram o segmento ferroviário de cargas como um modal de alta eficiência energética e que contribui para a redução de emissões de poluentes, ruídos e congestionamentos se comparado ao modal rodoviário de cargas.

No ano seguinte Smith *et al.* (2016) em um estudo de caso avaliaram nos Estados Unidos o impacto das vibrações e dos ruídos da operação de trens de cargas em períodos noturnos no sono humano. Os resultados mostram que a medida que o número de trens de carga nas redes ferroviárias aumenta, também aumenta a exposição à vibração das residências próximas a faixa de domínio ferroviária.

Concluíram através de uma comparação com outros modais, que o modal ferroviário de cargas junto com o rodoviário e aéreo são as principais fontes causadoras de ruídos ambientais em residências.

Posteriormente Lebedevas *et al.* (2017) em um estudo de caso realizaram uma avaliação energética e ambiental de uma ferrovia de cargas na Lituânia através de modelagem e simulações matemáticas para estimar o potencial de redução de consumo de combustível pela melhoria em eficiência energética. A avaliação é realizada através de critério sugerido para representar a eficiência energética de combustíveis em ferrovias por meio da relação de energia consumida pela movimentação ferroviária total bruta. Os resultados mostram que melhorias voltadas para a eficiência energética tem potencial de reduzir o consumo de combustíveis na ordem de 6% a 15%. Concluíram que o consumo energético varia pelas condições geográficas da malha ferroviária com o peso do trem e os tipos de locomotivas utilizados, bem como a velocidade e modo de condução de um trem. Também concluiu-se que as emissões de gases de efeito estufa em operações ferroviárias são proporcionais a quantidade de combustível consumido e a energia resultante da combustão de combustível, uma vez que os combustíveis apresentam uma composição padrão, portanto as variações percentuais no consumo energético possuem o mesmo valor percentual nos índices ambientais. Foi verificado que as emissões de motores a diesel incluem outros poluentes além do CO₂ (dióxido de carbono), tais como, MP (material particulado), CO (dióxido de carbono), NO_x (óxidos de nitrogênio), CH (benzeno) e que também variam proporcionalmente ao consumo de combustível, sendo que usualmente são representados apenas pelas emissões de CO₂ ou pela energia resultante da queima de óleo diesel.

Já Sun e Gao (2017) em um estudo de caso com simulação e modelagem matemática analisaram a medição das vibrações sonoras causadas pela movimentação de trens de carga em uma região urbana da China. Os resultados mostram que a utilização de estacas tem um potencial considerável para a redução das vibrações nas regiões adjacentes ou próximas a faixa de domínio, sendo que seu uso em fileiras duplas potencializa os resultados. Concluíram que a vibração ambiental induzida pelo transporte ferroviário de carga tornou-se um importante tipo de poluição ambiental em ferrovias de carga de média e baixa velocidade.

No ano seguinte Hegedić *et al.* (2018) em um estudo de caso avaliaram o ciclo de vida da atividade de manutenção da malha no transporte ferroviário de cargas através da utilização de vagão com sistema de tração próprio e controlado por controle remoto. Concluíram que maior impacto ambiental no segmento de transporte ferroviário de cargas está na fase de manutenção e operação, que demandam e consomem muitos recursos, especialmente quando se utilizam locomotivas a diesel. A expectativa futura é que o setor contribua para reduções significativas nas emissões de gases do efeito estufa através de soluções relevantes e sustentáveis nos processos manutenção.

Já Punzet *et al.* (2018) em um estudo de caso analisaram eventos de desvios de segurança operacional durante a condução de trens em uma ferrovia australiana. Através da avaliação dos relatórios de viagens foi possível diagnosticar que 97,1% dos eventos de desvios de segurança operacional foram classificados como "ato do maquinista", onde 74,3% destes eram de total responsabilidade e causa do maquinista, onde os principais motivos eram: violação da velocidade de condução permitida, distração do condutor (foco em atividades consideradas de baixa criticidade) e falta de habilidade dos maquinistas. Concluíram que independentemente do treinamento, a operação de trens será diferente entre diferentes maquinistas devido a fatores comportamentais humanos, sendo que o modo de condução de um trem por um maquinista possui grande relação com o consumo de combustível e eficiência energética da viagem ferroviária. Devem ser realizados monitoramentos contínuos de desempenho dos maquinistas para determinar se cada maquinista está lidando com seu trem de maneira segura e eficiente, bem como devem ser realizados treinamentos abrangentes para garantir que os condutores utilizem comportamentos estratégicos e técnicas exclusivas para cada trecho.

Posteriormente Pyper e Heyns (2019) em um estudo de caso com simulação e modelagem matemática analisaram a viabilidade econômica e técnica de um sistema de frenagem regenerativa distribuída para trens de cargas. Concluíram que o consumo de energia está relacionado a eficiência energética que além dos benefícios ambientais, como redução nas emissões de gases do efeito, também proporciona benefícios financeiros relevantes, como: redução de custos variáveis e relacionados a operação do trem; custos associados a impostos sobre emissões de carbono e

custos relacionados a créditos de emissões de carbono. Também foi possível verificar a viabilidade econômica para sistemas de frenagem regenerativa, que podem trazer uma redução na ordem de 10% a 24% no consumo de combustíveis em operações ferroviárias de cargas.

Mais recentemente Long *et al.* (2020) em um estudo de caso com simulação e modelagem matemática desenvolveram um algoritmo para avaliar a sinergia e os benefícios do transporte ferroviário de cargas frente a utilização de dutos na cadeia de produção, distribuição e consumo de gás natural liquefeito (GNL) na China. A simulação mostrou que o transporte ferroviário de cargas é benéfico, proporcionando redução de custos devido maior eficiência energética em relação ao modal dutoviário. Além disso o transporte por trem possibilitou ampliar a área de distribuição de GNL, uma vez que as ferrovias atingiram locais que careciam de gasodutos. Concluíram que uma rede de distribuição de cargas multimodal pode contribuir para uma cadeia de transporte mais eficiente em termos de energia e mais rentável, utilizando o modal mais adequado em cada operação. Concluíram também que a intermodalidade também possibilita expandir e ampliar a rede de distribuição de uma operação de transporte, contribuindo para aumento nas receitas.

Já Zenith *et al.* (2020) em um estudo de múltiplos casos com simulação e modelagem matemática avaliaram a viabilidade eletrificação de duas operações ferroviárias de cargas, sendo uma nos Estados Unidos e a outra na Noruega. Os resultados mostram que o consumo de combustível uma operação ferroviária de cargas varia conforme a inclinação da via, restrições e limites de velocidades, comprimento e peso do trem e o número de vagões. Concluíram que a eletrificação do transporte ferroviário é considerada em muitas partes do mundo como uma medida para reduzir as emissões e adaptar o setor a regulamentações ambientais cada vez mais rigorosas.

No quadro 8 foram identificados os KPIs que suportaram os estudos referentes aos artigos selecionados e que relacionaram o transporte ferroviário de cargas com o desempenho financeiro. Sendo que foi possível diagnosticar que alguns artigos não citam indicadores em seus estudos, mas colaboram para o tema e contextualizam o desempenho ambiental de forma qualitativa conforme apresentado anteriormente.

Quadro 8 - Artigos que explanaram sobre como melhor avaliar o desempenho ambiental no transporte ferroviário de cargas

TÍTULO	DADOS DOS ARTIGOS			INDICADORES AMBIENTAIS			
	AUTORES E ANO	MÉTODO	LOCAL PESQUISADO	cD	EE	mCO ₂ -eq	VA
Spatial assignment of emissions using a new locomotive emissions model	Gould e Niemeier (2011)	Simulação/Modelagem matemática Estudo de múltiplos casos	EUA	X	X	X	
On the influence of freight trains on humans: a laboratory investigation of the impact of nocturnal low frequency vibration and noise on sleep and heart rate	Smith et al. (2013)	Estudo de caso Experimento	Suécia				
Can efficiency improvements reduce resource consumption? A historical analysis of ten activities.	Dahmus (2014)	Estudo de múltiplos casos	EUA e mundo*	X	X	X	
Global trade, local impacts: lessons from California on health impacts and environmental justice concerns for residents living near freight rail yards	Hricko et al. (2014)	Estudo de múltiplos casos	EUA	X		X	
Considerations in modelling freight rail noise	Schulden et al. (2015)	Estudo de caso	Austrália				X
Development around freight rail corridors: noise assessment and mitigation	Schulden e Parnell (2015)	Estudo de múltiplos casos	Austrália				X
Operation of freight railways in densely used mixed traffic networks—An impact model to quantify changes in freight train characteristics	Fumasoli et al. (2015)	Simulação/Modelagem matemática	Suíça		X	X	
Vibration from freight trains fragments sleep: A polysomnographic study	Smith et al. (2016)	Estudo de caso	Não especificado				X
Research of energy efficiency and reduction of environmental pollution in freight rail transportation	Lebedevas et al. (2017)	Estudo de caso	Lituânia	X	X	X	
Medium-to-low-speed freight rail transport induced environmental vibration and analysis of the vibration isolation effect of building slope protection piles	Sun e Gao (2017)	Simulação/Modelagem matemática Estudo de caso	China				
Assessing the Environmental Impact of the Self-propelled Bulk Carriage through LCA	Hegedić et al. (2018)	Estudo de caso	Não especificado	X	X	X	
Error types and potential mitigation strategies in Signal Passed at Danger (SPAD) events in an Australian rail organisation.	Punzet et al. (2018)	Estudo de caso	Austrália	X			
Evaluating a distributed regenerative braking system for freight trains	Pyper e Heyns (2019)	Simulação/Modelagem matemática Estudo de caso	Não especificado	X	X	X	
Coordinated dispatch of integrated electricity-natural gas system and the freight railway network	Long et al. (2020)	Simulação/Modelagem matemática Estudo de caso	China	X	X		
Echno-economic analysis of freight railway electrification by overhead line, hydrogen and batteries: Case studies in Norway and USA.	Zenith et al. (2020)	Simulação/Modelagem matemática Estudo de múltiplos casos	EUA e Noruega	X	X	X	

Fonte: o autor (2021)

Ainda foi possível identificar dois artigos que conceituaram como avaliar o desempenho ambiental no transporte ferroviário de cargas, conforme ilustrado no quadro 9.

Quadro 9 - Artigos que conceituaram como avaliar o desempenho ambiental no transporte ferroviário de cargas.

TÍTULO	DADOS DOS ARTIGOS			Principal KPI para avaliar o desempenho ambiental
	AUTORES E ANO	MÉTODO	PÁIS PESQUISADO	
Research of energy efficiency and reduction of environmental pollution in freight rail transportation	Lebedevas et al. (2017)	Estudo de caso	Lituânia	Consumo de combustível ou energia resultante do consumo de diesel ou emissões de gases do efeito estufa (variável ambiental) em relação total de movimentações (TKB) KPI = (variável ambiental)/(total de movimentações)
Spatial assignment of emissions using a new locomotive emissions model	Gould e Niemeier (2011)	Simulação/Modelagem matemática Estudo de múltiplos casos	EUA	Emissões de gases do efeito estufa em relação total de movimentações (TKB) KPI = (emissões de GEE)/(total de movimentações)

Fonte: o autor (2021)

2.2.2 Revisão bibliométrica da literatura

Através da análise bibliométrica dos artigos foi identificado que todos os desempenhos já foram relacionados com o transporte ferroviário de cargas conforme ilustrado na figura 7. No entanto o desempenho mais estudado na literatura foi o operacional, onde 64% dos artigos abordaram o desempenho operacional no transporte ferroviário de cargas. O desempenho financeiro foi o segundo mais estudo no contexto do transporte ferroviário de cargas na literatura, estando presente em 59% dos artigos. Assim o desempenho menos abordado na literatura é o desempenho ambiental, abordado por 38% dos artigos selecionados.

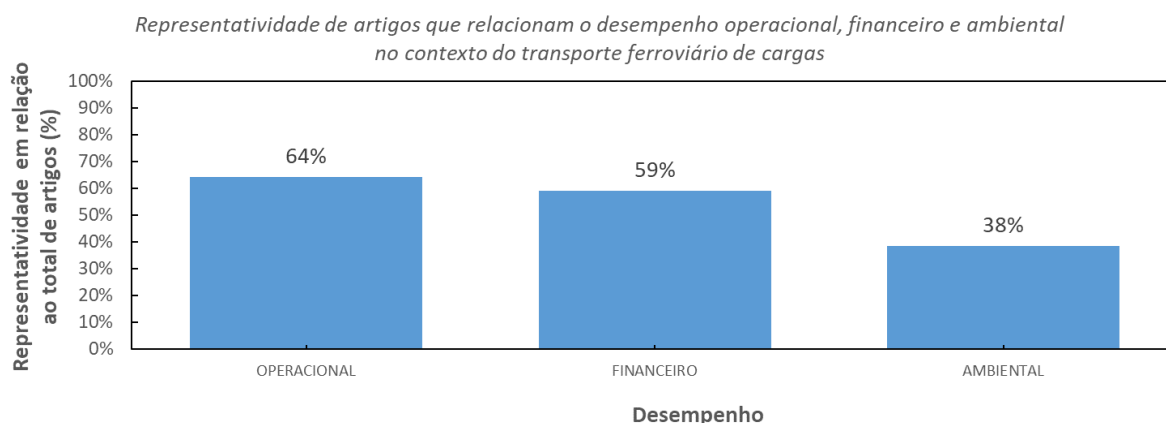


Figura 7– Representatividade de artigos que relacionam o desempenho operacional, financeiro e ambiental no contexto do transporte ferroviário de cargas

Fonte: o autor (2021)

A partir da figura 8 foi possível classificar os artigos conforme os desempenhos no qual cada artigo aborda no contexto do transporte ferroviário de cargas. Verificou-se que 41% do total dos artigos abordaram o desempenho operacional e financeiro. Também foi verificado que 38% do total de artigos estão centrados na relação de apenas um desempenho. A avaliação ainda mostra que nenhum artigo abordou o desempenho operacional, desempenho financeiro e desempenho ambiental, juntos, no transporte ferroviário de cargas, sendo uma lacuna de pesquisa a ser trabalhada neste trabalho.

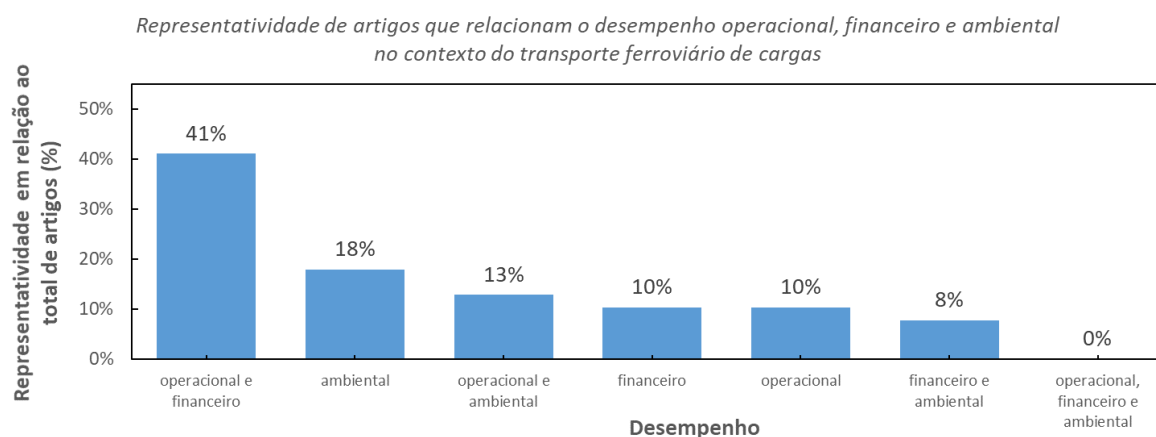


Figura 8 – Representatividade de artigos que relacionam o desempenho operacional, financeiro e ambiental no contexto do transporte ferroviário de cargas

Fonte: o autor (2021)

A análise cronológica dos artigos representado na figura 9 mostra que houve uma evolução a partir do ano de 2014 na publicação de trabalhos referentes ao tema pesquisado. O ano de 2011 também se mostrou um ano relevante e ímpar, se comparado ao seu ano posterior e antecessor. No entanto destaca-se o ano de 2020 como o mais representativo e verifica-se que em 2021 até julho/21 apenas 1 trabalho abordou o tema pesquisa.



Figura 9 – Quantidade de artigos com relação ao seu ano de publicação

Fonte: o autor (2021)

Com relação ao país pesquisado a tabela 1 representa um resumo dos artigos selecionados. Através dela foi possível verificar que os locais mais pesquisados são dois países desenvolvidos, os Estados Unidos da América com 15% dos artigos e a Austrália com 13% dos artigos. Apenas 1 artigo realizou pesquisa em países Latino-Americanos, sendo o Brasil o país estudado e representando 3% do total de artigos selecionados. Com relação ao nível de desenvolvimento dos países pesquisados 51% dos artigos selecionados, sendo mais do que a metade, estavam centrados em países desenvolvidos. 31% dos países pesquisados são emergentes, sendo que 18% dos trabalhos não referenciaram nenhum país pesquisado e 0% dos países pesquisados são não desenvolvidos. Assim é possível verificar outro gap de pesquisa, relacionado a: países latino-americanos, Brasil, países emergentes e países não desenvolvidos.

Tabela 1 – Artigos com relação ao local pesquisado

LOCAL PESQUISADO	QUANTIDADE DE ARTIGOS	% DO TOTAL DE ARTIGOS
Não especificado	7	18%
EUA	6	15%
Austrália	5	13%
Europa	2	5%
Russia	2	5%
China	2	5%
Índia	2	5%
Eslováquia	1	3%
EUA e mundo	1	3%
Suíça	1	3%
Canadá	1	3%
Brasil	1	3%
África do Sul	1	3%
Suécia	1	3%
Indonésia	1	3%
Ucrânia	1	3%
Itália	1	3%
EUA e Noruega	1	3%
Lituânia	1	3%
Alemanha	1	3%

Fonte: o autor (2021)

2.2.3 Síntese de indicadores utilizados no contexto do transporte ferroviário de cargas

Foi possível diagnosticar que diversos artigos utilizam indicadores para fundamentar o desempenho operacional, desempenho financeiro e desempenho ambiental no contexto do transporte ferroviário de cargas. No entanto poucos artigos utilizaram um indicador principal para definir o desempenho operacional, desempenho financeiro e desempenho ambiental no transporte ferroviário de cargas. Destes poucos nenhum artigo avaliou os três desempenhos propostos juntos.

Através de um quadro resumo representada pelo quadro 10 foi possível verificar que os indicadores de desempenho operacional mais utilizados foram TKU; TKB e C, presentes respectivamente em 26%; 26% e 21% de todos os artigos selecionados. Os de indicadores desempenho financeiros mais utilizados foram ROL;

CV e MC, presentes respectivamente em 33%; 38% e 33% de todos os artigos selecionados. E por fim os indicadores ambientais mais utilizados foram cD; EE e mCO₂-eq, presentes respectivamente em 26%; 21% e 21% de todos os artigos selecionados

Quadro 10 - Artigos avaliaram desempenho operacional, financeiro e ambiental no contexto do transporte ferroviário de cargas através de um principal

SIGLA INDICADOR	DESCRIÇÃO INDICADOR	AUTORES	ARTIGOS	% EM RELAÇÃO AO TOTAL
INDICADORES OPERACIONAIS				
TKU	Mercadoria transportada e remunerada (t) versus distância percorrida (km)	Gray (2020), Zahrani et al. (2021), Hegedić et al. (2018), Upadhyay e Bolla (2014), Maltseva et al. (2020), Danis et al. (2019), Gorman et al. (2011), Chistik et al. (2016), Lulli et al. (2011), Zenith et al. (2020)	10	26%
TKB	Movimentação ferroviária bruta (t) versus distância percorrida (km) Movimentação remunerada + não remunerada + massa dos ativos ferroviários	Fernández et al. (2004), Gray (2020), Zahrani et al. (2021), Hegedić et al. (2018), Upadhyay e Bolla (2014), Maltseva et al. (2020), Danis et al. (2019), Gorman et al. (2011), Lulli et al. (2011), Gould e Niemeier (2011)	10	26%
C	Tempo de ciclo médio total Somatória dos tempos de: carga, descarga e trânsito de ida e volta.	Fernández et al. (2004), Maltseva et al. (2020), Godwin et al. (2015), Gorman et al. (2011), Fumasoli et al. (2015), Barbour et al. (2018), Ferreira (1997), Lulli et al. (2011)	8	21%
tcFA	Tempo médio de fila e anomalias	Fernández et al. (2004), Jütte e Thonemann (2012), Godwin et al. (2015), Ferreira (1997)	4	10%
vc	Velocidade média de condução	Sun e Gao (2017), Fumasoli et al. (2015)	2	5%
iA	Índice de acidentes Quantidade de acidentes por movimentação ferroviária total	Zahrani et al. (2021), Punzet et al. (2018)	2	5%
NV	Frota de vagões	Zahrani et al. (2021), Wachi et al. (2011), Maltseva et al. (2020), Godwin et al. (2015), Gorman et al. (2011), Zenith et al. (2020)	6	15%
HC	Quadro funcional: quantidade de maquinistas	Maltseva et al. (2020)	1	3%
%qG	% de acidentes graves	Zahrani et al. (2021)	1	3%
INDICADORES FINANCEIROS				
ROL	Receita operacional líquida	Fernández et al. (2004), Gray (2020), Wijeweera et al. (2014), Upadhyay e Bolla (2014), Long et al. (2020), Wachi et al. (2011), Maltseva et al. (2020), Danis et al. (2019), Ferreira (1997), Pienaar (2010), Chistik et al. (2016), Betarelli Jr et al. (2020), Spychalski e Swan (2004)	13	33%
CV	Custo variável	Fernández et al. (2004), Upadhyay e Bolla (2014), Long et al. (2020), Wachi et al. (2011), Jütte e Thonemann (2012), Maltseva et al. (2020), Godwin et al. (2015), Pyper e Heyns (2019), Gorman et al. (2011), Jütte et al. (2011), Ferreira (1997), Pienaar (2010), Rählmann e Thonemann (2020), Chistik et al. (2016), Lulli et al. (2011)	15	38%
MC	Margem de contribuição (lucro operacional bruto)	Fernández et al. (2004), Upadhyay e Bolla (2014), Long et al. (2020), Wachi et al. (2011), Jütte e Thonemann (2012), Maltseva et al. (2020), Pyper e Heyns (2019), Gorman et al. (2011), Ferreira (1997), Pienaar (2010), Chistik et al. (2016), Betarelli Jr et al. (2020), Spychalski e Swan (2004)	13	33%
CD	Custos com óleo diesel	Gray (2020), Long et al. (2020), Pyper e Heyns (2019), Zenith et al. (2020)	4	10%
%CDV	Percentual do custo de diesel sobre o custo variável total	Gray (2020), Long et al. (2020)	2	5%
AF	Ativos fixos	Wijeweera et al. (2014), Wachi et al. (2011)	2	5%
INDICADORES AMBIENTAIS				
cD	Consumo de combustível (óleo diesel)	Gray (2020), Long et al. (2020), Pyper e Heyns (2019), Zenith et al. (2020)	10	26%
EE	Eficiência energética em relação ao total de movimentações (TKB)	Hegedić et al. (2018), Dahmus (2014), Long et al. (2020), Pyper e Heyns (2019), Fumasoli et al. (2015), Lebedevas et al. (2017), Gould e Niemeier (2011), Zenith et al. (2020)	8	21%
mCO ₂ -eq	Emissões de dióxido de carbono equivalente	Hegedić et al. (2018), Dahmus (2014), Pyper e Heyns (2019), Hricko et al. (2014), Fumasoli et al. (2015), Lebedevas et al. (2017), Gould e Niemeier (2011), Zenith et al. (2020)	8	21%
VA	Vibrações ambientais	Schulten et al. (2015), Schulten e Parnell (2015), Smith et al. (2016)	3	8%

Fonte: o autor (2021)

Sobre os artigos que mais explanaram sobre como avaliar o desempenho operacional, financeiro e ambiental no transporte ferroviário de cargas foi proposto o quadro 11. Nele é possível verificar cada desempenho sendo explorado por 2 artigos, sendo que apenas 1 artigo aborda mais que um desempenho.

Quadro 11 - Resumo de artigos que explanaram sobre como melhor avaliar o desempenho no transporte ferroviário de cargas

TÍTULO	DADOS DOS ARTIGOS				DESEMPENHO		
	AUTORES	ANO	MÉTODO	PÁIS PESQUISADO	Operacional	Financeiro	Ambiental
Efficiency Analysis of Russian Rail Freight Transportation Companies with Super Slack-Based Measurement Data Envelopment Analysis	Maltseva et al.	2020	Simulação/Modelagem matemática Estudo de caso	Rússia	X	X	
North American freight rail industry real-time optimized equipment distribution systems: State of the practice	Gorman et al.	2011	Estudo de caso	EUA	X		
Research of energy efficiency and reduction of environmental pollution in freight rail transportation	Lebedevas et al.	2017	Estudo de caso	Lituânia			X
Service network design for freight railway transportation: the Italian case	Lulli et al.	2011	Simulação/Modelagem matemática Estudo de caso	Itália		X	
Spatial assignment of emissions using a new locomotive emissions model	Gould e Niemeier	2011	Simulação/Modelagem matemática Estudo de múltiplos casos	EUA			X

Fonte: o autor (2021)

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo explana-se os materiais e métodos utilizados na realização deste trabalho, com o objetivo de interpretar claramente o caminho seguido e de que forma a pesquisa foi conduzida. Adotou-se as seguintes etapas para o desenvolvimento do trabalho: definição do problema, delimitação da pesquisa, coleta de dados, análise de dados e apresentação de resultados, sendo que a figura 10 representa esta estrutura (YIN, 2015).



Figura 10 - Estrutura de um estudo de caso

Fonte: adaptado de YIN (2015)

Cada uma dessas etapas foi desenvolvida em um dos tópicos apresentados a seguir. A primeira etapa, definição do problema, aborda o problema de pesquisa já identificado anteriormente e os procedimentos utilizados para execução da revisão bibliográfica. A segunda etapa, delimitação da pesquisa, aborda os métodos de pesquisa adotados para desenvolver o estudo de caso, delimitando o que está fora do escopo do trabalho. A terceira etapa, coleta de dados, esclarece como foi realizada a coletados os dados a partir do histórico de operações ferroviárias de cargas e de informações disponíveis no banco de dados da empresa, bem como na realização de entrevistas semiestruturadas. Por fim a última etapa, análise dos dados, apresenta a forma como essa análise foi desenvolvida. A apresentação do resultado não é tema deste capítulo.

Nesta pesquisa foi utilizada uma abordagem de natureza combinada, ou seja, tanto qualitativa como quantitativa. A pesquisa considerou as informações numéricas para fundamentar os seus pressupostos e os aspectos subjetivos que permitem análises mais profundas para orientar os seus meios, como a pesquisa bibliográfica (YIN, 2015). O intuito de combinar duas abordagens está na necessidade de reduzir as distâncias entre a teoria e os números, permitindo assim que o pesquisador observe

os dados sob a perspectiva de alguém dentro da organização, mas sem prejudicar o contexto da literatura e as ações práticas desenvolvidas pelas empresas (BRYMAN, 1989).

Com relação aos fins, este trabalho é classificado com uma pesquisa exploratória e descritiva. É uma pesquisa descritiva porque procura descrever os diversos fatos e fenômenos de uma determinada realidade. Também é uma pesquisa exploratória pois tem o objetivo de proporcionar maior familiaridade com o problema, partindo de um tema pouco explorado e tornando-o mais explícito, através da realização de pesquisa bibliográfica aliada a um estudo de caso (GIL, 2007).

Este trabalho também pode ser categorizado como uma pesquisa aplicada, uma vez que procura analisar a solução de um problema concreto encontrado no mundo real, servindo para gerar conhecimento acadêmico, técnico e corporativo (KARLSSON, 2009). O método utilizado é o método hipotético-indutivo, onde a construção das hipóteses e indicadores parte da observação empírica do campo (YIN, 2015). A partir desse método, é possível construir novos conceitos, novas hipóteses e o próprio modelo que será posto à prova dos fatos.

Em relação ao procedimento metodológico, trata-se de um estudo de caso, sendo caracterizado como um estudo de uma entidade bem definida, objetivando profundamente o como e o porquê de uma determinada situação, a partir do que há nela de essencial e característico (FONSECA, 2002). Adequado para assuntos amplos e complexos, pouco explorados, o estudo de caso visa a oportunidade de apresentar novas soluções na realidade prática de empresas. É também considerado como um estudo de caso único, pois é focado em inovação, a partir de uma situação pouco explorada, tendo características de um estudo pioneiro. Assim, o estudo de caso único é o procedimento metodológico mais adequado para este trabalho, pois trata-se de uma pesquisa rara que relaciona desempenho operacional, financeiro e ambiental no contexto do transporte ferroviário de cargas em um país emergente latino-americano como o Brasil.

3.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

A etapa mais importante para se iniciar um trabalho de pesquisa é a definição da questão inicial ou do problema de pesquisa que irá nortear todo o trabalho de pesquisa. É um passo aparentemente simples, mas fundamental para o sucesso da pesquisa, onde sua correta construção garante uma melhor fluidez para as próximas fases (YIN, 2015).

Neste trabalho o problema de pesquisa foi desenvolvido no capítulo introdutório e resultou na seguinte pergunta de pesquisa: Qual a efetividade e as contribuições proporcionadas por ações de melhorias e resolução de problemas no desempenho operacional, financeiro e ambiental em uma empresa de transporte ferroviário de cargas nas regiões sudeste e centro-oeste do Brasil?

Para verificar de modo empírico e introdutório o problema de pesquisa, foi realizado um levantamento bibliográfico e revisão da literatura a respeito da produção acadêmica em bases de dados e informações técnicas, históricas e informativas disponibilizadas por agências regulatórias, empresas, entidades representativas e instituições governamentais sobre os temas desempenho operacional, financeiro e ambiental no transporte ferroviário de cargas.

A Revisão sistemática e bibliométrica é um método de pesquisa que procura responder questionamentos teóricos por meio da análise do conhecimento acumulado pelos pesquisadores, respondendo uma questão de pesquisa científica específica (CONFORTO *et al.*, 2011).

Assim foram baixados nas bases de dados um total de 191 artigos. A seleção destes artigos foi realizada por meio de uma adaptação do fluxograma da metodologia Prisma, representado na figura 11, que de acordo com Galvão *et al.* (2015) e Moher *et al.* (2016) consiste em um método para orientar os autores a melhorar o relato de revisões e meta-análises, podendo ser entendido também como uma base para relatos de revisões.

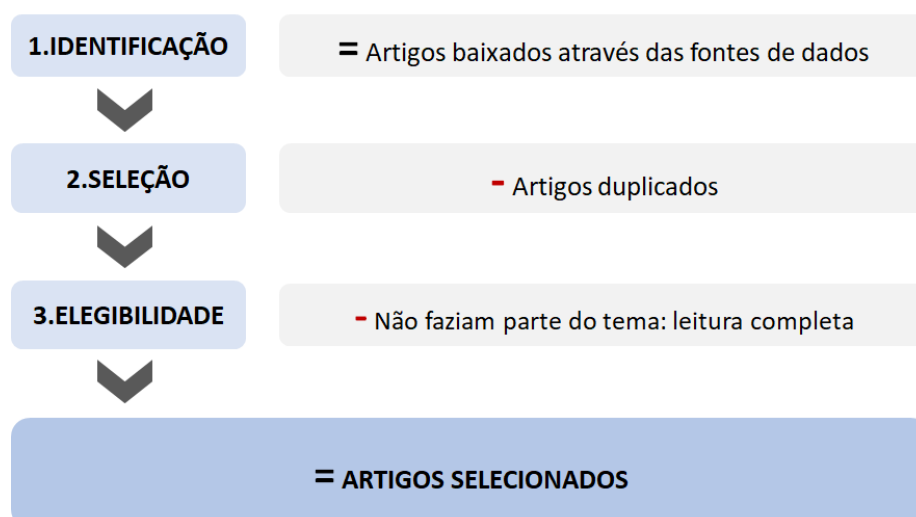


Figura 11 - Esquema adaptado de método Prisma

Fonte: adaptado de Moher *et al.* (2016)

3.2 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

A empresa de transporte ferroviário de cargas estudada é a maior operadora de logística independente do Brasil e possui a concessão de 5 malhas ferroviárias no Brasil. Realiza o transporte de commodities agrícolas como grãos (soja, farelo de soja e milho), açúcar e fertilizantes, bem como containers, celulose e combustíveis (biocombustível e derivados de petróleo). Suas operações abrangem os estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Goiás e Tocantins, sendo responsáveis por mais de 25% do volume grãos exportados pelo Brasil.

Para uma melhor análise, este trabalho procurou limitar suas análises ao estudo de caso de desempenho e transporte ferroviário de cargas nos estados de São Paulo, Mato Grosso do Sul e Mato Grosso, denominada de Operação Norte, que é a maior operação da empresa, representando cerca de 75% de toda a sua operação e compreende as regiões sudeste e centro-oeste do Brasil. Assim a delimitação a um ponto específico contribui para reduzir a complexidade da análise, pois caso contrário seria necessário coletar dados de toda a operação ferroviária. Neste contexto, o foco em um ponto específico não prejudica a análise dos benefícios gerados e que poderiam ser capturados pela operação ferroviária como um todo. No entanto a

quantificação dos benefícios só será feita para o estudo de caso sob análise, uma vez que os resultados só poderão ser benéficos para todo o sistema de forma qualitativa, e não quantitativa, pois cada operação tem suas características ímpares. A figura 12 representa a concessão da malha ferroviária da Empresa ABC e todas suas operações: Operação Norte, Operação Sul, Operação Central e Portos. Vale destacar que a Operação Central iniciou suas operações parciais em 2020, sendo que seu trecho ainda está em construção.

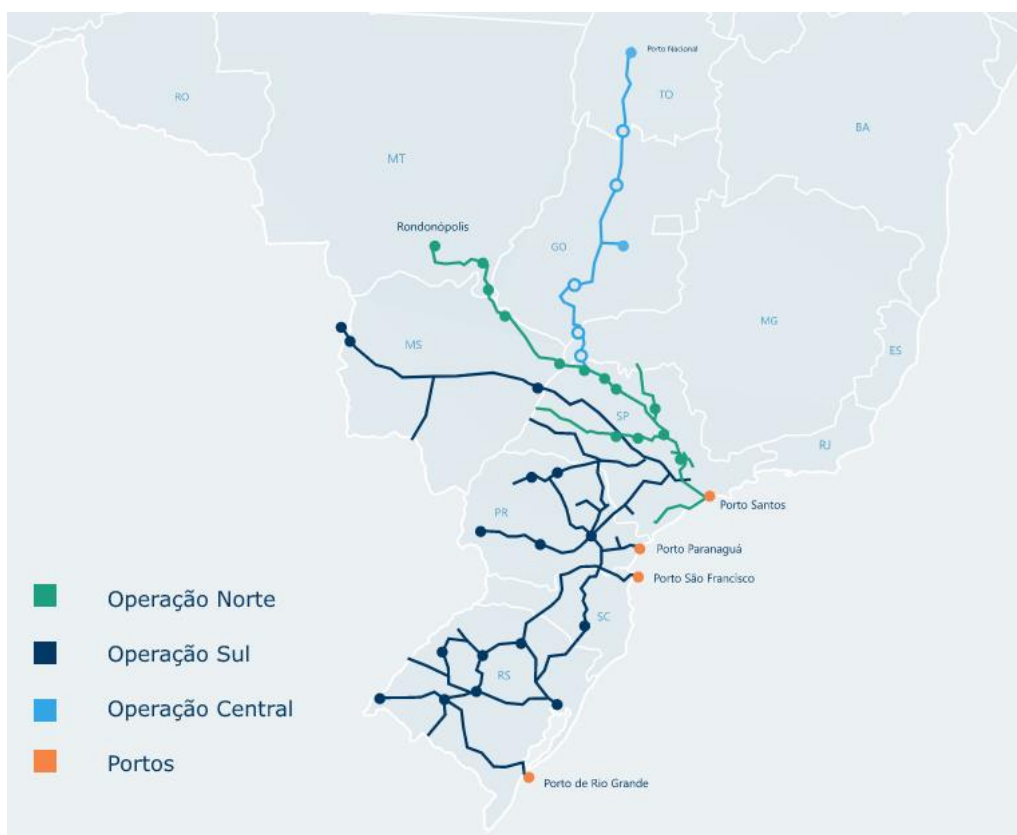


Figura 12 – Malha ferroviária e concessões da Empresa ABC

Fonte: adaptado de Empresa ABC (2021).

3.3 COLETA DE DADOS

A coleta de dados deve ser composta por diversas fontes de evidências secundárias e primárias. A combinação das informações obtidas das diferentes fontes permite que seja realizada a triangulação dos dados com objetivo de evitar distorções,

permitindo dessa forma a produção de resultados mais confiáveis e precisos (YIN, 2015). Optou-se por coletar os dados por meio de observações em campo, entrevistas semiestruturadas, análise de documentos e dos dados da empresa e análise de informações disponíveis em sistemas eletrônicos.

Para verificar dados históricos da empresa desde 2015, seu primeiro ano de operação a análise documental foi de extrema importância. Por meio de impressos e sistemas eletrônicos, bases de dados numéricos, relatórios operacionais, relatórios gerenciais e indicadores de desempenho foram os principais documentos analisados.

Foram realizadas também, observações diretas do pesquisador sobre o desempenho operacional, financeiro e ambiental sobre o transporte ferroviário de cargas, buscando identificar condições características e comportamentos relevantes para a pesquisa. A observação direta tem a vantagem de proporcionar ao pesquisador uma visão de campo, com a mesma perspectiva técnica de pessoas que realizam as atividades estudadas (YIN, 2015).

As entrevistas são umas das fontes de informações mais importantes para o estudo de casos, são conversas guiadas e geralmente são conduzidas de forma espontânea. Este estudo utilizou entrevista em profundidade com o intuito de desenvolver o entrevistado para que ele se sinta à vontade para propor suas próprias opiniões sobre diferentes temas (YIN, 2015). Foram realizadas entrevistas com 7 especialistas e gestores da Empresa ABC, que atuavam como especialistas, coordenadores ou gerentes nas áreas de operações, planejamento e controle da produção, engenharia de operações, finanças e meio ambiente.

Através das informações coletadas no banco de dados e documentos da empresa, foi possível coletar os indicadores fornecidos pela Empresa ABC. Não foi possível coletar dados referentes as vibrações sonoras ambientais (VA) devido à falta de medições deste tema na Empresa ABC, sendo que conforme revisão da literatura é um indicador ambiental importante no contexto do transporte ferroviário.

No estudo de campo foi possível realizar viagens de trens no Porto de Santos em Santos/SP, onde foi possível compreender a atividade de condução de trem com maquinista em uma locomotiva híbrida diesel-elétrica; acompanhar operações de carregamento, descarga e manobras ferroviárias em pátios e terminais portuários do Porto de Santos em Santos/SP e Guarujá/SP; acompanhar a gestão da circulação de

trens no Centro de Controle Operacional - CCO da Empresa (ABC) em Curitiba/PR, estando presente em um momento de crise devido a um acidente ferroviário; acompanhar a gestão operacional de trens no Porto de Santos no Centro de Controle de Produção – CCP da Empresa ABC em Santos/SP; participar de apresentações executivas da área de meio ambiente da Empresa ABC virtualmente; participar de atividades e reuniões virtuais de planejamento e programação de trens com analistas de planejamento e operação da empresa ABC; participar de reuniões explicativas com o setor financeiro de Empresa ABC; participar de reuniões e eventos de apresentações de sistemas de gestão de operações com o setor de tecnologia da informação e empresas subcontratadas da Empresa ABC.

Nas entrevistas com especialistas e gestores da Empresa ABC foram explanados os problemas referentes aos primeiros anos de operação ferroviária. Também foram detalhadas de forma minuciosa as ações promovidas pela empresa para melhoria e resolução de problemas e que contribuíram para o desempenho operacional, financeiro e ambiental. O formulário utilizado nas entrevistas está anexado no apêndice 1.

3.4 ANÁLISE DE DADOS

Após a coleta de dados e indicadores da Empresa ABC, foram analisados e categorizados, sendo posteriormente tabulados em matrizes com o intuito de realizar as análises (MILES E HUBERMAN, 1994).

Para organizar os indicadores fornecidos houve a classificação de cada indicador, junto com os especialistas e gestores da Empresa ABC, dentro dos três conceitos de indicadores: indicadores operacionais, indicadores financeiros e indicadores ambientais. Como marco inicial do estudo de caso definiu-se o ano de 2016 como *baseline* do estudo, que foi o primeiro ano onde havia dados disponíveis e confiáveis relacionados ao transporte ferroviário de cargas pela empresa ABC, mesmo a empresa disponibilizando alguns dados e indicadores referentes ao ano de 2015. Nos quadros foram incluídas a classificação “MELHOR” (maior ou menor), que representa se um crescimento ou retração de cada indicador reflete uma melhoria ou piora, sendo que há indicadores que podem melhorar ou piorar conforme o objetivo

da análise e não foram classificados. No quadro 12 estão representados os indicadores operacionais.

Quadro 12 - Indicadores da Empresa ABC

SIGLA	DESCRIÇÃO	UNIDADE	DESEMPENHO
TKU	Mercadoria transportada e remunerada (t) versus distância percorrida (km)	t.km	OPERACIONAL
TKB	Movimentação ferroviária bruta (t) versus distância percorrida (km) Movimentação remunerada + não remunerada + massa dos ativos ferroviários	t.km	OPERACIONAL
C	Tempo de ciclo médio total Somatória dos tempos de: carga, descarga e trânsito de ida e volta.	dias	OPERACIONAL
tcFA	Tempo médio de fila e anomalias	dias	OPERACIONAL
vc	Velocidade média de condução	km/h	OPERACIONAL
iA	Índice de acidentes Quantidade de acidentes por movimentação ferroviária total	acidentes/(t.km)	OPERACIONAL
NV	Frota de vagões	vagões	OPERACIONAL
HC	Quadro funcional: quantidade de maquinistas	pessoas	OPERACIONAL
%qG	% de acidentes graves	%	OPERACIONAL
IO-1	Índice operacional 1 Movimentações remuneradas (TKU) em relação total de movimentações (TKB)	-	OPERACIONAL
IO-2	Índice operacional 2 Movimentações remuneradas (TKU) em relação a frota (vagões) versus quadro funcional (maquinistas) versus tempo de ciclo (C)	(t.km)/(vgs.pessoas.dias) . 10 ⁻¹	OPERACIONAL
ROL	Receita operacional líquida	R\$	FINANCEIRO
CV	Custo variável	R\$	FINANCEIRO
MC	Margem de contribuição (lucro operacional bruto)	R\$	FINANCEIRO
CD	Custos com óleo diesel	R\$	FINANCEIRO
%CDV	Percentual do custo de diesel sobre o custo variável total	%	FINANCEIRO
AF	Ativos fixos	R\$	FINANCEIRO
IF-1	Índice financeiro 1 Custo variável (CV) em relação as movimentações remuneradas (TKU)	R\$/(t.km) . 10 ²	FINANCEIRO
IF-2	Índice financeiro 2 Margem de contribuição (MC) versus receita operacional Líquida (ROL) em relação ao custo variável (CV) versus ativos fixos (AF)	-	FINANCEIRO
cD	Consumo de combustível (óleo diesel)	L (litros)	AMBIENTAL
mCO ₂ -eq	Emissões de dióxido de carbono equivalente	t (tonelada)	AMBIENTAL
EE	Eficiência energética em relação ao total de movimentações (TKB)	TEP/(t.km) . 10 ⁻⁶	AMBIENTAL
IA	Índice ambiental Emissões de CO ₂ -eq (mCO ₂ -eq) em relação ao total de movimentações (TKB)	(t.CO ₂ -eq)/(t.km) . 10 ⁻⁶	AMBIENTAL

Para analisar quantitativamente a relação entre problemas, ações e desempenho operacional, ambiental e financeiro, utilizou-se os critérios de avaliação propostos pelos especialistas e gestores da Empresa ABC: alta, média, baixa e nula, com as respectivas pontuações 3; 2; 1; 0 e explanados na tabela 2. Neste contexto de acordo com Siena (2008) não há padrões rígidos para as técnicas de ponderação, onde a decisão sobre critérios de avaliação e sua pontuação devem levar em conta opinião de especialistas e consenso de participantes. O resultado final das avaliações foram concebidos através do consenso entre a maioria dos especialistas entrevistados.

Tabela 2 – Critérios para avaliação e pontuação

AVALIAÇÃO	PONTUAÇÃO
alta	3
média	2
baixa	1
nula	0

Fonte: o autor (2021)

Assim as avaliações realizadas através desta escala foram quantificadas, também conforme sugestão dos especialistas e gestores da Empresa ABC, em porcentagem com referência a relação máxima possível, onde quanto mais próximo de 100% estiver o resultado da avaliação, maior a relação entre os itens avaliados, e quanto mais próximo de 0% estiver o resultado da avaliação, menor a relação entre os itens avaliados, sendo que um resultado de 0% significa que não há relação alguma entre os dados avaliados. A figura 13 exemplifica a dinâmica utilizada de forma mais clara.

1.AVALIAÇÃO		
ITENS NÚMÉRICOS	ITENS DO ALFABETO	
	Item A	Item B
Item 1	alta	
Item 2		baixa
Item 3	média	

2.PONTUAÇÃO		
ITEM ANALISADO	Item A	Item B
Item 1	3	0
Item 2	0	1
Item 3	2	0
PONTOS TOTAIS	5	1
PONTOS MÁXIMOS POSSÍVEIS = 3 itens x 3 pontos	9	9
RESULTADO = pontos totais / pontos máximos possíveis	56%	11%
ANÁLISE	Os itens numéricos possuem maior relação com o item A em relação ao item B	

Figura 13 - Exemplo de avaliação de relação entre itens

Fonte: o autor (2021)

Foram verificadas e analisadas as relações entre: problemas e desempenhos; problemas e ações; ações e desempenhos.

Os indicadores operacionais, financeiros e ambientais foram analisados através dos resultados de 2016 frente aos resultados de 2020, bem como também foram avaliados, graficamente o desempenho ao longo deste período.

Para avaliar a correlação dos dados com o objetivo de verificar a relação entre desempenho operacional, financeiro e ambiental, bem como a relação entre indicadores, foi utilizado o conceito proposto por Pearson (1892), onde o resultado da correlação varia entre -1 e 1, sendo que: resultados mais próximos de 1 apresentam correlação diretamente proporcionais; resultados mais próximos de 0 não possuem correlação; resultados mais próximos de -1 apresentam correlação inversamente proporcional.

Assim foi verificada a correlação dos dados ano a ano de cada indicador de desempenho com relação a outros indicadores de outro desempenho, conforme

descrito no quadro 13. Foi realizada uma classificação com relação a combinação de indicadores, onde os indicadores que apresentassem a mesma classificação de maior melhor ou menor melhor, influenciam positivamente um ao outro se o resultado de correlação entre ambos for 1, pois são diretamente proporcionais. Já indicadores que possuem classificação oposta entre maior melhor e menor melhor, influenciam positivamente um ao outro se seu resultado de correlação for -1, pois são inversamente proporcionais. Assim foi verificado, percentualmente, o resultado de correlação de cada combinação de indicador de desempenho em relação ao número de correlação que representasse o máximo de influência positiva de um indicador sobre o outro. Resultados percentuais positivos representam que a melhoria em um indicador proporciona melhoria no outro e resultados percentuais negativos significam que a melhoria em um indicador proporciona resultados negativos no outro. Para concluir esta análise final, como haviam mais de um indicador para medir o mesmo desempenho, foi realizada a média aritmética simples entre as mesmas combinações de indicadores, para se obter o resultado final da correlação de um desempenho com o outro.

Quadro 13 – Classificação da combinação de indicadores

MELHOR INDICADOR 1	MELHOR INDICADOR 2	RESULTADO DA CORREÇÃO EM RELAÇÃO AO RESULTADO DA CORREÇÃO PARA INFLUÊNCIA POSITIVA MÁXIMA ENTRE INDICADORES
maior	menor	-1,00
maior	maior	1,00
menor	menor	1,00

Fonte: o autor (2021)

4 ESTUDO DE CASO E RESULTADOS

4.1 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA DE TRANSPORTE FERROVIÁRIO DE CARGAS

A empresa é uma operadora logística brasileira de capital aberto que presta serviços de transporte ferroviário, elevação portuária e armazenagem. Foi fundada em 2008, tendo iniciado suas operações ferroviárias em 2015 após a incorporação de uma companhia de transporte ferroviário de cargas. Pertence a um grupo controlador com negócios nas áreas de açúcar, álcool, energia, lubrificantes e logística. Atualmente é a maior operadora de logística independente do Brasil fazendo a gestão de 5 concessões ferroviárias e tendo a participação em 12 terminais multimodais. Suas operações atendem os três principais corredores brasileiros de exportação de commodities agrícolas, levando insumos importantes de regiões produtoras do interior para o mercado externo, e percorrendo o caminho inverso, levando produto industrializados para regiões menos desenvolvidas, abrangendo os estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Goiás e Tocantins. Sua base de ativos é formada por mais de mil locomotivas e 33 mil vagões. Responde por mais de 25% do volume grãos exportados pelo Brasil e tem uma expectativa de crescimento de 10% ao ano até 2023. Neste trabalho, utiliza-se o nome de Empresa ABC para representá-la.

O ambiente de estudo corresponde ao transporte de commodities agrícolas como grãos (soja, farelo de soja e milho), açúcar e fertilizantes, bem como containers, celulose e combustíveis (biocombustível e derivados de petróleo). O trecho compreende duas concessões ferroviárias que juntas possuem 2.854km de extensão, sendo composto por via de circulação férrea abrangendo os estados de São Paulo, Mato Grosso do Sul e Mato Grosso além do intercâmbio com outras concessões ferroviárias. Certa parte do trecho possui bitola mista, sendo outra parte do trecho operadas apenas por trens de bitola larga. Os equipamentos utilizados para tracionar os vagões e suas mercadorias são locomotivas, que são alimentadas por óleo diesel S500 e abastecidas ao longo do trajeto em pontos de abastecimentos. Ao longo da malha em estudo existem pontos de linha singela (única) com pátios de cruzamento e pontos de linha dupla, além da existência de pátios de setup (carga, descarga,

estacionamento e processamento de trens, abastecimento de locomotivas, manutenção de vagões e locomotivas), terminais (carga, descarga e transbordo) e portos. O sistema possui intermodalidade com os modais rodoviário, hidroviário, marítimo além do dutoviário (combustíveis). Além disso a empresa ABC possui interface, competindo capacidade e espaço com outras 2 operadoras ferroviárias.

A formação da composição ferroviária é dinâmica e seu desenho é específico levando em consideração: o tipo de mercadoria, restrições (circulação, origem e destino) e estratégia operacional. Em grande parte dos fluxos os trens chegam carregados aos terminais de descarga e, após a descarga, o trem retorna vazio para iniciar novo carregamento, no entanto há uma pequena parcela de trens que chegam carregados aos terminais de descarga e, após a descarga, o trem retorna carregado para iniciar uma nova descarga seguida também por um novo carregamento. Todas as locomotivas utilizadas nesta operação são diesel-elétricas, sendo a maior parte delas semiautônomas do modelo GE AC44i, com potência de 4.500 HP e operam com corrente alternada.

A Empresa ABC opera em um corredor ferroviário com grandes limitações físicas e de espaço. No corredor de circulação de trens há dois tipos de operação, que estão representadas na figura 14. No modelo 1, trens em sentidos opostos devem aguardar os cruzamentos nos pátios de linha dupla, para não haver conflitos nas linhas singelas e representam cerca de 84% do trecho, apresentando uma saturação média em relação a sua capacidade na ordem de 65%. No modelo 2, trens de sentidos opostos não conflitam, porém realizam diversas paradas por formação de filas, procedimentos e anomalias e representam cerca de 16% do trecho, apresentando uma saturação média em relação a sua capacidade na ordem de 80%. Ainda neste trecho há o compartilhamento da via entre 3 operadoras ferroviárias além de grande parte dele ser composto por trecho de serra, que é considerado um trecho crítico conforme destacado no tópico anterior. Além disso a empresa ABC não possui nenhum retro pátio ferroviário, que é uma estrutura próxima aos pontos de descarga para acomodar trens em fila, possuindo poucos pátios ao longo do trajeto que absorve uma pequena quantidade de trens estacionados. Dado este cenário qualquer anomalia em qualquer trem ao longo do corredor possui um potencial de propagação muito forte para todos os trens sequenciais, seja no modelo de operação 1 por possuir

apenas linhas singelas e no modelo 2 por ser o mais saturado em relação a sua capacidade.

1. Linhas singelas + Pátios de cruzamento



2. Linhas duplas



Figura 14 - Tipos de linha de circulação

Fonte: adaptado de Empresa ABC (2021)

4.2 EXPLICAÇÃO DETALHADA DE CADA INDICADOR

Este tópico irá explicar o conceito de cada indicador de forma minuciosa com o objetivo de facilitar a compreensão das análises deste trabalho, com base nas entrevistas realizadas com especialistas e gestores da Empresa ABC.

O indicador de TKU é o mais importante para se mensurar a produção de uma empresa de transporte ferroviário, sendo resultante e da multiplicação entre a massa útil transportada versus a distância percorrida no frete remunerado desta carga.

Já o indicador de TKB é o mais importante para se avaliar a operação bruta de uma operadora ferroviária. Ele é resultante da multiplicação entre a massa bruta transportada versus a distância percorrida. Este indicador além de contemplar os fretes remunerados também contempla fretes não remunerados, como por exemplo: retorno de vagões vazios para novos carregamentos, manobras ferroviárias, movimentações de ativos ferroviários, transporte de ferramentas e produtos para manutenção de via, entre outros.

O ciclo de vagões é considerado como um indicador relevante para a avaliar produtividade operacional e capacidade de uma operação ferroviária. Ele compreende todo o tempo de operação ferroviária: tempo de carregamento, tempo de trânsito de ida, tempo de descarga e tempo de trânsito de retorno. A redução do ciclo representa um menor tempo médio de rotação do material rodante, que se traduz no aumento da capacidade de transporte, sem a necessidade de novos investimentos em ativos. O esquema de ciclo pode ser observado na Figura 15, onde o tempo de carregamento é representado pela letra C, tempo de trânsito de ida é representado pela sigla TTC, tempo de descarga é representado pela letra D e o tempo de trânsito de retorno é representado pela sigla TTV.

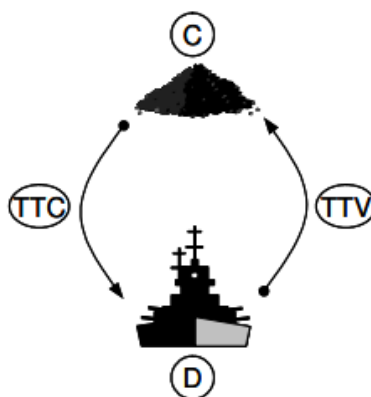


Figura 15 - Esquema de um ciclo de transporte ferroviário

Fonte: o autor (2021)

Os indicadores $tcFA$ e $\%tcFA$ representam, respectivamente, o tempo e o percentual de tempo fila e anomalias que um determinado trem foi exposto ao longo do seu ciclo. Os trens podem sofrer e causar impactos de filas e anomalias em qualquer etapa do ciclo por diferentes motivos.

O indicador representado pela sigla vc refere-se à velocidade média de condução, realizada por um maquinista ao longo de uma determinada trajetória. Maiores velocidades representam menores tempos de ciclo, bem como níveis mais elevados de combustíveis.

O índice de acidentes, representado através da sigla iA é calculado pela razão entre a quantidade de acidentes pelo indicador de movimentação total ferroviária, onde geralmente é utilizado o TKB. É o principal indicador para mensurar a quantidade de acidentes em relação ao tamanho da operação em um determinado período, uma vez que o aumento nas operações tende a trazer maiores probabilidades de acidentes.

A frota de vagões, representado pela sigla NV, representa a quantidade efetiva de vagões disponíveis para a operação em um determinado período.

O indicador HC representa a quantidade de maquinistas disponíveis para conduzir trens em um determinado período.

O indicador %qG representa o percentual de acidentes graves sobre o total de acidentes em um determinado período. Quanto mais alto for este percentual piores estão os coeficientes de segurança de uma determinada operação ferroviária. A classificação da gravidade de acidentes é realizada e regulada com base em fatores pré-determinados e considerados críticos pela ANTT para o transporte ferroviário de cargas. Esta classificação e avaliação está baseada em três fatores: custos do acidente, impactos operacionais e impactos ambientais.

O indicador índice operacional IO-1 foi derivado do conceito proposto por Gorman *et al.* (2011) e avalia o desempenho operacional do transporte ferroviário de cargas a partir das movimentações totais remuneradas (TKU) com relação as movimentações totais (TKB). A partir deste indicador é possível mensurar a movimentação de cargas remuneradas em relação as movimentações operacionais e de manutenção como: manobras e realocação de vagões, movimentações de vagões para serviços internos da operadora ferroviária, movimentação de vagões vazios, entre outros. O principal resultado deste indicador é poder verificar a relação de cargas movimentadas com a movimentação de vagões vazios, que é a maior parcela do indicador TKB.

O indicador índice operacional IO-2 foi adaptado do conceito proposto por Maltseva *et al.* (2020), que avalia as movimentações remuneradas (TKU) em relação a frota (vagões) versus quadro funcional (maquinistas). De acordo com a avaliação dos especialistas e gestores da Empresa ABC, bem como com a percepção do autor

sobre a revisão da literatura e o estudo de campo foi incluído também o ciclo de vagões neste indicador. Assim o indicador IO-2 é avaliado as movimentações remuneradas (TKU) em relação a frota (vagões) versus quadro funcional (maquinistas) versus tempo de ciclo (C).

A receita líquida, representada pela sigla ROL representa a somatória dos valores líquidos, já deduzidos impostos, recebidos pela empresa ABC de seus clientes e referente ao serviço de transporte ferroviário de cargas. Usualmente a ROL é o faturamento da empresa retirando os impostos.

O indicador CV representa o custo variável da operação, onde a maior parcela deste indicador é o óleo diesel utilizado para abastecer as locomotivas. Outros pequenos custos contribuem para a composição do valor final, dentre eles: custos com areia, óleo, entre outros.

A margem de contribuição representada pela sigla MC é o valor restante da receita após a subtração dos custos diretos da operação CV. Posteriormente são deduzidos os custos fixos para se obter o lucro da empresa, portanto quanto maior a margem, maior o efeito positivo no lucro da empresa. Margem negativa significa prejuízo operacional antes mesmo de se deduzir os custos fixos.

O custo com óleo diesel, representado pela sigla CD é o custo efetivo referente as despesas com combustível pela operadora ferroviária. O combustível é comprado de distribuidoras que realiza as entregas em diversos postos de abastecimentos (PA's) localizados ao longo da malha ferroviária.

O indicador %CDV representa o percentual dos custos com óleo diesel sobre os custos variáveis CV relacionados a operação.

O indicador AF representa os valores dos ativos fixos em um determinado período. São classificados com ativos fixos: terrenos; edifícios; maquinistas; equipamentos; instalações; vagões; locomotivas; estrutura de via permanente, obras em andamento; ativos de infraestrutura; entre outros.

O indicador índice financeiro IF-1 foi derivado do conceito proposto por Lulli *et al.* (2011) que avaliaram o desempenho financeiro no transporte ferroviário de cargas através dos custos variáveis (CV) com relação ao total de movimentações (TKB), possível verificar qual foi o custo unitário de movimentação bruta em determinada operação.

O indicador índice financeiro IF-2 foi derivado do conceito proposto por Maltseva *et al.* (2020) que avalia o desempenho financeiro do transporte ferroviário de cargas através da relação entre margem de contribuição (MC) versus receita operacional líquida (ROL) em relação ao custo variável (CV) versus o custo com ativos fixos.

O indicador cD representa o consumo de combustível total no período e refere-se à somatória de todos os abastecimentos de óleo diesel realizados.

O indicador EE representa o consumo de energia resultante da combustão de óleo diesel total no período em relação as movimentações ferroviárias totais (TKB). De acordo com especialistas e gestores da empresa ABC para transformar os dados volumétricos referentes ao consumo de diesel em energia é utilizado um fator de transformação proposto pela EPE - Empresa de Pesquisa Energética (2020) onde o coeficiente de equivalência médio para 1m³ ou 1.000 litros de óleo diesel é de 0,848 TEP.

O indicador mCO₂-eq representa uma métrica utilizada para comparar as emissões de vários gases de efeito estufa baseado em uma única unidade. Assim todas as emissões do transporte ferroviário de cargas foram representadas por emissões equivalentes de toneladas de CO₂. De acordo com especialistas e gestores da Empresa ABC utiliza-se o fator de emissão de 2.671 g.CO₂ /kg de óleo diesel proposto pelo MMA – Ministério do Meio Ambiente (2014) e a densidade para o óleo diesel S500 de 0,84 t/m³ conforme proposto pela ANP – Agência Nacional de Petróleo e Gás (2020).

O indicador índice ambiental IA é derivado do conceito proposto por Gould e Niemeier (2011) que avalia o desempenho ambiental do transporte ferroviário de cargas através da relação entre emissões de poluentes em relação ao total de movimentações (TKB) e Lebedevas *et al.* (2017) que avalia o desempenho ambiental do transporte ferroviário de cargas através da relação entre emissões de poluentes ou consumo de combustível ou energia resultante do consumo de combustível em relação ao total de movimentações (TKB), uma vez que as emissões e a energia resultante do consumo de combustível são números derivativos do consumo volumétrico de combustível versus um determinado fator de conversão, logo sua variação percentual de um período em relação ao período anterior será a mesma nas

dimensões de emissões de poluentes ou consumo de combustível ou energia resultante do consumo de combustível.

4.3 A EMPRESA ANTES DA IMPLANTAÇÃO DE AÇÕES PARA MELHORIA

De acordo com as entrevistas realizadas com os especialistas e gestores da Empresa ABC foi possível diagnosticar alguns problemas referentes aos primeiros anos de operação ferroviária após a fusão com uma outra operadora ferroviária de cargas, compreendido no período de 2015 a 2016.

- “A empresa ABC possuía um baixo desempenho operacional. Apresentava baixas movimentações remuneradas; grande quantidade de movimentação de vagões vazios desnecessárias; elevados tempos de ciclo; elevados tempos de filas e anomalias em sua malha; elevados índices e gravidade de acidentes ferroviários; a quantidade de maquinistas era inadequada e reduzida, sendo constante a violação de direitos trabalhistas e ocorrências de trens parados aguardando maquinistas”.

- “A empresa ABC possuía um baixo desempenho financeiro. Apresentava baixa receita operacional; custos variáveis elevados; seus lucros eram baixos; os custos com diesel eram elevados e representavam uma grande parcela dos custos operacionais”.

- “A empresa ABC possuía um baixo desempenho ambiental. Apresentava um elevado nível de consumo de combustíveis e altos índices de emissões de gases poluentes”.

- “Não haviam ações organizacionais para reduzir o índice e a gravidade de acidentes ferroviários. Não era um tema prioritário e nem considerado como crítico na visão da alta gestão da empresa. Neste contexto a empresa possuía uma imagem negativa, em termos de segurança, na visão de clientes, investidores e órgãos governamentais.”

- “A condução de trens era um processo totalmente manual, e fortemente dependente das ações individuais de cada maquinista. Inexistiam ferramentas que auxiliassem maquinistas durante a condução de um trem, sendo que o consumo de combustíveis era alto e com grande variabilidade entre maquinistas.”

- “Sobre a malha ferroviária haviam poucos investimentos em infraestrutura ferroviária, como pátios de cruzamento e ampliação de pátios existentes. A operação era complexa e morosa devido a essa baixa capacidade de infraestrutura ferroviária”.

- “O planejamento operacional era de baixa qualidade e pouco profundo, avaliando poucas variáveis do sistema. Eram movimentações de vagões vazios inadequadas, bem como filas e congestionamentos devido ao planejamento operacional ineficiente”.

- “Não havia flexibilidade no processo faturamento de trens, que contribua para um baixo desempenho da Empresa ABC. Sempre quando uma mercadoria em trânsito não pudesse ser recebida pelos seu proprietário e contratante, por qualquer que seja o problema, o trem ficava parado até que o problema fosse resolvido e contribuindo para redução de capacidade do sistema ferroviário. Devido a característica do modal ferroviária ser focado em longas distâncias o faturamento dos trens ocorria muitos dias antes de sua entrega e no período de transporte haviam diversos problemas que anulavam constantemente a possibilidade de recebimento das mercadorias pelos seus proprietários e contratantes”.

- “A empresa não havia compromissos ambientais de redução de emissões de poluentes. A empresa possuía uma imagem negativa em termos ambientais na visão de clientes, investidores e órgãos governamentais. Muitos clientes buscavam reduzir os níveis de emissões de sua cadeia logística e tinha expectativas que as ferrovias pudessem contribuir para este aspecto”.

- “Faltavam ferramentas para auxiliar otimizar a gestão da logística e escala de trabalho dos maquinistas. Este era uma atividade considerada improdutiva e que afetava consideravelmente o desempenho da empresa ABC”.

- “A baixa quantidade de equipamentos de simulação de viagens de trens, impossibilitava treinamentos mais robustos e frequentes para aperfeiçoar a condução de trens pelos maquinistas nos tópicos de consumo de segurança, economia de combustível e performance operacional”.

- “Não havia uma solução adequada para a comunicação no trecho entre maquinistas e centro de controle operacional (CCO), o tempo de comunicação variava na ordem de minutos, contribuindo para que trens ficassem parados aguardando comunicação”.

Foi proposto o quadro 14 que resume os 18 problemas mapeados, sendo que foi incluído também o desempenho operacional, financeiro e ambiental, que na entrevista com especialistas e gestores da Empresa ABC foram indicados como um problema. Também foi realizada a avaliação da relação de cada problema pontuado com o desempenho operacional, financeiro e ambiental.

Quadro 14 - Problemas iniciais da Empresa ABC

SEQ.	PROBLEMAS MAPEADOS	DESEMPENHO OPERACIONAL	DESEMPENHO FINANCEIRO	DESEMPENHO AMBIENTAL
	Baixo desempenho operacional	3	0	0
	Baixo desempenho financeiro	0	3	0
	Baixo desempenho ambiental	0	0	3
1	Baixos resultados de movimentação de cargas remuneradas	3	3	0
2	Alta frequência de movimentações desnecessárias de vagões vazios	3	3	0
3	Elevados tempos de ciclo	3	3	2
4	Quantidade de maquinistas inadequada e reduzida	2	2	1
5	Baixos resultados de receita operacional	1	3	0
6	Custos variáveis elevados	2	3	3
7	Baixo lucro operacional	2	3	3
8	Alta representatividade dos custos com combustíveis sobre os custos totais de transporte	2	3	3
9	Altos índices de emissões de gases poluentes	2	3	3
10	Falta de compromisso e ações para reduzir o índice e a gravidade de acidentes ferroviários	3	3	2
11	Inexistência de ferramentas de auxílio de maquinistas durante a condução de trens	2	3	3
12	Poucos investimentos em infraestrutura ferroviária	3	2	1
13	Planejamento operacional de baixa qualidade e pouco profundo	3	2	1
14	Método de faturamento inadequado	3	3	2
15	Falta de compromissos ambientais corporativos	1	1	3
16	Falta de ferramentas de gestão da logística e escala de maquinistas	2	3	1
17	Baixa quantidade de equipamentos de simulação de viagens de trens	3	3	3
18	Comunicação inadequada entre maquinistas e centro de controle operacional (CCO)	3	2	2

Fonte: o autor (2021)

A figura 16 representa uma análise da avaliação dos gestores e especialistas da Empresa ABC da relação dos problemas com o desempenho operacional, financeiro e ambiental. Foi possível verificar que a maior parte dos problemas estão relacionados com o desempenho financeiro e operacional, sendo que a menor parte dos problemas, na visão de especialistas e gestores da Empresa ABC estão relacionados com o desempenho ambiental.

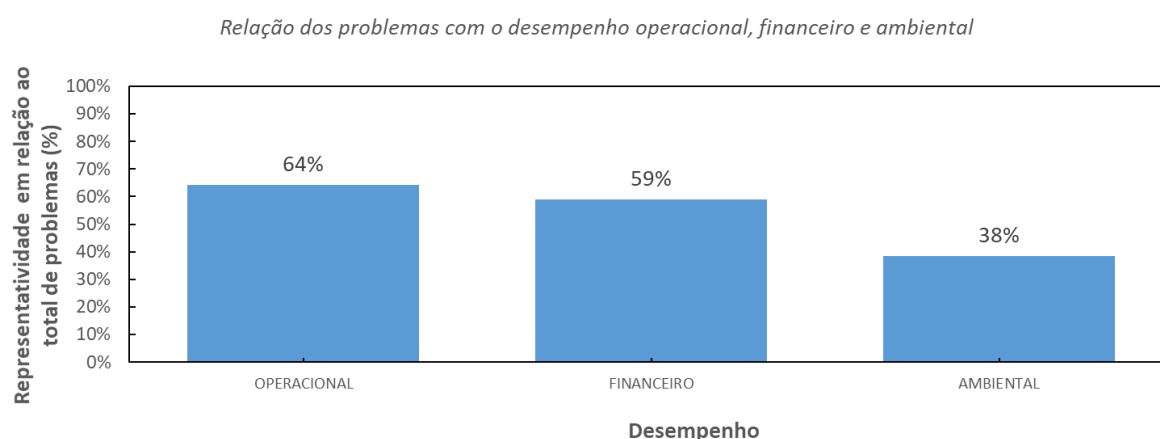


Figura 16 – Relação dos problemas com o desempenho operacional, ambiental e financeiro

Fonte: o autor (2021)

4.4 PLANO DE AÇÃO PARA MELHORIA E RESOLUÇÃO DOS PROBLEMAS

Nesta seção será apresentada o plano com todas as ações tomadas pela empresa para resolução dos problemas identificados na seção anterior

4.4.1 Ações para redução de acidentes ferroviários

Entre os anos de 2016 e 2020 foram traçadas diversas ações focadas nas quatro principais causas de acidentes ferroviários, que juntas representam cerca 80% de todos os acidentes, conforme apresentado anteriormente no gráfico 1.

4.3.1.1 Ações para redução de acidentes de causa via permanente

A atual operadora assumiu uma concessão com condições de segurança inadequadas, com trilhos e dormentes antigos, de baixa qualidade e em péssimo estado de conservação e manutenção, que contribuíam frequentemente para graves

acidentes ferroviários. Neste contexto a maior parte dos investimentos e compromissos da concessionária foram direcionados para a renovação da malha ferroviária, substituindo as vias férreas dos trechos mais críticos. A utilização de tecnologia também contribuiu ao longo dos anos neste tema através da utilização de equipamentos de detecções de falhas em trilhos e na utilização de processos avançados de inspeção, como a utilização de ultrassom. Além disso houve a adoção de novas estratégias de manutenção mais eficientes focadas em diagnosticar e eliminar fatores de riscos de forma preditiva.

Dado a criticidade do tema, além dos altos custos de substituição e manutenção de componentes, bem como os elevados valores gastos em inspeção, um dos critérios da empresa tem sido investir em programas de aceleração e inovação abertos junto com fundações e universidades para prosperar iniciativas inovadoras que contribuam para este tema.

4.3.1.2 Ações para redução de acidentes de causa fortuita ou de força maior

Dado o nível de criticidade do tema e a grande incidência destes acidentes em trechos de serra, causados em sua grande maioria por efeitos de chuvas e deslizamentos de barragens, houve priorização de investimentos e projetos neste tema, além da criação de um grande comitê em 2019 com 11 frentes de trabalho e com 3 principais pilares: diagnóstico e correção dos pontos críticos de infraestrutura, estruturação de plano de atendimento a emergências e ampliação da área de cobertura do sinal. Resultados expressivos tem sido obtido como: maior produtividade de equipes de manutenção e inspeção, menor impacto de acidentes, aprovação de grandes investimentos em infraestrutura e substituição da malha e investimentos em pesquisa e desenvolvimento do local. A empresa também investiu em tecnologias preditivas visando mitigar riscos, tendo como exemplo, a instalação de estações meteorológicas de monitoramento, permitindo atuar de forma antecipada aos eventos advindos pelas mudanças climáticas. Ainda, houve investimentos em áreas de encostas com a instalação de detectores de queda de barreira conectados diretamente com o Centro de Controle.

4.3.1.3 Ações para redução de acidentes de causa material rodante

Ao longo dos últimos anos houve a substituição de parte da frota que estavam em péssimas condições de uso, devido à falta de manutenção e renovação. Procedimentos mais rigorosos foram implementados em toda companhia, o que acabou por atingir também a área de material rodante. Em 2019 foi desenvolvido um algoritmo de inteligência artificial que analisa diversos dados históricos de manutenção de vagões, locomotivas e da via, assim como informações do trem, como comprimento, peso e tipos de vagões. O algoritmo monitora a probabilidade de um acidente e gera um alerta. A solução ainda não atinge 100% da malha, mas está sendo expandida para as demais regiões e pode trazer uma redução de até 40% das ocorrências de acidentes.

4.3.1.4 Ações para redução de acidentes causa terceiros

Para mitigar acidentes causados por terceiros, como atropelamentos, sabotagem, suicídio, vandalismo, entre outros, foram realizados trabalhos e investimentos na faixa de domínio, tais como vedações da linha férrea, construção de passarelas e sinalização de passagens de nível são atividades constantes e bastante incentivadas pela empresa ABC desde o ano de 2015, que foi quando a empresa ABC assumiu a concessão ferroviária em estudo. A operadora também possui uma área de responsabilidade social muito bem estruturada e socialmente ativa, que promove constantemente ações de conscientização sobre acidentes ferroviários de uma forma harmônica com as comunidades que possuem relação com áreas no entorno de suas operações.

4.3.1.5 Outras ações para redução de acidentes ferroviários

A relevância da segurança dentro da empresa ABC está refletida, entre outros, no fato do indicador de gravidade e índice de acidentes ferroviários integrar a composição da remuneração variável de todos os colaboradores, por meio do bônus de segurança, com reflexo na remuneração variável desde os níveis operacionais até os níveis executivos.

A empresa implementou um rigoroso sistema de gestão de segurança, patrocinado pela alta gestão, onde todos os eventos de acidentes e incidentes são

registrados, bem como seus respectivos procedimentos normativos para repará-los e evitar futuras reincidências. Neste programa de gestão de segurança também são registrados acompanhamentos e auditorias da rotina operacional dos colaboradores, gerando histórico. Houve também a elaboração de diversas outras ferramentas e programas de segurança, que contribuíram significativamente para a redução da gravidade de acidentes.

4.4.2 Implantação de tecnologia de trens semiautônomos: *Trip optimizer*

O *Trip Optimizer* é uma tecnologia fornecida pela *General Electric – GE*, classificada como um otimizador de viagem, de fácil utilização e que proporciona uma condução de trem mais suave (com menores incidentes e acelerações e desacelerações), bloqueio de ultrapassagem de velocidades pré-definidas e outros controles de segurança. O sistema possibilitou que os trens consumissem até 10% menos diesel em relação aos não automatizados. A partir da velocidade de 19 km/h o *Trip Optimizer* assume o comando da condução do trem se tornando uma espécie de “piloto automático”, no entanto, por ser um sistema semiautônomo necessita da supervisão de um maquinista, que devido a utilização desta tecnologia fica mais concentrado em outras atividades não automatizadas, como: acionamento de buzinas, verificação de condições de segurança de via, maior atenção para interferências de terceiros, acionamento de freios de segurança e supervisão de sistemas de bordo.

O *Trip Optimizer* calcula em tempo real os momentos mais eficientes de acelerar e frear o trem, bem como a velocidade de condução, a partir de um percurso pré-definido com base em um programa especialmente elaborado para este tipo de operação. Leva em conta fatores como comprimento e peso do trem, qualidade e condições da via, situação de freios e potência e desempenho das locomotivas.

Durante a viagem os computadores e algoritmos do *Trip Optimizer*, interligados aos demais sistemas de bordo e GPS, planejam constantemente a melhor forma de conduzir cada trem. O sistema ainda avalia mudanças que possam ocorrer durante o trajeto, de modo que o trem possa chegar nos horários programados, com segurança e com uso mínimo de combustível.

Para implementar a tecnologia e absorver seus benefícios foi necessário customizá-la e a interação entre especialistas da empresa fornecedora e especialistas

ferroviários foi extremamente importante. Outro grande benefício proporcionado pelo *Trip Optimizer* foi a redução de acidentes e ocorrências de quebras de engates entre vagões, que ocorreriam constantemente nas conduções não automatizadas devido a momentos de aceleração e desaceleração muito rápidas.

De forma geral a tecnologia trouxe para operação da empresa ABC ganhos expressivos em eficiência energética e consumo de combustível, refletindo também na redução das emissões poluentes e gases do efeito estufa, bem como na redução de custos, proporcionando operações mais rentáveis e competitivas. Assim a empresa ABC se tornou a maior operadora de trens semiautônomos da América Latina, tendo um posicionamento de destaque no mercado de transporte.

Nas figuras 17 e 18 é possível visualizar um exemplo de interface do Trip Optimizer em atuação nos trens da Empresa ABC. A figura 17 representa a tela de condução e nela pode-se verificar um painel que indica a posição do trem, velocidade adequada e o perfil de inclinação da via. Na figura 18 é possível ver uma tela de interface homem máquina, onde há restrições de velocidade incluídas pelo centro de controle operacional, onde o maquinista deve validar o recebimento destas informações antes de iniciar a viagem.



Figura 17 tela de supervisão Trip Optimizer

Fonte: o autor (2021)

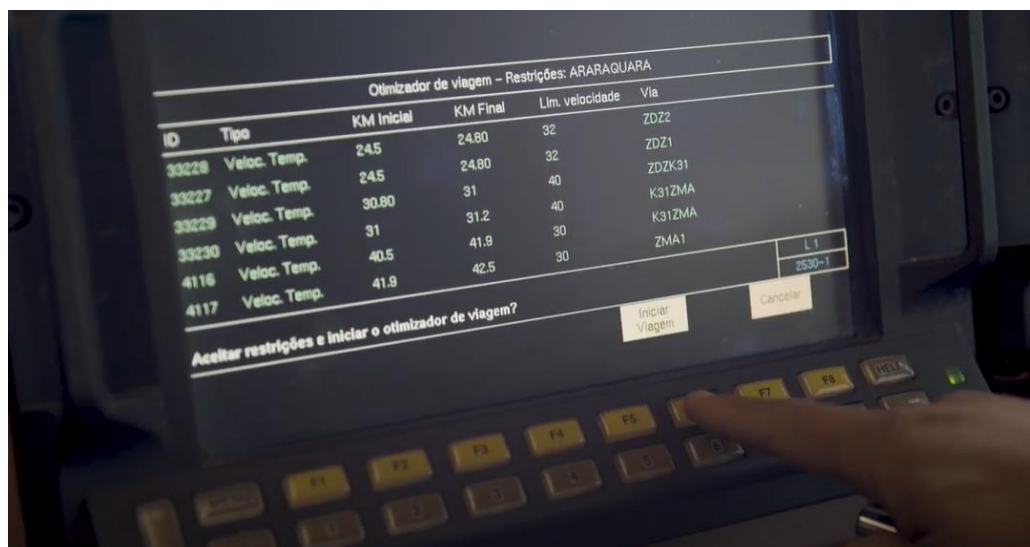


Figura 18 - Tela de interface homem máquina Trip Optimizer

Fonte: o autor (2021)

4.4.3 Ampliação de capacidade de malha ferroviária

Entre os anos de 2018 e 2020 houve a construção de 22 novos pátios e extensão de 23 pátios ferroviários. Estas expansões puderam contribuir de forma significativa para uma melhor gestão operacional, reduzindo filas e seus impactos, o que contribui muito para redução do ciclo operacional, aumento de volume transportado, consumo de diesel e seus impactos financeiros, ambientais e energéticos.

A construção de novos pátios de cruzamento possibilitou grandes avanços e fluidez na circulação de trens principalmente nos pontos de operação de linhas singelas. Estes novos pátios puderam contribuir para menores tempos de espera, processamento e fila, além de um número maior de trens processados em um determinado espaço de tempo, uma vez que neste tipo de operação, trens de diferentes sentidos competem pelo mesmo trecho. Na figura 19 é possível verificar os benefícios de novos pátios de cruzamento em um trecho de linha singela. Na primeira situação ilustrada na figura, é possível verificar um trecho aleatório com 4 pátios de cruzamento que permite maior flexibilidade e capacidade para circular com trens em sentidos opostos frente a segunda situação que possui apenas 1 pátio de cruzamento.

necessidade de maquinistas, bem como demanda uma necessidade menor de alocação de locomotivas. Na figura 20 é possível verificar os ganhos operacionais entre trens de grãos de 80 vagões frente trens de grãos de 120 vagões em um trecho exemplo com distância D e tamanho da distância segura Y. Nela é possível verificar: eliminação de espaços destinados a distância segura, aumento na capacidade de transporte de vagões e redução na necessidade total de utilização de locomotivas, menor necessidade de maquinistas.

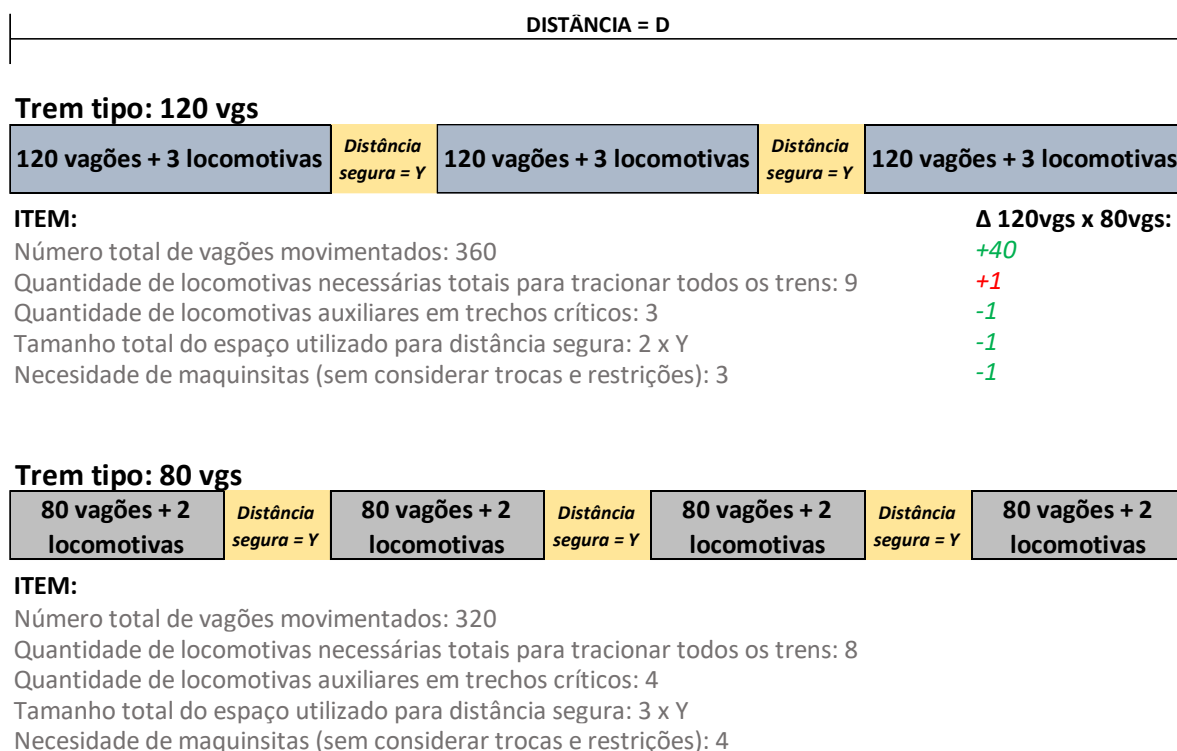


Figura 20 – Trem tipo: comparações

Fonte: o autor (2021)

4.4.4 Melhorias na qualidade do planejamento operacional

A Empresa ABC evolui ano após ano para um modelo alternativo e inteligente de planejamento se comparado as ferrovias tradicionais e suas concorrentes. Esta evolução foi contínua e pode ser segregada em diferentes marcos, como apresentado pelo quadro 15.

Quadro 15 - Critérios de planejamento

PERÍODO	DESCRIÇÃO	CRITÉRIOS DE PLANEJAMENTO
até 2016	Clientes contratam serviço de transporte entre uma região origem e um porto de destino.	Disponibilidade de vagões Disponibilidade de locomotivas
2016-2017	Clientes contratam serviço de transporte entre um local origem e um local de destino.	Disponibilidade de vagões Disponibilidade de locomotivas
2018	Clientes contratam serviço de transporte entre um terminal origem e um terminal de destino.	Disponibilidade de vagões Disponibilidade de locomotivas Capacidade ferroviária de terminais Disponibilidade e capacidade de via
2019	Clientes contratam serviço de transporte indicando suas necessidades e plano logístico. Ferrovia planeja o estoques e <i>lineup</i> de navios dos seus clientes.	Disponibilidade de vagões Disponibilidade de locomotivas Capacidade ferroviária de terminais Disponibilidade e capacidade de via Dimensionamento de filas Capacidade estática (estoques) de terminais
2020	Clientes contratam serviço de transporte indicando suas necessidades e plano logístico. Ferrovia planeja o estoques e <i>lineup</i> de navios dos seus clientes. Ferrovia utiliza ferramentas de simulação dinâmica para avaliar capacidade ferroviária portuária.	Disponibilidade de vagões Disponibilidade de locomotivas Capacidade ferroviária de terminais Disponibilidade e capacidade de via Dimensionamento de filas Capacidade estática (estoques) de terminais Simulação dinâmica portuária Disponibilidade de maquinistas

Fonte: o autor (2021)

Entre os anos de 2016 e 2017 houve um pré-requisito imposto pela Empresa ABC e os contratantes passaram a indicar a origem e o destino da carga. Assim foi possível estimar as capacidades máximas de cada *cluster*, possibilitando tomada de ações comerciais preditivas junto aos clientes com o objetivo de acomodar a demanda nos clusters com capacidades disponíveis. Apesar da evolução comercial, neste período as filas e congestionamentos ainda estavam em patamares notáveis.

Em 2018 a Empresa ABC passou analisar sua capacidade de via em relação a demanda de transporte e impôs junto a seus clientes a indicação dos terminais de origem e destino referentes aos volumes de transporte de cargas solicitados. Houve grandes avanços na redução de filas e congestionamentos, uma vez que a configuração de demanda estava direcionada conforme a configuração de capacidade dos terminais.

Em 2019 houve uma mudança disruptiva em relação ao planejamento ferroviário de cargas. A empresa passou a solicitar de seus clientes seus planos logísticos: estoques de terminais e *lineup*, programação de navios e programação de recebimento de caminhões. Passou a verificar também as previsões meteorológicas

de chuvas e os possíveis riscos e restrições nas operações de seus clientes. O objetivo da Empresa ABC foi de mapear possíveis falta de espaços nos estoques dos terminais ou problemas na programação de navios dos clientes que pudessem gerar filas e congestionamentos de tráfego ferroviário. Para isso instalou-se um processo de balanço de massa onde a operadora ferroviária fazia todo planejamento desde o planejamento de terminais de origem, movimentação ferroviária, terminais de destino e programação de navios. Passou a atuar de forma mais ativa na cadeia logística como um todo, mitigando seus riscos e propondo ações de otimização logística junto a seus clientes. A partir deste período houve ganhos expressivos na redução de filas e congestionamentos, bem como na redução de ciclos e consumo de diesel e seus efeitos em indicadores operacionais, ambientais e financeiros. Na figura 21 é possível verificar uma análise de Balanço de Massa, onde é possível verificar o comportamento de estoques de um terminal exemplo, sendo possível mapear: períodos com maior espaço de recebimento de mercadorias, períodos com impossibilidade de recebimento de mercadorias, comportamento dos estoques frente as previsões de chuvas e a data dos recebimentos de navios, que reduz os estoques e abre espaço para novos recebimentos.

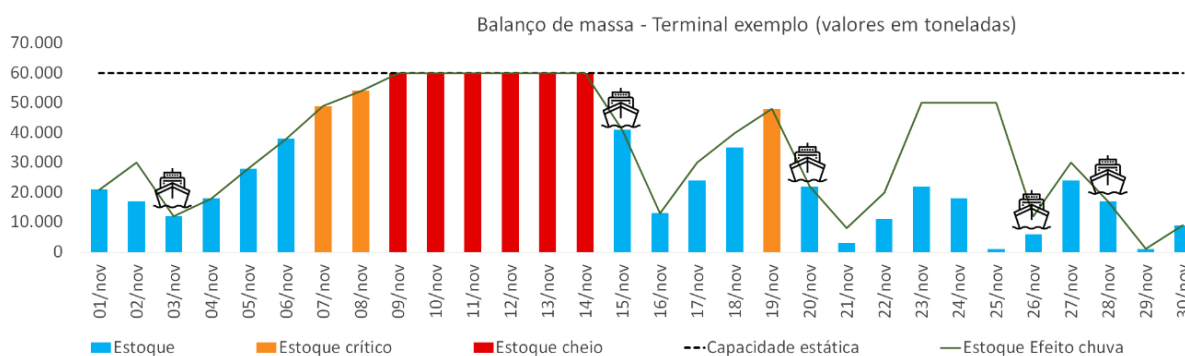


Figura 21 – Balanço de massa

Fonte: o autor (2021)

Em 2021 houve a utilização de ferramentas dinâmicas de simulação para avaliar a capacidade portuária frente a demanda de transporte. A avaliação da capacidade portuária através da análise de capacidade da malha e de terminais já era realizada em anos anteriores, com base nas capacidades estáticas, no entanto com o

aumento da demanda de transporte estas análises não estavam se mostrando precisas. Foi diagnosticado por especialistas operacionais que o sistema possuía um elevado número de restrições dinâmicas e que variavam constantemente conforme a configuração de demanda. Assim foi iniciado o processo de análise de demanda *versus* a capacidade dinâmica do sistema através da utilização de um modelo dinâmico de simulação desenvolvido no *software* Arena pela empresa Paragon. Este simulador já era utilizado para análises de investimentos em infraestrutura de linhas e terminais e foi adaptado pela equipe de simulação da Empresa ABC junto com a equipe de planejamento para ser utilizado em horizontes mais curtos. O modelo apresenta um grande nível de detalhe e após o *input* da demanda ele simula em frações de poucos minutos a operação ferroviária em todas as linhas e terminais do Porto de Santos. Através dele é possível verificar qual a real capacidade de atendimento de cada demanda, bem como visualizar a utilização de cada linha, subsistema e terminais.

Ainda em 2020 disso a Empresa ABC passou a avaliar sua capacidade de operação limitada também a sua disponibilidade de maquinistas, levando em consideração: local da demanda *versus* sede do maquinista, férias, necessidade de treinamentos, absenteísmo, entre outros. Esta inteligência em termos de planejamento contribuiu ainda mais para a redução de filas e congestionamento, bem como para a redução do ciclo de ativos, além do consumo de diesel e seus impactos operacionais, financeiros e ambientais.

Esta foram as evoluções significativas em termos e planejamento. A empresa buscou analisar as demandas frente suas capacidades internas (disponibilidade de ativos, via e maquinistas), analisando também as capacidades externas (terminais, programação de navios e fatores climáticos), além de também ter investido na construção de simuladores dinâmicos. Este foi um passo significativo que proporcionou novos patamares operacionais com a redução de filas e congestionamento, diminuição de ciclos, redução no consumo de diesel, redução de custos operacionais e de emissões de poluentes e gases do efeito estufa e seus impactos ambientais.

4.4.5 Implantação de solução para flexibilização no faturamento de trens

Diante do cenário crítico de capacidade e fragilidade frente a desvios nos terminais de descarga e condições climáticas a Empresa ABC propôs em meados de 2018 um faturamento flexível junto a seus clientes, conhecido como “faturamento 2.0.” Este modelo operacional previa que o cliente depositasse sua mercadoria nos terminais de origem num regime de *pool* junto a outros clientes. A empresa ABC por sua vez tinha um tempo máximo pré-definido em contrato, um pouco maior ao tempo de trânsito, para entregar esta carga para o cliente no terminal de destino. Cada cliente passou a ter uma espécie de conta com o saldo de mercadoria, onde este aumentava quando o cliente depositava sua mercadoria no *pool* e diminuía quando o cliente recebesse sua mercadoria nos terminais de destino. As cargas depositadas tinham seu fluxo pré-definido, assim o saldo para um determinado terminal e/ou cliente poderia ser maior ou menor do que o saldo para outros terminais/clientes. Desta forma os trens que antes partiam com um fluxo pré-definido passaram a partir dos terminais de origem com fluxos genéricos. Definiu-se um ponto de faturamento, próximo aos terminais de destino e faltando apenas 15% do trajeto, para que uma equipe de planejamento da Empresa ABC indicasse o fluxo conforme disponibilidade e necessidade de recebimento do cliente, bem como capacidade disponível nos terminais de destino. Assim a cada faturamento realizado pela equipe de faturamento da Empresa ABC era debitado de seu saldo o volume do cliente ao terminal de destino em que a mercadoria foi faturada. Através desse faturamento flexível foi possível obter resultados expressivos na redução de filas e congestionamentos, bem como reduzir o consumo de diesel e seus respectivos efeitos em indicadores ambientais e financeiros. De acordo com especialista da Empresa ABC com o faturamento 2.0 trouxe ganhos operacionais na casa 11% a mais de volume ferroviário de grãos movimentado no Porto de Santos – SP. Na figura 22 tem-se um esquema de representação gráfica dos dois modelos de faturamento utilizados pela Empresa ABC.

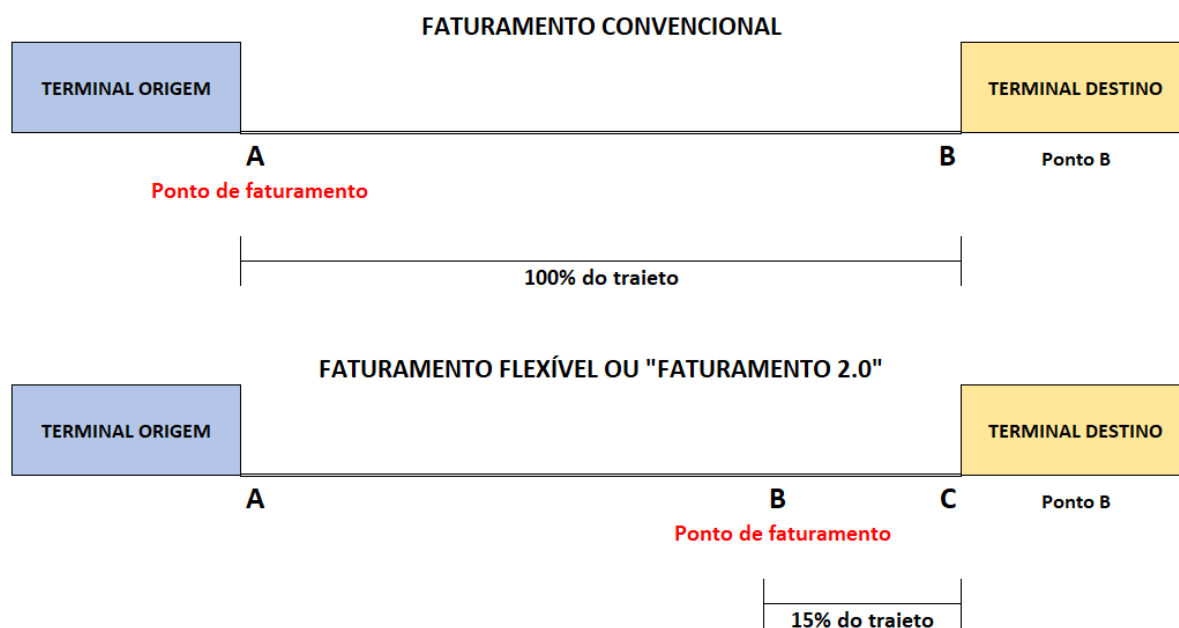


Figura 22 - Comparativo entre faturamento convencional e "faturamento 2.0"

Fonte: o autor (2021)

Apesar do caso de sucesso referente ao faturamento 2.0, ele foi apenas introduzido na carteira de grãos, que representa 70% das movimentações da Empresa ABC. No entanto nem todos os clientes e terminais aderiram ao faturamento, sendo que 30% não aceitam o modelo por motivos comerciais e até mesmo estruturais. Esta aderência parcial fez com que cerca de 50% de toda a movimentação ferroviária seja coberta pelo faturamento flexível. Além disso as duas outras empresas que também operam na malha ferroviária da Empresa ABC não possuem o faturamento flexível, sendo grandes causadores e propagadores de fila e congestionamentos para trens da Empresa ABC.

4.4.6 Compromissos ambientais

Uma vez que os temas sustentabilidade, impactos ambientais e emissões de poluentes serem assuntos recentes e relevantes para grande parte das organizações em todo o mundo, a Empresa ABC tomou ações inéditas em relação em relação as ferrovias de cargas que operam latino-americanas. Em 2020 a empresa assumiu o compromisso de reduzir em 15% as suas emissões específicas de gases do efeito estufa gerados pelas suas locomotivas até 2023 e reduzir em 21% as emissões até

2030. Para tanto a Empresa ABC também se comprometeu publicamente em ampliar a compra de energia de fontes renováveis certificadas, em busca de uma matriz energética mais sustentável, além de planejar a implantação de projetos com uso de energia solar na sua operação nos próximos anos.

Além disso em meados de 2020, a Empresa ABC se tornou a primeira do setor a emitir *green notes* na América Latina, fazendo uma emissão no valor de US\$500 milhões, com vencimento em 2028, para que recursos sejam destinados ao financiamento de novos investimentos “*Green Projects*”. A partir destes investimentos, a companhia pretende continuar entregando maior eficiência e consequente redução de emissões de gases de efeito estufa, contribuindo para a transição para uma economia de baixo carbono no Brasil. A empresa também se comprometeu em elaborar e atualizar um inventário de emissões de Gases do efeito estufa através de uma consultoria imparcial.

De acordo com especialistas comerciais da empresa os motivos de captação de novos clientes, bem como a retenção de clientes existentes mudou muito nos últimos anos. Além dos menores custos e grande escalabilidade proporcionados pelo modal ferroviário, muitos clientes vem procurando reduzir suas emissões de gases do efeito estufa migrando seus volumes da rodovia para a ferrovia. Ainda no âmbito de concorrência entre empresas do setor ferroviário, a Empresa ABC possui destaque, uma vez que possui políticas mais agressivas e pioneiras em termos de redução de emissões e compromissos ambientais.

4.4.7 Melhorias na gestão da logística de maquinistas através da utilização de inteligência artificial: “Chave na Mão”

Implantado em 2016, o programa Chave na Mão contribuiu para a revolução da comunicação e produtividade de maquinistas. Através da distribuição de *smartphones* foi possível otimizar a gestão da logística e escala de trabalho dos maquinistas através de um *software* que faz a gestão integrada do ponto do maquinista com regras de negócio, reduzindo custos com horas extras e deslocamento ao indicar os colaboradores ideais para assumir cada trem em determinado local. Em 2018, ampliou-se as funcionalidades do aplicativo, possibilitando o registro de eventuais

ocorrências, proporcionando maior precisão nos registros e subsídios para análises de dados e ações futuras.

Para os especialistas da Empresa ABC a melhoria na gestão de escalas de trabalho, comunicação e logística de maquinistas contribuiu significativamente para a redução de paradas de trens, filas e congestionamentos por conta de atrasos ou falta de maquinistas. Através do aplicativo Chave na Mão foi possível aumentar produtividade da utilização de maquinistas em 15%.

Outro benefício proporcionado pela solução tecnologia foi o de treinamento e desenvolvimento. Através do *smartphone* é possível disparar conteúdo para os maquinistas sobre os mais diversos temas. Assim é comum a divulgação de boas práticas operacionais e de condução para economia de diesel, bem como a divulgação de novos procedimentos, reciclagem de atividades críticas, entre outros. Na figura 23 é possível verificar uma tela de interface do aplicativo Chave na Mão.



Figura 23 – Tela de interface aplicativo Chave na Mão

Fonte: Empresa ABC (2021)

4.4.8 Aquisição de um novo simulador de trens

A empresa ABC realiza o treinamento de condução de seus maquinistas, bem como testes de modelos e tipo de trens, em simuladores ferroviários. Estes simuladores possuem parâmetros e condições muito próximas das realidades e

através dele criam-se modelos de trens mais seguros e com maior eficiência energética. Técnicas e habilidades de conduções mais eficiência, em termos de energias, são desenvolvidas através do treinamento de maquinistas.

O simulador também permite realizar uma série de análises nos modelos de trens simulados, indicando o comportamento de consumo de combustíveis, freios, engates, entre outros. Dado o elevado custo com o equipamento, bem como a necessidade de equipes qualificadas para criar e testar os modelos e instruir novos colaboradores o equipamento foi único durante alguns anos.

Em 2019 houve a instalação de um novo e mais moderno simulador de trens, que possibilitou ganhar velocidade no desenho e teste de modelos de trens mais eficientes, bem como proporcionou acelerar o nível de condução de maquinistas em técnicas e habilidades de economia de diesel e segurança, uma vez que foi possível realizar mais treinamentos.

Para especialistas da Empresa ABC a aquisição de um novo simulador foi um fato que contribui bastante para a evolução da companhia em termos de eficiência energética e operacional, redução de impactos ambientais e acidentes ferroviários. A figura 24 retrata um treinamento de condução sendo realizado em um simulador de condução de trem.



Figura 24 - Simulador de trens

Fonte: Empresa ABC (2021)

4.4.9 Investimentos em comunicação no trecho

Em 2020 houve um projeto de melhoria no rastreamento e comunicação de trens junto e o centro de controle operacional (CCO). Através da tecnologia de telemetria e comunicação via satélite foi possível atingir novos patamares no tempo de transmissão de informações entre maquinistas em trem e o centro de controle operacional (CCO). Por meio deste projeto o tempo de transmissão de informações, que variava nas frações de minutos, passou a variar nas frações de segundos, estabelecendo uma comunicação mais fluída e que contribuiu significativamente para a redução de paradas de trens e filas no sistema.

4.4.10 Aumento no quadro de maquinistas

Entre os anos iniciais da operação ferroviária da Empresa ABC até o ano de 2020 houve aumentos consecutivos no quadro de maquinistas. Estes aumentos no quadro funcional foram motivados por dois motivos. O primeiro era o aumento previsto da demanda por transporte ferroviária de cargas nos próximos anos, onde havia a necessidade de mais pessoas para executar um número maior de serviços. O outro motivo foi a estratégia e necessidade da empresa em respeitar as leis trabalhistas, que não eram respeitadas anteriormente, sendo que a empresa trabalha com uma quantidade abaixo da necessidade de maquinistas.

4.4.11 Quadro resumo das ações propostas

Foi proposto o quadro 16 para reunir as 10 ações para melhoria e resolução de problemas adotadas pela Empresa ABC entre o período de 2015 a 2020.

Quadro 16 - Ação para melhoria e resolução de problemas

SEQ.	AÇÕES PARA MELHORIA E RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS
1	Ações para redução de acidentes ferroviários
2	Implantação de tecnologia de trens semiautônomos: Trip optimizer
3	Ampliação de capacidade de malha ferroviária
4	Melhorias na qualidade do planejamento operacional
5	Implantação de solução para flexibilização no faturamento de trens
6	Compromissos ambientais
7	Melhorias na gestão da logística de maquinistas através da utilização de inteligência artificial: "Chave na Mão"
8	Aquisição de um novo simulador de trens
9	Investimentos em comunicação no trecho
10	Aumento no quadro de maquinistas

Fonte: o autor (2021)

4.5 A EMPRESA APÓS DA IMPLANTAÇÃO DE AÇÕES PARA MELHORIA

4.5.1 Avaliação de problemas relacionando ações para melhoria e resolução de problemas

Neste tópico será avaliada e analisada a relação de cada problema apresentado com cada ação de melhoria e resolução de problemas. O quadro 17 representa o resultado da avaliação realizada com os especialistas e gestores da Empresa ABC, sendo possível verificar que todos os problemas tiveram ações que contribuíram para sua melhoria.

Quadro 17 – Relação de problemas e ações

SEQ.		PROBLEMAS MAPEADOS		AÇÕES PARA MELHORIA E RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS									
				Ações para redução de acidentes ferroviários	Implantação de tecnologia de trens semiautônomos: Trip optimizer	Ampliação de capacidade de malha ferroviária	Melhorias na qualidade do planejamento operacional	Implantação de solução para flexibilização no faturamento de trens	Compromissos ambientais	Melhorias na gestão da logística de maquinistas através da utilização de inteligência artificial: “Chave na Mão”	Aquisição de um novo simulador de trens	Investimentos em comunicação no trecho	Aumento no quadro de maquinistas
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
		RELAÇÃO											
Baixo desempenho operacional		3	1	3	3	3	0	2	3	3	3		
Baixo desempenho financeiro		3	3	3	3	3	2	3	3	2	1		
Baixo desempenho ambiental		2	3	2	1	2	3	1	3	2	1		
1	Baixos resultados de movimentação de cargas remuneradas	2	1	2	3	3	0	1	2	2	1		
2	Alta frequência de movimentações desnecessárias de vagões vazios	0	0	1	3	0	0	0	0	0	0		
3	Elevados tempos de ciclo	3	0	3	3	3	0	2	2	3	3		
4	Quantidade de maquinistas inadequada e reduzida	1	0	1	1	1	0	3	0	1	3		
5	Baixos resultados de receita operacional	2	1	2	2	3	0	1	2	2	1		
6	Custos variáveis elevados	2	3	3	2	3	2	1	2	2	2		
7	Baixo lucro operacional	2	3	2	3	3	2	1	2	2	1		
8	Alta representatividade dos custos com combustíveis sobre os custos totais de transporte	2	3	2	1	2	3	1	3	2	1		
9	Altos índices de emissões de gases poluentes	2	3	2	1	2	3	1	3	2	1		
10	Falta de compromisso e ações para reduzir o índice e a gravidade de acidentes ferroviários	3	0	0	0	0	0	0	1	2	1		
11	Inexistência de ferramentas de auxílio de maquinistas durante a condução de trens	0	3	0	0	0	0	0	0	1	0		
12	Poucos investimentos em infraestrutura ferroviária	3	0	3	0	0	0	0	0	1	0		
13	Planejamento operacional de baixa qualidade e pouco profundo	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0		
14	Método de faturamento inadequado	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0		
15	Falta de compromissos ambientais corporativos	0	1	0	0	0	3	0	1	0	0		
16	Falta de ferramentas de gestão da logística e escala de maquinistas	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0		
17	Baixa quantidade de equipamentos de simulação de viagens de trens	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0		
18	Comunicação inadequada entre maquinistas e centro de controle operacional (CCO)	0	1	0	0	0	0	0	0	3	0		

Fonte: o autor (2021)

A análise quantitativa da tabela 3 foi realizada através da soma ponderada da frequência do critério de relação versus o peso individual de cada critério.

Verificou-se três ações que tiveram menor contribuição para a melhoria dos problemas, são elas: compromissos ambientais; melhorias na gestão da logística de maquinistas através da utilização de inteligência artificial: “Chave na Mão”; Aumento

no quadro de maquinistas. As demais ações tiveram um nível de relação e contribuição para melhoria dos problemas muito próximas e significativas. A tabela 3 representa a avaliação quantitativa da relação e contribuição das ações com os problemas.

Tabela 3 - Avaliação quantitativa da relação das ações de melhoria com os problemas

SEQ.	AÇÕES PARA MELHORIA E RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS	RELAÇÃO COM PROBLEMAS
1	Ações para redução de acidentes ferroviários	48%
2	Implantação de tecnologia de trens semiautônomos: Trip optimizer	41%
3	Ampliação de capacidade de malha ferroviária	46%
4	Melhorias na qualidade do planejamento operacional	46%
5	Implantação de solução para flexibilização no faturamento de trens	49%
6	Compromissos ambientais	29%
7	Melhorias na gestão da logística de maquinistas através da utilização de inteligência artificial: “Chave na Mão”	32%
8	Aquisição de um novo simulador de trens	48%
9	Investimentos em comunicação no trecho	48%
10	Aumento no quadro de maquinistas	30%

Fonte: o autor (2021)

Com relação a avaliação dos problemas com as ações para melhoria, verificou-se que baixos resultados de movimentação de cargas remuneradas; elevados tempos de ciclo; baixos resultados de receita operacional; custos variáveis elevados; baixo lucro operacional; alta representatividade dos custos com combustíveis sobre os custos totais de transporte; altos índices de emissões de gases poluentes; foram os problemas mais atingidos pelas ações, sendo que os demais problemas foram pouco atingidos pelas ações. A tabela 4 ilustra a relação dos problemas mapeados com as ações implantadas.

Tabela 4 - avaliação quantitativa da relação dos problemas com as ações de melhoria

SEQ.	PROBLEMAS MAPEADOS	RELAÇÃO COM AÇÕES
1	Baixos resultados de movimentação de cargas remuneradas	57%
2	Alta frequência de movimentações desnecessárias de vagões vazios	13%
3	Elevados tempos de ciclo	73%
4	Quantidade de maquinistas inadequada e reduzida	37%
5	Baixos resultados de receita operacional	53%
6	Custos variáveis elevados	73%
7	Baixo lucro operacional	70%
8	Alta representatividade dos custos com combustíveis sobre os custos totais de transporte	67%
9	Altos índices de emissões de gases poluentes	67%
10	Falta de compromisso e ações para reduzir o índice e a gravidade de acidentes ferroviários	23%
11	Inexistência de ferramentas de auxílio de maquinistas durante a condução de trens	13%
12	Poucos investimentos em infraestrutura ferroviária	23%
13	Planejamento operacional de baixa qualidade e pouco profundo	10%
14	Método de faturamento inadequado	10%
15	Falta de compromissos ambientais corporativos	17%
16	Falta de ferramentas de gestão da logística e escala de maquinistas	10%
17	Baixa quantidade de equipamentos de simulação de viagens de trens	10%
18	Comunicação inadequada entre maquinistas e centro de controle operacional (CCO)	13%

Fonte: o autor (2021)

A figura 25 retrata a relação das ações para melhoria com o baixo desempenho operacional, financeiro e ambiental. Verificou-se que o desempenho financeiro foi o mais impactado pelas ações, seguido pelo operacional e por fim o ambiental, que foi o menos atingido pelas ações de melhoria.

Relação dos problemas com o desempenho operacional, financeiro e ambiental

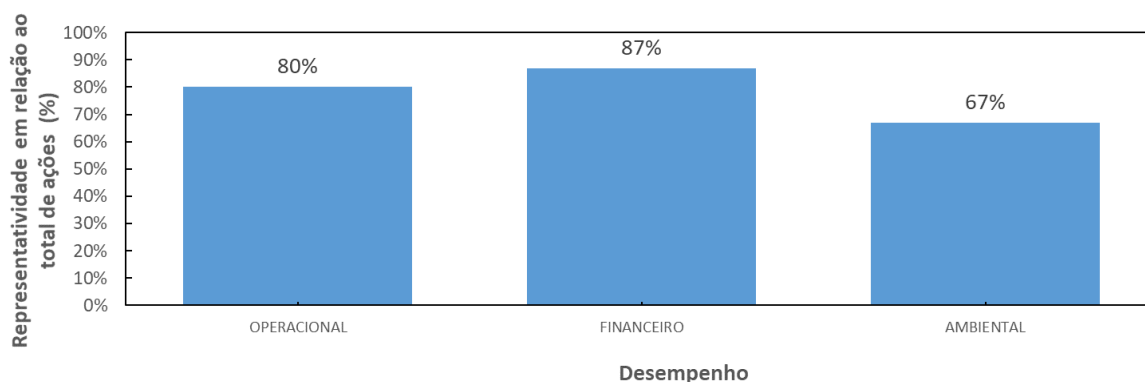


Figura 25 - Relação das ações com o desempenho operacional, ambiental e financeiro

Fonte: o autor (2021)

Assim, este tópico permitiu verificar que todas as ações contribuíram de alguma forma para algum problema e que cada problema foi melhorado por ao menos uma ação. Também foi possível verificar que a maioria das ações teve uma vasta contribuição para diversos problemas. No entanto a verificação dos problemas mostrou que as ações ficaram concentradas em alguns problemas, sendo que uma grande quantidade de problemas foi abordada por poucas ações, sugerindo que poderiam ter mais ações ou que a priorização de ações fosse mais diversificada. Foi possível diagnosticar também que as ações contribuíram mais para o desempenho financeiro e operacional, sendo que o desempenho ambiental foi o menos priorizado.

4.5.2 Avaliação de indicadores antes e depois das ações para melhoria e resolução de problemas

Neste tópico serão avaliados os indicadores antes e depois das ações para melhoria e resolução de problemas.

4.5.2.1 Avaliação de desempenho operacional

A avaliação dos indicadores operacionais entre os anos de 2016 a 2020 está retratada no quadro 18.

Quadro 18 – Avaliação de indicadores operacionais

SIGLA	DESCRIÇÃO	UNIDADE	2016-2020	2016	2017	2018	2019	2020	MELHOR
TKU	Mercadoria transportada e remunerada (t) versus distância percorrida (km)	t.km		27.599.621.311,57	35.222.191.344,00	41.040.535.984,98	44.893.340.733,21	47.927.957.757,20	Maior
TKB	Movimentação ferroviária bruta (t) versus distância percorrida (km) Movimentação remunerada + não remunerada + massa dos ativos ferroviários	t.km		47.682.344.816,83	60.668.709.174,81	68.898.284.498,01	75.577.269.548,11	79.142.114.110,85	-
C	Tempo de ciclo médio total Somatória dos tempos de: carga, descarga e trânsito de ida e volta.	dias		9,20	9,46	9,05	8,46	7,87	Menor
tcFA	Tempo médio de fila e anomalias	dias		2,57	2,30	1,96	1,40	1,01	Menor
vc	Velocidade média de condução	km/h		15,07	13,48	13,74	13,74	14,25	-
iA	Índice de acidentes Quantidade de acidentes por movimentação ferroviária total	acidentes/(t.km)		0,19	0,15	0,17	0,15	0,13	Menor
NV	Frota de vagões	vagões		6.747	7.861	8.758	8.757	8.977	-
HC	Quadro funcional: quantidade de maquinistas	peessoas		455	489	522	526	553	-
%qG	% de acidentes graves	%		0,57	0,42	0,52	0,35	0,38	Menor
IO-1	Índice operacional 1 Movimentações remuneradas (TKU) em relação total de movimentações (TKB)	-		0,58	0,58	0,60	0,59	0,61	Maior
IO-2	Índice operacional 2 Movimentações remuneradas (TKU) em relação a frota (vagões) versus quadro funcional (maquinistas) versus tempo de ciclo (C)	(t.km)/(vgs.pessoas.dias) . 10 ⁻¹		9,77	9,69	9,91	11,52	12,27	Maior

Fonte: o autor (2021)

A análise resumida do quadro de indicadores operacionais, mostra que grande parte dos indicadores operacionais melhorou no período de forma considerável, bem como os índices operacionais também melhoraram.

O índice operacional 1 mostra uma evolução de 5% no período, com variação entre os anos intermediários. A partir deste indicador é possível verificar que o ritmo de crescimento das movimentações remuneradas, fretes de transporte, foi superior ao ritmo de crescimento das movimentações totais, em sua grande maioria representadas pela movimentação de vagões vazios e movimentações de serviço interno da ferrovia.









O índice operacional 2 mostra uma evolução de 26% no período, com crescimento expressivo a partir do ano de 2019. A partir deste indicador é possível verificar que houve uma evolução de produtividade operacional expressiva, onde a relação de movimentações remuneradas sobre a quantidade de maquinistas, tempo de ciclo e número de vagões aumentou.

Resumidamente, é possível verificar que o desempenho operacional foi satisfatório no período e evoluiu ao longo dos anos até atingir seu melhor resultado em 2020.

4.5.2.2 Avaliação de desempenho financeiro

A avaliação dos indicadores financeiros entre os anos de 2016 a 2020 está retratada no quadro 19.

Quadro 19 - Avaliação de indicadores financeiros

SIGLA	DESCRIÇÃO	UNIDADE	2016-2020	2016	2017	2018	2019	2020	MELHOR
ROL	Receita operacional líquida	R\$		2.669.947.977,66	3.518.970.736,08	4.098.467.873,38	4.490.155.486,52	4.242.300.725,87	Maior
CV	Custo variável	R\$		485.068.223,13	612.342.643,98	770.154.070,05	897.280.700,00	895.276.667,60	Menor
MC	Margem de contribuição (lucro operacional bruto)	R\$		2.184.879.754,53	2.906.628.092,10	3.328.313.803,33	3.592.874.786,51	3.347.024.058,27	Maior
CD	Custos com óleo diesel	R\$		382.731.363,46	470.454.526,39	582.172.444,64	619.602.742,55	578.042.698,05	Menor
%CDV	Percentual do custo de diesel sobre o custo variável total	%		78,90	76,83	75,59	69,05	64,57	Menor
AF	Ativos fixos	R\$		10.337.119.000,00	11.266.278.000,00	11.916.818.000,00	11.770.168.000,00	13.646.248.000,00	-
IF-1	Índice financeiro 1 Custo variável (CV) em relação as movimentações remuneradas (TKU)	R\$/(t.km) . 10 ²		1,76	1,74	1,88	2,00	1,87	Menor
IF-2	Índice financeiro 2 Margem de contribuição (MC) versus receita operacional Líquida (ROL) em relação ao custo variável (CV) versus ativos fixos (AF)	-		1,16	1,48	1,49	1,53	1,16	Maior

Fonte: o autor (2021)

A análise resumida do quadro de indicadores financeiros, mostra que os resultados não foram promissores. Mesmo com maiores receitas e lucros os índices apontam para piora nos resultados.

O índice financeiro 1 mostra um aumento de 6% no período, sendo que vinha num ritmo menos promissor nos anos anteriores. A partir deste indicador é possível verificar os custos relacionados as movimentações ferroviárias remuneradas totais, sendo que os custos unitários de transporte ferroviário aumentaram inúmeras vezes, sendo que em 2020 houve uma retração, que ainda foi maior se comparado a 2016.





O índice financeiro 2 não apresentou evolução no período, apesar dos resultados promissores nos anos intermediários. Neste indicador estão a receita e o lucro com relação ao custo variável e custo fixo, sendo possível verificar que a empresa evoluiu financeiramente nos últimos anos, porém no ano de 2020 voltou ao mesmo patamar do ano de 2016. A receita e os lucros reduziram no último ano, os custos se mantiveram muito próximo do ano anterior e os ativos fixos aumentaram consideravelmente, o que contribui para a redução expressiva do indicador. O aumento neste custo fixo se da principalmente em investimentos de ampliação de capacidade (obras, aquisição de ativos, entre outros) previstos nas obrigações para renovação de concessão da empresa junto ao governo federal.

Resumidamente, é possível verificar que o desempenho financeiro do período não foi satisfatório. Na ótica do índice financeiro 1 a empresa vinha piorando nos últimos anos, no entanto 2020 houve uma recuperação, mas que ainda o resultado foi pior que o ano 2016. Na ótica do índice financeiro 2 o indicador vinha melhorando ano após ano, no entanto 2020 foi um ano num patamar muito parecido com o ano de 2016.

4.5.2.3 Avaliação de desempenho ambiental

A avaliação dos indicadores ambientais entre os anos de 2016 a 2020 está retratada no quadro 20.

Quadro 20 - Avaliação de indicadores ambientais

SIGLA	DESCRIÇÃO	UNIDADE	2016-2020	2016	2017	2018	2019	2020	MELHOR
cD	Consumo de combustível (óleo diesel)	L (litros)		198.493.966,35	232.964.243,49	255.393.768,83	261.554.354,52	252.902.606,20	Menor
mCO ₂ -eq	Emissões de dióxido de carbono equivalente	t (tonelada)		530.177,38	622.247,49	682.156,76	698.611,68	675.502,86	Menor
EE	Eficiência energética em relação ao total de movimentações (TKB)	TEP/(t.km) . 10 ⁻⁶		3,53	3,26	3,14	2,93	2,71	Menor
IA	Índice ambiental Emissões de CO ₂ -eq (mCO ₂ -eq) em relação ao total de movimentações (TKB)	(t.CO ₂ -eq)/(t.km) . 10 ⁻⁶		11,12	10,26	9,90	9,24	8,54	Menor

Fonte: o autor (2021)

A análise resumida do quadro de indicadores ambientais, mostra que os resultados evoluíram em termos de emissões unitárias, mas pioraram em termos de emissões totais.

O índice ambiental, que verifica as emissões unitárias através da relação das emissões totais com relação ao total de movimentações, mostra uma redução satisfatória no período e na maioria dos anos.

4.5.3 Avaliação da correlação dos dados

A partir da correlação entre os indicadores de desempenho foi possível elaborar a quadro 21 e realizar uma análise para verificar o comportamento de cada indicador de desempenho em relação a outro.

- Os resultados da correlação entre desempenho operacional e financeiro mostraram que houve uma variação de melhoria em um desempenho e piora no outro na ordem de 40%;
- Os resultados da correlação entre desempenho operacional e ambiental mostrou que houve uma variação de melhoria em ambos na ordem de 66%;
- Os resultados da correlação entre desempenho financeiro e ambiental mostrou que houve uma variação de melhoria em um desempenho e piora no outro na ordem de 8%;

Quadro 21 - Análise de correlação entre os indicadores de desempenho

INDICADOR 1 X INDICADOR 2	INDICADOR 1		INDICADOR 2		RESULTADO DA CORRELAÇÃO	RESULTADO DA CORREÇÃO PARA INFLUÊNCIA POSITIVA MÁXIMA ENTRE INDICADORES	RESULTADO DA CORREÇÃO EM RELAÇÃO AO RESULTADO DA CORREÇÃO PARA INFLUÊNCIA POSITIVA MÁXIMA ENTRE INDICADORES	DESEMPENHO X DESEMPENHO
	KPI	MELHOR	KPI	MELHOR				
IO-1 x IF-1	IO-1	maior	IF-1	menor	0,66	-1,00	-66%	operacional x financeiro
IO-1 x IF-2	IO-1	maior	IF-2	maior	-0,08	1,00	-8%	
IO-2 x IF-1	IO-2	maior	IF-1	menor	0,66	-1,00	-66%	
IO-2 x IF-2	IO-2	maior	IF-2	maior	-0,24	1,00	-24%	
IO-1 x IA	IO-1	maior	iA	menor	-0,64	-1,00	64%	operacional x ambiental
IO-2 x IA	IO-2	maior	iA	menor	-0,68	-1,00	68%	
IF-1 x IA	IF-1	menor	iA	menor	-0,27	1,00	-27%	ambiental x financeiro
IF-2 x IA	IF-2	maior	iA	menor	-0,10	-1,00	10%	

Fonte: o autor (2021)

Neste contexto foi possível verificar que no período analisado o desempenho operacional e ambiental foram os que apresentaram a maior sinergia e relação de melhoria conjunta no período analisado. Já o desempenho operacional e financeiro apresentaram resultados contrários, enquanto um melhorou o outro piorou. Por fim o desempenho financeiro e ambiental mostraram também, em menor escala, resultados contrários no período analisado.

Também foram propostos os quadros 22 que retrata a correlação entre todos os indicadores utilizados neste trabalho e o quadro 23 que retrata o módulo da correlação entre todos os indicadores utilizados neste trabalho.

De forma geral é possível verificar que a maior parte dos indicadores possuem uma certa correlação entre si, positiva ou negativa, ou seja, se conversam e contribuem de alguma forma para a avaliação do ambiente estudado.

No entanto a avaliação do módulo dos resultados de correlação entre indicadores mostra que poucos indicadores têm relação com o índice financeiro 2 IF-2. Outro resultado neste mesmo contexto está também no indicador de velocidade de condução vc, onde este também possuiu pouca relação com os outros indicadores.

Quadro 22 - Análise de correlação entre os indicadores

	TKU	TKB	C	tcFA	vc	iA	NV	HC	%qG	IO-1	IO-2	ROL	CV	MC	CD	%CDV	AF	IF-1	IF-2	cD	mCO ₂ -eq	EE	IA
TKU		1,00	-0,81	-0,96	-0,50	-0,79	0,97	0,99	-0,75	0,93	0,83	0,96	0,99	0,94	0,94	-0,90	0,90	0,76	0,21	0,94	0,83	-0,98	-0,79
TKB	1,00		-0,79	-0,95	-0,53	-0,79	0,97	0,98	-0,77	0,91	0,81	0,97	0,99	0,95	0,95	-0,89	0,89	0,76	0,25	0,95	0,94	-0,97	-0,79
C	-0,81	-0,79		0,94	-0,08	0,61	-0,66	-0,81	0,59	-0,88	-0,98	-0,65	-0,81	-0,58	-0,64	0,96	-0,84	-0,63	0,34	-0,64	-0,56	0,88	0,61
tcFA	-0,96	-0,95	0,94		0,26	0,77	-0,86	-0,94	0,75	-0,93	-0,95	-0,85	-0,95	-0,81	-0,83	0,99	-0,91	-0,73	0,04	-0,83	-0,79	0,98	0,77
vc	-0,50	-0,53	-0,08	0,26		0,56	-0,63	-0,46	0,58	-0,21	-0,02	-0,66	-0,47	-0,71	-0,61	0,17	-0,28	-0,31	-0,86	-0,61	-0,73	0,39	0,56
iA	-0,79	-0,79	0,61	0,77	0,56		-0,73	-0,79	0,84	-0,64	-0,68	-0,69	-0,70	-0,68	-0,60	0,78	-0,84	-0,27	-0,10	-0,60	-0,67	0,85	1,00
NV	0,97	0,97	-0,66	-0,86	-0,63	-0,73		0,97	-0,67	0,89	0,57	0,97	0,95	0,97	0,97	-0,77	0,84	0,73	0,37	0,97	0,98	-0,91	-0,73
HC	0,99	0,98	-0,81	-0,94	-0,46	-0,79	0,97		-0,68	0,96	0,80	0,93	0,96	0,90	0,91	-0,89	0,94	0,69	0,14	0,91	0,91	-0,97	-0,79
%qG	-0,75	-0,77	0,59	0,75	0,58	0,84	-0,67	-0,68		-0,49	-0,72	-0,75	-0,75	-0,74	-0,66	0,77	-0,60	-0,55	-0,32	-0,66	-0,69	0,79	0,84
IO-1	0,93	0,91	-0,88	-0,93	-0,21	-0,64	0,89	0,96	-0,49		0,82	0,82	0,90	0,78	0,83	-0,88	0,94	0,66	-0,08	0,83	0,79	-0,92	-0,64
IO-2	0,83	0,81	-0,98	-0,95	-0,02	-0,68	0,57	0,80	-0,72	0,82		0,68	0,83	0,63	0,65	-0,98	0,82	0,66	-0,24	0,55	0,59	-0,90	-0,68
ROL	0,96	0,97	-0,65	-0,85	-0,66	-0,69	0,97	0,93	-0,75	0,82	0,68		0,97	1,00	0,99	-0,77	0,75	0,83	0,47	0,99	0,99	-0,89	-0,69
CV	0,99	0,99	-0,81	-0,95	-0,47	-0,70	0,95	0,96	-0,75	0,90	0,83	0,97		0,95	0,96	-0,89	0,83	0,85	0,26	0,96	0,93	-0,95	-0,70
MC	0,94	0,95	-0,58	-0,81	-0,71	-0,68	0,97	0,90	-0,74	0,78	0,63	1,00	0,95		0,99	-0,72	0,71	0,82	0,54	0,99	1,00	-0,85	-0,68
CD	0,94	0,95	-0,64	-0,83	-0,61	-0,60	0,97	0,91	-0,66	0,83	0,65	0,99	0,96	0,99		-0,74	0,72	0,87	0,47	1,00	0,98	-0,85	-0,60
%CDV	-0,90	-0,89	0,96	0,99	0,17	0,78	-0,77	-0,89	0,77	-0,88	-0,98	-0,77	-0,89	-0,72	-0,74		-0,89	-0,65	0,15	-0,74	-0,69	0,96	0,78
AF	0,90	0,89	-0,84	-0,91	-0,28	-0,84	0,84	0,94	-0,60	0,94	0,82	0,75	0,83	0,71	0,72	-0,89		0,45	-0,15	0,72	0,72	-0,94	-0,84
IF-1	0,76	0,76	-0,63	-0,73	-0,31	-0,27	0,73	0,69	-0,55	0,66	0,66	0,83	0,85	0,82	0,87	-0,65	0,45		0,88	0,87	0,79	-0,67	-0,27
IF-2	0,21	0,25	0,34	0,04	-0,86	-0,10	0,37	0,14	-0,32	-0,08	-0,24	0,47	0,26	0,54	0,47	0,15	-0,15	0,38		0,47	0,54	-0,05	-0,10
cD	0,94	0,95	-0,64	-0,83	-0,61	-0,60	0,97	0,91	-0,66	0,83	0,65	0,99	0,96	0,99	1,00	-0,74	0,72	0,87	0,47		0,98	-0,85	-0,60
mCO ₂ -eq	0,93	0,94	-0,56	-0,79	-0,73	-0,67	0,98	0,91	-0,69	0,79	0,59	0,99	0,93	1,00	0,98	-0,69	0,72	0,79	0,54	0,98		-0,84	-0,67
EE	-0,98	-0,97	0,88	0,98	0,39	0,85	-0,91	-0,97	0,79	-0,92	-0,90	-0,89	-0,95	-0,85	-0,85	0,96	-0,94	-0,67	-0,05	-0,85	-0,84		0,85
IA	-0,79	-0,79	0,61	0,77	0,56	1,00	-0,73	-0,79	0,84	-0,64	-0,68	-0,69	-0,70	-0,68	-0,60	0,78	-0,84	-0,27	-0,10	-0,60	-0,67	0,85	

Fonte: o autor (2021)

Quadro 23- Análise do módulo da correlação entre os indicadores

MÉDIA	0,81	0,82	0,66	0,77	0,44	0,65	0,79	0,80	0,65	0,73	0,68	0,79	0,81	0,78	0,77	0,74	0,72	0,62	0,28	0,77	0,77	0,79	0,65
	TKU	TKB	C	tcFA	vc	iA	NV	HC	%qG	IO-1	IO-2	ROL	CV	MC	CD	%CDV	AF	IF-1	IF-2	cD	mCO ₂ -eq	EE	IA
TKU		1,00	0,81	0,96	0,50	0,79	0,97	0,99	0,75	0,93	0,83	0,96	0,99	0,94	0,94	0,90	0,90	0,76	0,21	0,94	0,93	0,98	0,79
TKB	1,00		0,79	0,95	0,53	0,79	0,97	0,98	0,77	0,91	0,81	0,97	0,99	0,95	0,95	0,89	0,89	0,76	0,25	0,95	0,94	0,97	0,79
C	0,81	0,79		0,94	0,08	0,61	0,66	0,81	0,59	0,88	0,98	0,65	0,81	0,58	0,64	0,96	0,84	0,63	0,34	0,64	0,56	0,88	0,61
tcFA	0,96	0,95	0,94		0,26	0,77	0,86	0,94	0,75	0,93	0,95	0,85	0,95	0,81	0,83	0,99	0,91	0,73	0,04	0,83	0,79	0,98	0,77
vc	0,50	0,53	0,08	0,26		0,56	0,63	0,46	0,58	0,21	0,02	0,66	0,47	0,71	0,61	0,17	0,28	0,31	0,86	0,61	0,73	0,39	0,56
iA	0,79	0,79	0,61	0,77	0,56		0,73	0,79	0,84	0,64	0,68	0,69	0,70	0,68	0,60	0,78	0,84	0,27	0,10	0,60	0,67	0,85	1,00
NV	0,97	0,97	0,66	0,86	0,63	0,73		0,97	0,67	0,89	0,67	0,97	0,95	0,97	0,97	0,77	0,84	0,73	0,37	0,97	0,98	0,91	0,73
HC	0,99	0,98	0,81	0,94	0,46	0,79	0,97		0,68	0,96	0,80	0,93	0,96	0,90	0,91	0,89	0,94	0,69	0,14	0,91	0,91	0,97	0,79
%qG	0,75	0,77	0,59	0,75	0,58	0,84	0,67	0,68		0,49	0,72	0,75	0,75	0,74	0,66	0,77	0,60	0,55	0,32	0,66	0,69	0,79	0,84
IO-1	0,93	0,91	0,88	0,93	0,21	0,64	0,89	0,96	0,49		0,82	0,82	0,90	0,78	0,83	0,88	0,94	0,66	0,08	0,83	0,79	0,92	0,64
IO-2	0,83	0,81	0,98	0,95	0,02	0,68	0,67	0,80	0,72	0,82		0,68	0,83	0,63	0,65	0,98	0,82	0,66	0,24	0,65	0,59	0,90	0,68
ROL	0,96	0,97	0,65	0,85	0,66	0,69	0,97	0,93	0,75	0,82	0,68		0,97	1,00	0,99	0,77	0,75	0,83	0,47	0,99	0,99	0,89	0,69
CV	0,99	0,99	0,81	0,95	0,47	0,70	0,95	0,96	0,75	0,90	0,83	0,97		0,95	0,96	0,89	0,83	0,85	0,26	0,96	0,93	0,95	0,70
MC	0,94	0,95	0,58	0,81	0,71	0,68	0,97	0,90	0,74	0,78	0,63	1,00	0,95		0,99	0,72	0,71	0,82	0,54	0,99	1,00	0,85	0,68
CD	0,94	0,95	0,64	0,83	0,61	0,60	0,97	0,91	0,66	0,83	0,65	0,99	0,96	0,99		0,74	0,72	0,87	0,47	1,00	0,98	0,85	0,60
%CDV	0,90	0,89	0,96	0,99	0,17	0,78	0,77	0,89	0,77	0,88	0,98	0,77	0,89	0,72	0,74		0,89	0,65	0,15	0,74	0,69	0,96	0,78
AF	0,90	0,89	0,84	0,91	0,28	0,84	0,84	0,94	0,60	0,94	0,82	0,75	0,83	0,71	0,72	0,89		0,45	0,15	0,72	0,72	0,94	0,84
IF-1	0,76	0,76	0,63	0,73	0,31	0,27	0,73	0,69	0,55	0,66	0,66	0,83	0,85	0,82	0,87	0,65	0,45		0,38	0,87	0,79	0,67	0,27
IF-2	0,21	0,25	0,34	0,04	0,86	0,10	0,37	0,14	0,32	0,08	0,24	0,47	0,26	0,54	0,47	0,15	0,15	0,38		0,47	0,54	0,05	0,10
cD	0,94	0,95	0,64	0,83	0,61	0,60	0,97	0,91	0,66	0,83	0,65	0,99	0,96	0,99	1,00	0,74	0,72	0,87	0,47		0,98	0,85	0,60
mCO ₂ -eq	0,93	0,94	0,56	0,79	0,73	0,67	0,98	0,91	0,69	0,79	0,59	0,99	0,93	1,00	0,98	0,69	0,72	0,79	0,54	0,98		0,84	0,67
EE	0,98	0,97	0,88	0,98	0,39	0,85	0,91	0,97	0,79	0,92	0,90	0,89	0,95	0,85	0,85	0,96	0,94	0,67	0,05	0,85	0,84		0,85
IA	0,79	0,79	0,61	0,77	0,56	1,00	0,73	0,79	0,84	0,64	0,68	0,69	0,70	0,68	0,60	0,78	0,84	0,27	0,10	0,60	0,67	0,85	

Fonte: o autor (2021)

5 DISCUSSÕES

Ao longo do período foram implementadas pela Empresa ABC 7 ações para a melhoria de problemas relacionados ao desempenho operacional que permitiram uma maior número de volume transportado com relação a utilização de recursos operacionais, são elas: ações para redução de acidentes ferroviários, onde houveram uma série de ações multidisciplinares, que contribuíram para a redução dos tempos de ciclo, bem como redução do tempo médio de filas e anomalias; ampliação de capacidade de malha ferroviária, que permitiu a operação de trens maiores, contribuindo para a redução dos tempos de ciclo e de filas e anomalias, além de proporcionar uma menor necessidade de maquinistas (colaboradores); melhorias na qualidade do planejamento operacional, onde foram implementados processos mais inteligentes e robustos, contribuindo para redução de filas e congestionamentos, bem como na redução dos tempos de ciclos e movimentações de vagões vazios; implantação de solução para flexibilização no faturamento de trens, que melhorou o agendamento da descarga de trens garantindo que os trens não fiquem parados aguardando abertura de espaço e capacidade de recebimento dos terminais de destino, contribuindo também para a redução dos tempos de ciclo e fila; aquisição de um novo simulador de trens, que elevou a qualidade e a segurança do processo de condução de trens, colaborando para a redução de acidentes ferroviários, bem como de filas e tempos de ciclo; investimentos em comunicação no trecho, através da modernização nos sistemas de comunicação que permitiu a troca de informação mais ágil contribuindo para a redução de paradas de trens e filas no sistema; aumento no quadro de maquinistas, onde houve a adequação a real necessidade de maquinistas, reduzindo horas extras e contribuindo para operações mais eficientes. Nenhuma ação contribuiu diretamente para a redução do número de ativos, no entanto, a grande maioria dos indicadores contribuíram para o tempo de ciclo, que está diretamente relacionado com o tamanho da frota de vagões (necessidade de ativos), onde quando maior o tempo de ciclo, maior a necessidade de ativos. Assim estas ações puderam contribuir para a melhoria de 9 principais problemas relacionados ao desempenho operacional, são eles: Baixos resultados de movimentação de cargas remuneradas; alta frequência de movimentações desnecessárias de vagões vazios; elevados tempos de ciclo; falta de compromisso e ações para reduzir o índice e a gravidade de

acidentes ferroviários; poucos investimentos em infraestrutura ferroviária; planejamento operacional de baixa qualidade e pouco profundo; método de faturamento inadequado; baixa quantidade de equipamentos de simulação de viagens de trens; comunicação inadequada entre maquinistas e centro de controle operacional (CCO). A efetividade das ações foi mensurada através da avaliação dos indicadores operacionais, sendo possível verificar a melhoria do desempenho operacional da Empresa ABC entre os anos de 2016 e 2020. O índice operacional 1 (IO-1), que representa a relação do total de movimentações remuneradas (frete contratado pelos clientes) com o total de movimentações brutas (frete remunerados e movimentação de vagões vazios para atender a demanda remunerada), apresentou uma evolução na ordem de 5%. Já o índice operacional (IO-2), que representa a relação do total de movimentações remuneradas com o tamanho da frota de vagões; número de colaboradores e tempo de ciclo, apresentou uma evolução na ordem de 25%. Resumidamente, houve uma evolução positiva na quantidade de frete remunerado com menor utilização de recursos operacionais. Assim estes resultados estão de acordo com as estratégias propostas pela Empresa ABC, uma vez que grande parte dos esforços das ações estavam relacionados com o desempenho operacional. Estas avaliações de desempenho operacional também foram realizadas por Maltseva *et. al* (2020) que avaliaram o desempenho operacional das 5 maiores operadoras ferroviárias da Rússia utilizando o índice operacional 2, sendo realizadas também por Gorman *et. al* (2011) que avaliaram o desempenho operacional em duas operadoras e transporte ferroviário de cargas nos EUA. Neste modo, este estudo contribui para a literatura por ser um estudo raro em países Latino-Americanos, e no Brasil, a avaliar o desempenho operacional, bem como seus principais problemas e ações de melhoria no transporte ferroviário de cargas. Assim este estudo contribui também para a prática, servindo como base para consulta de problemas e ações de melhorias referentes ao transporte ferroviário de cargas. Este estudo também contribui com a sociedade, uma vez que está inserido no contexto de um importante setor para o Brasil, que possui uma forte relação operacional com as comunidades próximas a faixa de domínio de suas operações, gerando empregos, contribuindo para o desenvolvimento cultural local das pessoas que estão dentro da zona de influência de concessões ferroviárias.

Neste modo foram implementadas pela Empresa ABC 7 ações para tentar contribuir para a resolução de problemas relacionados ao desempenho financeiro, são

elas: ações para redução de acidentes ferroviários, onde houveram uma série de ações multidisciplinares, que permitiram o aumento na quantidade de volume movimentado e conseqüente aumento nas receitas operacionais, além de reduzir as filas e os custos de combustível de trens parados; implantação de tecnologia de trens semiautônomos: *Trip optimizer*, por meio da utilização de ferramentas tecnológicas para auxiliar na atividade de condução de trens, proporcionando conduções mais energeticamente eficientes e com menores custos relacionados ao consumo de combustível; ampliação de capacidade de malha ferroviária, que permitiu o aumento na quantidade de volume movimentado e conseqüente aumento nas receitas operacionais, além de reduzir as filas e os custos de combustível de trens parados; melhorias na qualidade do planejamento operacional, onde foram implementados processos mais inteligentes e robustos, contribuindo para a redução de custos relacionadas a movimentações desnecessárias de vagões vazios, bem como no aumento na quantidade de volume movimentado e conseqüente aumento nas receitas operacionais, além de reduzir as filas e os custos de combustível de trens parados; implantação de solução para flexibilização no faturamento de trens, que melhorou o agendamento da descarga de trens garantindo que os trens não fiquem parados aguardando abertura de espaço e capacidade de recebimento dos terminais de destino, permitindo aumento nas receitas operacionais; melhorias na gestão da logística de maquinistas através da utilização de inteligência artificial: “Chave na Mão”, que permitiu a utilização de maquinistas de forma mais eficiente; aquisição de um novo simulador de trens, que permitiu elevar as técnicas e habilidades de conduções de maquinistas através de treinamentos mais frequentes e amplos, permitindo maior eficiência energética e redução de custos com combustíveis. Assim estas ações deveriam contribuir com a melhoria de 14 principais problemas relacionados ao desempenho financeiro, são eles: baixos resultados de movimentação de cargas remuneradas; alta frequência de movimentações desnecessárias de vagões vazios; elevados tempos de ciclo; baixos resultados de receita operacional; custos variáveis elevados; baixo lucro operacional; alta representatividade dos custos com combustíveis sobre os custos totais de transporte; altos índices de emissões de gases poluentes; falta de compromisso e ações para reduzir o índice e a gravidade de acidentes ferroviários; inexistência de ferramentas de auxílio de maquinistas durante a condução de trens; método de faturamento inadequado; falta de ferramentas de

gestão da logística e escala de maquinistas; baixa quantidade de equipamentos de simulação de viagens de trens. A efetividade das ações foi mensurada através da avaliação dos indicadores financeiros, sendo possível verificar uma pequena retração do desempenho financeiro da Empresa ABC entre os anos de 2016 e 2020. O índice financeiro 1 (IF-1), que representa a relação do custo variável (em sua grande maioria representado pelos custos com óleo diesel) com o total de movimentações brutas, apresentou uma piora na ordem de 5%. Já o índice financeiro (IF-2), que representa relação entre margem de contribuição (valor restante da receita após a subtração dos custos diretos da operação CV) *versus* receita operacional líquida (valores líquidos, já deduzidos impostos, recebidos referente ao serviço de transporte ferroviário de cargas) em relação ao custo variável *versus* o custo com ativos fixos (terrenos; edifícios; maquinistas; equipamentos; instalações; vagões; locomotivas; estrutura de via permanente, obras em andamento; ativos de infraestrutura; entre outros), não apresentou evolução no período. Resumidamente é possível verificar que houveram aumentos nos custos operacionais unitários com relação ao volume remunerado transportado, bem como as receitas operacionais e a margem de contribuição não aumentaram o suficiente com relação aos custos operacionais de transporte e também aos custos de ativos fixos. Neste modo as ações realizadas puderam contribuir para a resolução de problemas, mas não foram suficientes, em quantidade e intensidade, para melhorar o desempenho financeiro. Estas avaliações de desempenho financeiros também foram realizadas por Maltseva *et. al* (2020) que avaliaram o desempenho financeiro das 5 maiores operadoras ferroviárias da Rússia utilizando o índice operacional 2, sendo realizadas também por Lulli *et. al* (2011) que desenvolveram um modelo matemático de otimização numa operadora ferroviária de cargas na Itália com o objetivo de minimizar os custos de transporte. Neste modo, este estudo contribui para a literatura por ser um estudo raro em países Latino-Americanos, e no Brasil, a avaliar o desempenho financeiro, bem como seus principais problemas e ações de melhoria no transporte ferroviário de cargas. Assim este estudo contribui também para a prática, servindo como base para consulta de problemas e ações de melhorias referentes ao desempenho financeiro no transporte ferroviário de cargas. Este estudo também contribui com a sociedade, uma vez que está inserido no contexto de um importante setor para o Brasil, que possui uma forte relação financeira com as comunidades próximas a faixa de domínio de suas operações, gerando

empregos diretos e indiretos, contribuindo para o desenvolvimento de infraestrutura de transportes, entre outros.

Neste contexto foram implementadas pela Empresa ABC 3 ações para a melhoria de problemas relacionados ao desempenho ambiental que permitiram a redução na emissão de poluentes com relação ao volume transportado, são elas: implantação de tecnologia de trens semiautônomos: *Trip optimizer*, através da utilização de ferramentas tecnológicas para auxiliar na atividade de condução de trens, proporcionando conduções mais fluídas (com menos paradas) e com menor consumo de combustível; compromissos ambientais, por meio da adoção de estratégias ambientais para captar investimentos e atrair e reter clientes, proporcionando uma conscientização interna de seus colaboradores sobre a importância e relevância do tema; aquisição de um novo simulador de trens, que permitiu elevar as técnicas e habilidades de conduções de maquinistas através de treinamentos mais frequentes e amplos, permitindo maior eficiência energética e redução de impactos ambientais. Assim estas ações puderam contribuir para a melhoria de 7 principais problemas relacionados ao desempenho ambiental, são eles: custos variáveis elevados; baixo lucro operacional; alta representatividade dos custos com combustíveis sobre os custos totais de transporte; altos índices de emissões de gases poluentes; inexistência de ferramentas de auxílio de maquinistas durante a condução de trens; falta de compromissos ambientais corporativos; baixa quantidade de equipamentos de simulação de viagens de trens. A efetividade das ações foi mensurada através da avaliação dos indicadores ambientais, sendo possível verificar a melhoria do desempenho operacional da Empresa ABC entre os anos de 2016 e 2020. O índice ambiental (IA), que representa a relação das emissões de poluentes (causados pela combustão de óleo diesel pelas locomotivas) em relação ao total de movimentações brutas apresentou uma melhoria na ordem de 25%. Resumidamente, houve uma redução na quantidade de poluentes por movimentação ferroviária unitária. Assim estes resultados foram surpreendentes com relação as estratégias propostas pela Empresa ABC, uma vez que grande parte dos esforços das ações estavam relacionados com o desempenho operacional e financeiro. Estas avaliações de desempenho ambiental também foram realizadas por Gould e Niemeier (2011) que desenvolveram um modelo estatístico nos EUA para determinar desempenho ambiental no transporte ferroviário de cargas, sendo realizada também por Lebedevas

et. al (2017) que realizaram uma avaliação energética e ambiental de uma operadora ferroviária de cargas na Lituânia. Neste contexto, este estudo contribui para a literatura por ser um estudo raro em países Latino-Americanos, e no Brasil, a avaliar o desempenho ambiental, bem como seus principais problemas e ações de melhoria no transporte ferroviário de cargas. Assim este estudo contribui também para a prática, servindo como base para consulta de problemas e ações de melhorias referentes ao transporte ferroviário de cargas. Este estudo também contribui com a sociedade, uma vez que está inserido no contexto de um importante setor para o Brasil, que possui uma forte relação ambiental com as comunidades e meio ambiente próximos a faixa de domínio de suas operações, tendo relação com a saúde da sociedade, bem como com o compromisso ambiental.

Por fim, ao avaliar a correlação entre o desempenho operacional, financeiro e ambiental, foi possível diagnosticar que enquanto o desempenho operacional melhorava ao longo dos anos o financeiro reduzia. Neste modo, o desempenho financeiro também reduziu, em menor proporção, nas vezes em que o desempenho ambiental melhorou. Já com relação ao desempenho ambiental, este melhorou com a relação ao desempenho ambiental. Neste contexto ao avaliar a correlação todos os indicadores disponibilizados, foi possível verificar que o desempenho financeiro possui forte relação com poucos indicadores, se comparado ao desempenho operacional ou ambiental. No entanto estas descobertas indicam uma possível relação de causa e efeito, que pode ser apenas confirmada através de estudos mais profundos. Na literatura a pesquisa realizada por Maltseva *et. al* (2020) verificou o desempenho operacional e financeiro no transporte ferroviário de cargas; já a pesquisa realizada por Gorman *et. al* (2011) avaliou o desempenho operacional; Lebedevas *et. al* (2017) avaliaram o desempenho ambiental; no trabalho realizado Lulli *et. al* (2011) avaliou-se o desempenho financeiro; por fim Gould e Niemeier (2011) avaliaram o desempenho financeiro. Neste modo este trabalho contribuiu para a teoria sendo raros os trabalhos que estudaram o desempenho operacional, financeiro e ambiental, bem como avaliou a correlação e as possíveis relações entre os temas. Para a prática este trabalho pode contribuir como sendo um estudo técnico que esclarece possíveis causalidades entre os desempenhos, bem como, com indicadores. Assim estes resultados também contribuíram para a sociedade a sociedade uma vez que este estudo está inserido no contexto de um importante e crescente setor para o Brasil,

que possui uma forte relação operacional, financeira e ambiental com as comunidades próximas a faixa de domínios de suas operações, gerando empregos, contribuindo para o desenvolvimento cultural local, bem como com a relação do meio ambiente e a saúde das pessoas que estão dentro da zona de influência de concessões ferroviárias.

6 CONCLUSÕES

Este trabalho de pesquisa permitiu verificar a efetividade e as contribuições proporcionadas por ações de melhorias e resolução de problemas no desempenho operacional, financeiro e ambiental em uma empresa de transporte ferroviário de cargas. Neste contexto a maior parte das ações e esforços estavam concentrados na melhoria de problemas operacionais e financeiro, sendo os problemas ambientais o menos priorizado. A relação das ações com os problemas mostrou que as ações atingiram uma mesma quantidade de problemas, no entanto, nem todos os problemas foram atingidos pelas ações de melhoria na mesma intensidade, sendo possível concluir que faltaram mais ações para resolver com maior intensidade todos os problemas.

Neste modo através da análise de indicadores de desempenho operacional, financeiro e operacional foi possível diagnosticar que houveram evoluções significativas no desempenho operacional e surpreendentemente no desempenho ambiental. Com relação ao desempenho financeiro, houve uma pequena retração no período, fato surpreendente também, uma vez que a maior parte dos esforços e ações estavam centrado na melhoria deste desempenho.

As análises de correlação deste trabalho permitiram compreender que poucos indicadores utilizados no contexto do transporte ferroviário de cargas possuem correlação forte com o desempenho financeiro, o que sugere que faltam indicadores mais profundos neste tema, fato que pode ter contribuído para não evolução do desempenho financeiro conforme esperado por especialistas e gestores da Empresa ABC, uma vez que faltaram indicadores adequados para compreender os problemas, bem como direcionar os esforços para tratá-los. Ainda se tratando da correlação de dados foi possível verificar uma possível causalidade relação positiva entre o desempenho operacional e ambiental, bem como uma possível causalidade negativa entre o desempenho operacional e financeiro. No entanto para verificar uma relação de causa e efeito é necessário que sejam realizados estudos mais profundos e com maior quantidade de dados.

Resumidamente, as evoluções operacionais não foram suficientes para proporcionar os resultados financeiros esperados, uma vez que se esperavam menores custos operacionais e maiores resultados em volume transportado e receita

operacional frente ao aumento nos custos operacionais e custos com ativos fixos. No entanto as evoluções operacionais contribuíram para resultados ambientais além dos esperados, sendo um indicativo de causalidade entre desempenho operacional e ambiental, uma vez que poucos esforços foram direcionados para o desempenho ambiental.

Neste modo, este estudo contribui para a literatura por ser um estudo raro a verificar os problemas e as ações de melhorias com relação ao desempenho operacional, financeiro e ambiental no transporte ferroviário de cargas, além de serem poucos os trabalhos neste tema em países emergentes e latino-americanos, como o Brasil. Além disso nenhum trabalho na literatura avaliou o junto o desempenho operacional, financeiro e ambiental no transporte ferroviário de cargas, bem como também não avaliaram a correlação entre eles.

Assim este estudo contribui também para a prática, servindo como base para consulta de problemas, ações de melhorias, indicadores de desempenho, boas práticas, referentes ao transporte ferroviário de cargas. Este estudo também contribui com a sociedade, uma vez que está inserido no contexto de um importante setor para o Brasil, que possui uma forte relação operacional, financeira e ambiental com as comunidades e meio ambiente próximos a faixa de domínio de suas operações, bem como contribui diretamente para o desenvolvimento social, financeiro de uma grande parcela da sociedade através da geração de empregos diretos e indiretos.

Devido as limitações e disponibilidade de dados este estudo se limitou a analisar a correlação de dados através de uma pequena amostra de dados já consolidados em resultados anuais. Outras limitações foram com relação a avaliação do desempenho social, com a não inclusão de um indicador de vibrações sonoras causados pelas operações ferroviárias (importante indicador ambiental citado na literatura) e pela não avaliação de emissões secundárias no transporte ferroviário de cargas (emissões além das causadas por combustão de óleo diesel), devido a indisponibilidade de dados e informações nestes temas. No entanto apesar desta limitação com relação ao desempenho social, este acaba por ser abordado indiretamente uma vez que o setor estudado possui forte relação social devido a seus impactos ambientais na saúde da sociedade, bem como na geração de empregos, impactos de acidentes, entre outros.

Para pesquisas futuras sugere-se que sejam realizados estudos mais profundos para identificar os indicadores adequados para mensurar o desempenho financeiro. Além disso outras pesquisas podem trabalhar também na elaboração de um indicador único que mensure o desempenho do transporte ferroviário de cargas, considerando variáveis operacionais, financeiras e sociais. Caso haja disponibilidade de dados sugere-se também que os estudos sejam ampliados incluindo o desempenho social, bem como indicadores que mensurem vibrações ambientais causadas pelas operações ferroviárias de cargas, bem como incluam indicadores de emissões secundárias. Por fim espera-se também que trabalhos futuros explorem as análises de correlação de forma mais profunda, com uma maior quantidade de dados disponíveis. Vale destacar que sem este trabalho não seria possível identificar estas lacunas para futuras pesquisas.

REFERÊNCIAS

- AL-HAMED, K. H. M.; DINCER, I. Natural gas as a transitional solution for railway powering systems: Environmental and economic assessment of a fuel cell based powering system. **Journal of Natural Gas Science and Engineering**, v. 80, n. April, p. 103347, 2020.
- ANTF – Associação Nacional de Transportes Ferroviários. **Maior Valor em TKU da Série Histórica**. Disponível em: www.antf.org.br. Acessado em 27 de maio de 2021, 2019.
- ANTT – Associação Nacional de Transportes Terrestres. **Anuário Estatístico do Setor Ferroviário (2018)**. Disponível em: www.antt.gov.br. Acessado em 02 de abril de 2021, 2019.
- ANTT – Associação Nacional de Transportes Terrestres. **Anuário Estatístico do Setor Ferroviário (2020)**. Disponível em: www.antt.gov.br. Acessado em 02 de abril de 2021, 2020.
- ANTT – Associação Nacional de Transportes Terrestres. **Infraestrutura ferroviária**. Disponível em: www.antt.gov.br. Acessado em 16 de junho de 2021, 2020.
- ANTT – Associação Nacional de Transportes Terrestres. **Terminologia (2003)**. Disponível em: www.antt.gov.br. Acessado em 03 de agosto de 2021, 2003.
- ANP – Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Anuário Estatístico 2020, ano base 2019**. Disponível em: www.anp.gov.br. Acessado em 03 de agosto de 2021, 2020.
- BALLOU, R. H. A evolução e o futuro da logística e do gerenciamento da cadeia de suprimentos. **Produção**, v. 16, n. 3, p. 375–386, 2006.
- BALLOU, R. H. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos/logística empresarial**. 5ª edição. Editora Bookman, Porto Alegre, 2006.
- BARBOUR, W.; KUPPA, S.; WORK, D. B. Enhanced data reconciliation of freight rail dispatch data. **Journal of Rail Transport Planning and Management**, v. 14, p. 100-193, 2020.
- BARBOUR, W.; MARTINEZ MORI, J. C.; KUPPA, S.; WORK, D. B. Prediction of arrival times of freight traffic on US railroads using support vector regression. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, v. 93, p. 211–227, 2018.
- BETARELLI, A. A.; DOMINGUES, E. P.; HEWINGS, G. J. D. Transport policy, rail freight sector and market structure: The economic effects in Brazil. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 135, n. February, p. 1–23, 2020.
- BETTINELLI, A.; SANTINI, A.; VIGO, D. A real-time conflict solution algorithm for the train rescheduling problem. **Transportation Research Part B: Methodological**, v. 106, p. 237–265, 2017.
- BRANDÃO, H. P.; GUIMARÃES, T. D. A. Gestão de competências e gestão de desempenho: tecnologias distintas ou instrumentos de um mesmo construto? **Revista de Administração de empresas**, v. 41, n. 1, p. 8–15, 2001.
- BRANDÃO, H. P.; BORGES-ANDRADE, J. E.; GUIMARÃES T. A. Desempenho organizacional e suas relações com competências gerenciais, suporte organizacional e treinamento. **Revista de Administração**, v. 47, n. 4, p. 523–539, 2012.
- BRASIL – Ministério do Meio Ambiente. **1º Inventário nacional de emissões atmosféricas por veículos automotores rodoviários**. Disponível em: www.antigo.mma.gov.br.gov.br. Acessado em 10 de agosto de 2021, 2014.

BRASIL – Ministério da Infraestrutura. **Transporte Ferroviário**. Disponível em: www.infraestrutura.gov.br. Acessado em 10 de agosto de 2021, 2016.

BRYMAN, A. **Research methods and organization studies**. Editora Routledge, Londres, 1989.

BUTKO, T.; PROKHOROV, V.; CHEKHUNOV, D. Devising a method for the automated calculation of train formation plan by employing genetic algorithms. **Eastern-European Journal of Enterprise Technologies**, v. 1, p. 55–61, 2017.

CARDENETE, M. A.; LÓPEZ-CABACO, R. Economic and environmental impact of the new Mediterranean Rail Corridor in Andalusia: A dynamic CGE approach. **Transport Policy**, v. 102, n. December 2020, p. 25–34, 2021.

CASSEMIRO, S. L. D. S.; BANDEIRA, R. A. de M.; DA SILVA, U. B. Um procedimento para alocação de locomotivas a trens de carga. **Transportes**, v. 28, n. 1, p. 1–17, 2020.

CHAVES, M. C. de C.; GOMES, C. F. S. Evaluation of biofuels using multicriteria decision aid. **Producao**, v. 24, n. 3, p. 495–507, 2014.

CHEN, S.; WU, J.; ZONG, Y. The impact of the freight transport modal shift policy on China's carbon emissions reduction. **Sustainability (Switzerland)**, v. 12, n. 2, 2020.

CHISTIK, O. F.; NOSOV, V. V.; TSYPIN, A. P.; IVANOV, O. B.; PERMJAKOVA, T. V. Research indicators of railway transport activity in time series. **International Journal of Economic Perspectives**, v. 10, n. 3, p. 57–65, 2016.

CNT – Confederação Nacional de Transporte. **Conjuntura do Transporte – junho 2019**. Disponível em: www.cnt.gov.br. Acessado em 16 de julho de 2021, 2019.

CNT – Confederação Nacional de Transporte. **O Transporte Move o Brasil - Resumo das Propostas da CNT ao País**. Disponível em: www.cnt.gov.br. 16 de julho de 2021, 2019.

CNT – Confederação Nacional de Transporte. **O Sistema Ferroviário Brasileiro**. Disponível em: www.cnt.gov.br. Acessado em 16 de julho de 2021, 2013.

CNT – Confederação Nacional de Transporte. **Transporte em Números - Junho 2019**. Disponível em: www.cnt.gov.br. Acessado em 19 de julho de 2021, 2019.

CNT – Confederação Nacional de Transporte. **Transporte em Números – Dezembro 2019**. Disponível em: www.cnt.gov.br. Acessado em 19 de julho de 2021, 2019.

CORMAN, F.; D'ARIANO, A.; PACCIARELLI, D.; PRANZO, M. A tabu search algorithm for rerouting trains during rail operations. **Transportation Research Part B: Methodological**, v. 44, n. 1, p. 175–192, 2010.

DAHMUS, J. B. Can Efficiency Improvements Reduce Resource Consumption?: A Historical Analysis of Ten Activities Dahmus Can Efficiency Improvements Reduce Resource Consumption? **Journal of Industrial Ecology**, v. 18, n. 6, p. 883–897, 2014.

DANIS, J.; DOLINAYOVA, A.; CERNA, L.; ZITRICKY, V. Impact of the economic situation in the Slovak Republic on performances of railway transport. **Periodica Polytechnica Transportation Engineering**, v. 47, n. 2, p. 118–123, 2019.

DESEMPENHO. In: MICHAELLIS, Dicionário Online de Português. Disponível em www.michaelis.uol.com.br. Acessado em 13 de junho de 2021, 2021.

DONATO, H.; DONATO, M. Etapas na Condução de uma Revisão Sistemática. **Acta Médica Portuguesa**, v. 32, n. 3, 2019.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Balço Energético Nacional 2020, ano base 2019**. Disponível em: www.epe.gov.br. Acessado em 10 de junho de 2021, 2020.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2027**. Disponível em: www.epe.gov.br. Acessado em 10 de junho de 2021, 2018.

FERNÁNDEZ L.; DE CEA CH J. E.; GIESEN R. J. A strategic model of freight operations for rail transportation systems. **Transportation Planning and Technology**, v. 27, n. 4, p. 231-260, 2004.

FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Apostila Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2002.

FUMASOLI, T.; BRUCKMANN, D.; WEIDMANN, U. Operation of freight railways in densely used mixed traffic networks - An impact model to quantify changes in freight train characteristics. **Research in Transportation Economics**, v. 54, p. 15–19, 2015.

GALVÃO, T. F.; PANSANI, T. S. A.; HARRAD, D. Principais itens para relatar Revisões sistemáticas e Meta-análises: A recomendação PRISMA. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 24, p. 335-342, 2015.

GESTÃO. In: DICIO, Dicionário Online de Português. Disponível em www.dicio.com.br. Acessado em 13 de junho de 2021, 2021.

GIL, A. **Estudo de caso**. Editora Atlas, São Paulo, 2009.

GODWIN, T.; GOPALAN, R.; NARENDRAN, T. T. Estimating order delivery times and fleet capacity in freight rail networks: Part II - Analytic approximation. **International Journal of Operational Research**, v. 24, n. 4, p. 369–398, 2015.

GORMAN, M. F. Hub Group implements a suite of or tools to improve its operations. **Interfaces**, v. 40, n. 5, p. 368–384, 2010.

GORMAN, M. F.; CROOK, K.; SELLERS, D. North American freight rail industry real-time optimized equipment distribution systems: State of the practice. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, v. 19, n. 1, p. 103–114, 2011.

GOULD, G. M.; NIEMEIER, D. A. Spatial assignment of emissions using a new locomotive emissions model. **Environmental Science and Technology**, v. 45, n. 13, p. 5846–5852, 2011.

GRAY, R. S. Agriculture, transportation, and the COVID-19 crisis. **Canadian Journal of Agricultural Economics**, v. 68, n. 2, p. 239–243, 2020.

HAVENGA, J.; SIMPSON, Z.; GOEDHALS-GERBER, L. International trade logistics costs in South Africa: Informing the port reform agenda. **Research in Transportation Business and Management**, v. 22, p. 263–275, 2017.

HEGEDIĆ, M.; ŠTEFANIĆ, N.; NIKŠIĆ, M. Assessing the environmental impact of the self-propelled bulk carriage through LCA. **Promet - Traffic - Traffico**, v. 30, n. 3, p. 257–266, 2018.

HEINOLD, A. Comparing emission estimation models for rail freight transportation. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 86, n. July, p. 102468, 2020.

HEINOLD, A.; MEISEL, F. Emission rates of intermodal rail/road and road-only transportation in Europe: A comprehensive simulation study. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 65, n. September, p. 421–437, 2018.

HRICKO, A.; ROWLAND, G.; ECKEL, S.; LOGAN, A.; TAHER, M.; WILSON, J. Global trade, local impacts: Lessons from California on health impacts and environmental justice concerns for residents

living near freight rail yards. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 11, n. 2, p. 1914–1941, 2014.

HUANG, D.; HAN, M.; JIANG, Y. Research on Freight Transportation Carbon Emission Reduction Based on System Dynamics. **Applied Sciences**, v. 11, n. 5, p. 2041, 2021.

JÜTTE, S.; ALBERS, M.; THONEMANN, U. W.; HAASE, K. Optimizing railway crew scheduling at DB Schenker. **Interfaces**, v. 41, n. 2, p. 109–122, 2011.

JÜTTE, S.; THONEMANN, U. W. Divide-and-price: A decomposition algorithm for solving large railway crew scheduling problems. **European Journal of Operational Research**, v. 219, n. 2, p. 214–223, 2012.

KAACK, L. H.; VAISHNAV, P.; MORGAN, M. G.; AZEVEDO, I. L.; RAI, S. Decarbonizing intraregional freight systems with a focus on modal shift. **Environmental Research Letters**, v. 13, n. 8, 2018.

KARLSSON, C. **Researching operations management**. Editora Routledge, Nova Iorque, 2009.

LEBEDEVAS, S.; DAILYDKA, S.; JASTREMSKAS, V.; RAPALIS, P. Research of energy efficiency and reduction of environmental pollution in freight rail transportation. **Transport**, v. 32, n. 3, p. 291–301, 2017.

LEE, H. K.; KIM, H. B. The impacts of rail freight rate changes on regional economies, modal shift, and environmental quality in Korea. **International Journal of Urban Sciences**, v. 22, n. 4, p. 517–528, 2018.

LIN, B.; LIU, C.; WANG, H.; LIN, R. Modeling the railway network design problem: A novel approach to considering carbon emissions reduction. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 56, p. 95–109, 2017.

LIN, T.; PAN, Y.; CHEN, S.; ZUO, L. Modeling and field testing of an electromagnetic energy harvester for rail tracks with anchorless mounting. **Applied Energy**, v. 213, n. January, p. 219–226, 2018.

LIU, L.; HWANG, T.; LEE, S.; OUYANG, Y.; LEE, B.; SMITH, S. J.; YAN, F.; DAENZER, K.; BOND, T. C. Emission Projections for Long-Haul Freight Trucks and Rail in the United States through 2050. **Environmental Science and Technology**, v. 49, n. 19, p. 11569–11576, 2015.

LONG, T.; BIE, Z.; JIANG, L.; XIE, H. Coordinated dispatch of integrated electricity-natural gas system and the freight railway network. **CSEE Journal of Power and Energy Systems**, v. 6, n. 4, p. 782–792, 2020.

LOUZADA, P. C.; ROSA, R. A.; FOLETTI, M. B.; PIMENTA, L. D. B. Estratégia de utilização da folga de tração de trens para planejamento da distribuição de vagões vazios. **Transportes**, v. 26, n. 2, p. 155–166, 2018.

LU, S.; HILLMANSEN, S.; ROBERTS, C. A power-management strategy for multiple-unit railroad vehicles. **IEEE Transactions on Vehicular Technology**, v. 60, n. 2, p. 406–420, 2011.

LUAN, X.; WANG, Y.; DE SCHUTTER, B.; MENG, L.; LODEWIJKS, G.; CORMAN, F. Integration of real-time traffic management and train control for rail networks - Part 1: Optimization problems and solution approaches. **Transportation Research Part B: Methodological**, v. 115, p. 41–71, 2018.

LULLI, G.; PIETROPAOLI, U.; RICCIARDI, N. Service network design for freight railway transportation: the Italian case. **Journal of the Operational Research Society**, v. 62, n. 12, p. 2107–2119, 2011.

LUSBY, R. M.; HAAHR, J. T.; LARSEN, J.; PISINGER, D. A Branch-and-Price algorithm for railway rolling stock rescheduling. **Transportation Research Part B: Methodological**, v. 99, p. 228–250, 2017.

MALTSEVA, V.; NA, J.; KIM, G.; HA, H. K. Efficiency analysis of Russian rail freight transportation companies with super slack-based measurement data envelopment analysis. **Journal of International Logistics and Trade**, v. 18, n. 2, p. 77–89, 2020.

MCKINNON, A. C. Freight Transport Deceleration: Its Possible Contribution to the Decarbonisation of Logistics. **Transport Reviews**, v. 36, n. 4, p. 418–436, 2016.

MERCHAN, A. L.; BELBOOM, S.; LÉONARD, A. Life cycle assessment of rail freight transport in Belgium. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 22, n. 5, p. 1109–1131, 2020.

MILES, M. B.; HUBERMAN A. M. **Qualitative data analysis: an expanded sourcebook**. 2ª edição. Editora Sage, Thousand Oaks, 1994.

MINTZIA, D.; KEHAGIA, F.; TSAKALIDIS, A.; ZERVAS, E. A methodological framework for the comparative analysis of the environmental performance of roadway and railway transport. **Promet-Traffic&Transportation**, v. 30, n. 6, p. 721–731, 2018.

MOHER, D.; GLASZIOU, P.; CHALMERS, I.; NASSER, M.; BOSSUYT, P. M.; KOREVAAR, D. A.; BOUTRON, I. Increasing value and reducing waste in biomedical research: who's listening? **The Lancet**, v. 387, p. 1573–1586, 2016.

PERSON, K. **The grammar of science**. Editora J. M. Dent and Company, Londres, 1892.

PELLEGRINI, P.; MARLIÈRE, G.; RODRIGUEZ, J. A detailed analysis of the actual impact of real-time railway traffic management optimization. **Journal of Rail Transport Planning and Management**, v. 6, n. 1, p. 13–31, 2016.

PIENAAR, W. J. Railway corporate governance in a free-functioning freight transport market: A South African position. **Corporate Ownership and Control**, v. 7, n. 3 E, p. 448–453, 2010.

PINCHASIK, D. R.; HOVI, I. B.; MJØSUND, C. S.; GRØNLAND, S. E.; FRIDELL, E.; JERKSJÖ, M. Crossing borders and expanding modal shift measures: Effects on mode choice and emissions from freight transport in the nordics. **Sustainability (Switzerland)**, v. 12, n. 3, 2020.

PINTO, J. T. de M.; MISTAGE, O.; BILOTTA, P.; HELMERS, E. Road-rail intermodal freight transport as a strategy for climate change mitigation. **Environmental Development**, v. 25, p. 100–110, 2018.

PITTMAN, R.; JANDOVÁ, M.; KRÓL, M.; NEKRASENKO, L.; PALETA, T. The effectiveness of EC policies to move freight from road to rail: Evidence from CEE grain markets. **Research in Transportation Business and Management**, v. 37, 2020.

POURYOUSEF, H.; LAUTALA, P.; WATKINS, D. Development of hybrid optimization of train schedules model for N-track rail corridors. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, v. 67, p. 169–192, 2016.

PUNZET, L.; PIGNATA, S.; ROSE, J. Error types and potential mitigation strategies in Signal Passed at Danger (SPAD) events in an Australian rail organisation. **Safety Science**, v. 110, n. February, p. 89–99, 2018.

PYPER, A.; HEYNS, P. S. Evaluating a distributed regenerative braking system for freight trains. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit**, v. 233, n. 8, p. 844–856, 2019.

RÄHLMANN, C.; THONEMANN, U. W. Railway crew scheduling with semi-flexible timetables. **OR Spectrum**, v. 42, n. 4, p. 835–862, 2020.

RAMANI, T.; JAIKUMAR, R.; KHREIS, H.; ROULEAU, M.; CHARMAN, N. Air Quality and Health Impacts of Freight Modal Shifts: Review and Assessment. **Transportation Research Record**, v. 2673,

n. 3, p. 153–164, 2019.

RAO, X. Holistic rail network operation by integration of train automation and traffic management. **PhD Thesis, ETH Zurich**, n. 22706, 2015.

RAO, X.; MONTIGEL, M.; WEIDMANN, U. A new rail optimisation model by integration of traffic management and train automation. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, v. 71, p. 382–405, 2016.

SAADAT, M.; ESFAHANIAN, M.; SAKET, M. H. Energy-efficient operation of diesel-electric locomotives using ahead path data. **Control Engineering Practice**, v. 46, p. 85–93, 2016.

SAMPAIO, P. R.; DAYCHOUM, M. T. D. Two decades of rail regulatory reform in Brazil (1996–2016). **Utilities Policy**, v. 49, p. 265–273, 2017.

SCHULTEN, C.; PARNELL, J. Development Around Freight Rail Corridors: Noise Assessment and Mitigation. **Acoustics Australia**, v. 43, n. 3, p. 265–273, 2015.

SCHULTEN, C.; WEBER, C.; CROFT, B.; HANSON, D. Considerations in Modelling Freight Rail Noise. **Acoustics Australia**, v. 43, n. 3, p. 251–263, 2015.

SIENA, O. Método para avaliar desenvolvimento sustentável: técnicas para escolha e ponderação de aspectos e dimensões. **Production**, v. 18, n. 2, p. 359–374, 2008.

SILVA, P.B., RIBEIRO, R.L. VIEIRA, F.A., BRASIL, A.C.M.; RIBEIRO, R. P. Potencial de redução de emissão de CO₂ pelo uso de transporte ferroviário: um estudo de caso no Brasil. **Revista Interdisciplinar de Pesquisa em Engenharia (RIPE)**, v. , p. 1–17, 2020.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Operations management**. 6ª edição. Editora Pearson, Lombardia, 2010.

SMITH, M. G.; CROY, I.; HAMMAR, O.; PERSSON WAYE, K. Vibration from freight trains fragments sleep: A polysomnographic study. **Scientific Reports**, v. 6, n. April, p. 1–10, 2016.

SMITH, M. G.; CROY, I.; ÖGREN, M.; PERSSON WAYE, K. On the Influence of Freight Trains on Humans: A Laboratory Investigation of the Impact of Nocturnal Low Frequency Vibration and Noise on Sleep and Heart Rate. **PLoS ONE**, v. 8, n. 2, 2013.

SPYCHALSKI, J. C.; SWAN, P. F. US rail freight performance under downsized regulation. **Utilities Policy**, v. 12, n. 3, p. 165–179, 2004.

ŠTEFANCOVÁ, V.; NEDELIAKOVÁ, E.; LÓPEZ-ESCOLANO, C. Connection of Dynamic Quality Modeling and Total Service Management in Railway Transport Operation. **Procedia Engineering**, v. 192, p. 834–839, 2017.

SUN, C.; GAO, L. Medium-to-low-speed freight rail transport induced environmental vibration and analysis of the vibration isolation effect of building slope protection piles. **Journal of Vibroengineering**, v. 19, n. 6, p. 4531–4549, 2017.

UPADHYAY, A.; BOLIA, N. Combined empty and loaded train scheduling for dedicated freight railway corridors. **Computers and Industrial Engineering**, v. 76, n. 1, p. 23–31, 2014.

VENCOVSKY, V. P. **Ferrovía e logística do agronegócio globalizado: avaliação das políticas públicas e privadas do sistema ferroviário brasileiro**. Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

WACHI, T.; KAWAGUCHI, H.; KENNEDY, T.; YAGI, S.; HAGIWARA, T. Development of railway regulatory scheme in central java region of Indonesia. **Transportation Research Record**, n. 2239, p.

93–100, 2011.

WIJEWEERA, A.; TO, H.; CHARLES, M. An empirical analysis of Australian freight rail demand. **Economic Analysis and Policy**, v. 44, n. 1, p. 21–29, 2014.

YIN, R. H. **Case study research: design and methods**. 5ª edição. Editora Sage, Thousand Oaks, 2015.

ZAHRANI, H. K.; NADIMI-SHAHRAKI, M. H.; SAYARSHAD, H. R. An intelligent social-based method for rail-car fleet sizing problem. **Journal of Rail Transport Planning and Management**, v. 17, n. November 2020, p. 100231, 2021.

ZENITH, F.; ISAAC, R.; HOFFRICHTER, A.; THOMASSEN, M. S.; MØLLER-HOLST, S. Techno-economic analysis of freight railway electrification by overhead line, hydrogen and batteries: Case studies in Norway and USA. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit**, v. 234, n. 7, p. 791–802, 2020.

ZUO, C.; BIRKIN, M.; CLARKE, G.; MCEVOY, F.; BLOODWORTH, A. Reducing carbon emissions related to the transportation of aggregates: Is road or rail the solution? **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 117, p. 26–38, 2018.

APÊNDICE 1

Roteiro para realização de pesquisa semiestruturada com especialistas e gestores da Empresa ABC.

NOME PESQUISADOR
Fellipe Vitucci de Lucca Ribeiro
DATA
NOME ENTREVISTADO
SETOR
ESPECIALISTA OU GESTOR?
ROTEIRO PARA PESQUISA SEMI-ESTRUTURADA
-> Quais são os indicadores de desempenho da Empresa ABC?
-> Quais são os indicadores de desempenho operacional, financeiro e ambiental da Empresa ABC?
-> Quais os principais problemas da Empresa ABC no início de suas operações ferroviárias?
-> O que foi feito para melhorar e/ou resolver os problemas da Empresa ABC?
-> O que a evolução de cada indicador no período estudado significa para a Empresa ABC?
-> Tempo para temas livres relacionando as operações da empresa ABC com o desempenho operacional, financeiro e ambiental.
OBSERVAÇÕES

APÊNDICE 2

Siglas e descrições dos indicadores utilizados nas tabelas de revisão da literatura e no desenvolvimento do trabalho.

SIGLA	DESCRIÇÃO	UNIDADE
TKU	Mercadoria transportada e remunerada (t) versus distância percorrida (km)	t.km
TKB	Movimentação ferroviária bruta (t) versus distância percorrida (km) Movimentação remunerada + não remunerada + massa dos ativos ferroviários	t.km
C	Tempo de ciclo médio total Somatória dos tempos de: carga, descarga e trânsito de ida e volta.	dias
tcFA	Tempo médio de fila e anomalias	dias
vc	Velocidade média de condução	km/h
iA	Índice de acidentes Quantidade de acidentes por movimentação ferroviária total	acidentes/(t.km)
NV	Frota de vagões	vagões
HC	Quadro funcional: quantidade de maquinistas	pessoas
%qG	% de acidentes graves	%
IO-1	Índice operacional 1 Movimentações remuneradas (TKU) em relação total de movimentações (TKB)	-
IO-2	Índice operacional 2 Movimentações remuneradas (TKU) em relação a frota (vagões) versus quadro funcional (maquinistas) versus tempo de ciclo (C)	(t.km)/(vgs.pessoas.dias) . 10 ⁻¹
ROL	Receita operacional líquida	R\$
CV	Custo variável	R\$
MC	Margem de contribuição (lucro operacional bruto)	R\$
CD	Custos com óleo diesel	R\$
%CDV	Percentual do custo de diesel sobre o custo variável total	%
AF	Ativos fixos	R\$
IF-1	Índice financeiro 1 Custo variável (CV) em relação as movimentações remuneradas (TKU)	R\$/(t.km) . 10 ²
IF-2	Índice financeiro 2 Margem de contribuição (MC) versus receita operacional Líquida (ROL) em relação ao custo variável (CV) versus ativos fixos (AF)	-
cD	Consumo de combustível (óleo diesel)	L (litros)
mCO ₂ -eq	Emissões de dióxido de carbono equivalente	t (tonelada)
EE	Eficiência energética em relação ao total de movimentações (TKB)	TEP/(t.km) . 10 ⁻⁶
IA	Índice ambiental Emissões de CO ₂ -eq (mCO ₂ -eq) em relação ao total de movimentações (TKB)	(t.CO ₂ -eq)/(t.km) . 10 ⁻⁶