

IMPACTOS DE PROJETOS DE MELHORIA CONTÍNUA NA EFICIÊNCIA DO TRANSPORTE FERROVIÁRIO DE CARGAS

IMPACTS OF CONTINUOUS IMPROVEMENT PROJECTS AT EFFICIENCY IN RAIL FREIGHT TRANSPORT

João Gabriel Viana Pessoa Nunes*  E-mail: joao.pessoa@vli-logistica.com.br

Ricardo Silveira Martins*  E-mail: ricardomartins.ufmg@gmail.com

Ricardo Augusto Oliveira Santos*  E-mail: ricaugs@gmail.com

*Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, MG, Brasil.

Resumo: A competição estimula a busca de melhorias na estrutura produtiva das empresas. Neste cenário, a eficiência é uma medida de desempenho que tem efeito na condição competitiva. O setor de transporte ferroviário de cargas no Brasil possui essa característica competitiva em nível operacional após o marco legal de 2021, e nesse sentido torna relevante compreender como projetos operacionais de melhoria podem impactar a eficiência do transporte ferroviário de cargas. Neste contexto, aplicou-se a metodologia Data Envelopment Analysis - DEA para evidenciar o impacto de projetos operacionais de melhoria contínua na eficiência do transporte ferroviário de cargas. O estudo tomou como referência à análise operacional em uma grande empresa do setor de transporte ferroviária Brasileira entre o ano de 2021 e 2022. Os resultados apontaram que alguns grupos de projetos operacionais de melhoria contínua têm efeito positivo na eficiência do transporte ferroviário de cargas no curto e médio prazo. Projetos operacionais agrupados e caracterizados como aumento da quantidade de vagões por trem (aumento da capacidade instalada de transporte por viagem), o aumento do peso médio de carga (aumento da quantidade transportada por vagão), melhorias operacionais de setup em manobra e carrega/descarga, redução da ociosidade para carregamento, aumento da velocidade média entre trechos (a partir do aumento de velocidade em trechos permitidos), redução do tempo de transporte, redução da ociosidade para carregamento, a redução do tempo de troca de maquinista entre jornadas.

Palavras-chave: Transporte ferroviário. Eficiência. DEA - Análise Envoltória de Dados. Melhoria Contínua.

Abstract: Competition stimulates the search for improvements in the productive structure of companies. In this scenario, efficiency is a performance measure that has an effect on competitive conditions. The rail freight transport sector in Brazil has this competitive characteristic at an operational level after the 2021 legal framework, and in this sense, it is relevant to understand how operational improvement projects can impact the efficiency of rail freight transport. In this context, the Data Envelopment Analysis - DEA methodology was applied to verify the effect of operational projects for continuous improvement on the efficiency of rail freight transport. The study took as a reference the operational analysis in a large company in the Brazilian railway transport sector between 2021 and 2022. The results showed that some groups of continuous improvement operational projects have a positive effect on the efficiency of railway freight transport in the short term. and medium term. Operational projects grouped and characterized as an increase in the number of wagons per train (increase in the installed transport capacity per trip), an increase in the average load weight (increase in the quantity transported per wagon), operational improvements in maneuvering and loading/unloading setup, reduction in idleness for loading, increase in average speed between

sections (from the increase in speed in permitted sections), reduction in transport time, reduction in idleness for loading, reduction in driver change time between journeys.

Keywords: Rail transport. Efficiency. DEA - Data Envelopment Analysis. Continuous improvement.

1 INTRODUÇÃO

A eficiência está relacionada à transformação de recursos em produtos. Refere-se à relação entre a quantidade de produtos obtida e a quantidade de insumos utilizada, sendo, portanto, uma medida de desempenho de processos que orienta as decisões empresariais nos âmbitos estratégicos, tático e operacional. Desta forma, eficiência implica buscar o aprimoramento dos processos de forma a proporcionar melhorias de desempenho que favoreçam as entregas de maior valor ao cliente, seja em custos, seja em produto diferenciado, sendo que as contribuições das operações podem estar nas suas principais atividades que ancoram os processos específicos, tais como as atividades de transporte, de gestão de pedidos, de estratégias e gestão de estoque e de definições acerca da localização e da capacidade operacional das instalações.

A gestão da eficiência pode ser obtida por meio da instalação de escritórios de projetos de melhoria nos processos produtivos e administrativos. A melhoria contínua se apresenta como sistemática por utilizar uma abordagem científica em que o processo de resolução de problema é estruturado em etapas como a identificação das causas, escolha, planejamento e padronização da solução (Attadia; Martins, 2003).

A realização de estudos abordando as relações entre melhoria contínua e eficiência pode contribuir para a avaliação dos resultados dos projetos de melhoria de empresas ferroviárias. No Brasil, estas empresas têm a peculiaridade de um longo histórico de gestão estatal e na atualidade são players de um mercado em que a competição se dá entre empresas de transporte de forma abrangente, envolvendo também outras modalidades. De outra forma, contribuem decisivamente para a competitividade global do Brasil dos produtores nacionais de *commodities* (agrícolas e minerais). Desta forma, consolidou-se a seguinte pergunta da pesquisa: **Como projetos operacionais de melhoria podem impactar a eficiência no transporte ferroviário de cargas?**

O objetivo geral dessa pesquisa consistiu em verificar se projetos operacionais de melhoria contribuem para a eficiência, tomando como campo

empírico o transporte ferroviário de cargas. Especificamente, o estudo investigará as variáveis relacionados à eficiência operacional no transporte ferroviário de cargas, contextualizará a aplicação de projetos operacionais de melhoria no âmbito da modalidade ferroviária de transporte e especificará os projetos operacionais de maior relevância na melhoria da eficiência do transporte ferroviário de cargas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nessa seção, são resgatadas questões teóricas pertinentes ao objeto de pesquisa que visa mensurar o desempenho de projetos operacionais de melhoria contínua no transporte ferroviário de cargas e está composta em dois tópicos principais: eficiência no transporte ferroviário de cargas e Análise Envoltória de Dados.

O sistema ferroviário tem sua relevância para as operações empresariais que pode ser constatada pelo volume de carga transportada pela modalidade no Brasil. Em tese, dentro da economia dos transportes, é a modalidade apropriada para a movimentação de cargas granelizadas, de baixo valor e a grandes distâncias, como é o caso do transporte de minérios, cimento, graneis agrícolas e fertilizantes, no Brasil.

Dado esse contexto e as alterações regulatórias que estimulam a competição entre os operadores ferroviários, configura-se um quadro de importância para as empresas prestadoras desse serviço. Empresas do setor de transporte ferroviário brasileiro tiveram sua competitividade intensificada a partir do novo marco legal impetrado pela Lei Ordinária nº 14.273/2021. O novo marco legal, buscou flexibilizar o regime de autorizações operacionais, facilitar e incentivar novos investimentos privados em construção de ferrovias, a partir de projetos de manifestação de interesse (PMI), concessões e aproveitamento de trechos ociosos e descentralização do serviço de transporte de cargas. Esses fatos recentes, a partir de 2021, devem afetar o desempenho operacional de empresas do sistema ferroviário brasileiro.

Nesse sentido é que o transporte ferroviário tem sua importância, permitindo empresas a reduzirem custos de transportes, e conseqüentemente, permitem serem competitivas em mercados emergentes e globais. A competitividade tem como condicionante a performance ou o desempenho de processos. O desempenho está

atribuído a forma ou a eficiência de se executar processos com menor dispêndio de recursos, tempo e esforço e alcançar máximo desempenho em transformar recursos em produtos.

2.1 Eficiência no transporte ferroviário de cargas

Empresas para serem eficientes operacionalmente, buscam estratégias em projetos operacionais de melhoria contínua para processos produtivos e administrativos. Na tentativa de tornarem-se competitivas e serem eficientes, empresas tem desenvolvido processos e projetos operacionais de melhoria contínua para melhoria de performance operacional (Monsanto; Donadone, 2010). Gilsa (2012) corrobora afirmando que projetos operacionais de melhoria contribuem para ganhos a eficiência operacionais. Souza (2014) verificou que projetos operacionais de melhoria contínua impactam positivamente no resultado financeiros de empresas do transporte ferroviário. Assim, o estudo focou sua revisão bibliográfica, selecionado contribuições que analisaram a eficiência no transporte ferroviário de cargas brasileiro a partir da metodologia da análise envoltória de dados (Data Envelopment Analysis – DEA)

Rosa e Vieira (2019) estudaram a eficiência das ferrovias com um olhar abrangente, ou seja, desconsiderando abordar as empresas ferroviárias de forma individualizada. E por meio da análise envoltória de dados (*Data Envelopment Analysis – DEA*), chegaram à conclusão de que o Brasil e a França são os países que apresentam a melhor eficiência no referido transporte de cargas, considerando os recursos utilizados. Cabe salientar que Rosa e Viera (2019) utilizaram como recursos (*inputs*) a extensão de malha ferroviária, o número de locomotivas e o número de trabalhadores; e como produto (*outputs*), a tonelage de carga transportada, a receita gerada pelo setor e a cobertura da malha ferroviária. Variáveis aplicadas aos países: Brasil, França, Alemanha, Espanha, Suécia e Estados Unidos.

Silva, Macambira e Rocha (2019) analisaram a eficiência produtiva do sistema ferroviário brasileiro, composto por 12 concessionárias. Por meio de análise DEA utilizando 5 variáveis como *input* (número de trens formados, consumo de combustível, utilização de locomotiva, utilização de vagão e número de empregados) e tendo como *output* apenas uma variável (tonelada quilômetro útil), os autores

chegaram à conclusão de que as ferrovias: Estrada de Ferro Carajás – EFVM, Malha Regional Sudeste S/A ou MRS Logística S/A (MRS), Estrada de Ferro Vitória-Minas S/A (EFVM), Rumo Malha Norte S/A (RMN), e a Estrada de Ferro Paraná Oeste S/A (EFPO) apresentam inquestionável eficiência no transporte ferroviário de cargas, considerando as variáveis utilizadas.

Pereira, Rosa e Lunkes (2015), também analisaram a eficiência das concessões ferroviárias no Brasil por meio de análise DEA. Foram consideradas como variáveis de *input* a área de concessão, o número de empregados, os gastos com pessoal, os gastos com depreciação, outros gastos e total de gastos. Como *output*, foi utilizada a receita líquida

Em seu estudo, Fontan, Rosa e Lacruz (2022) realizaram uma análise comparativa da eficiência das ferrovias transportadoras de minério de ferro e pelotas. Por meio do modelo DEA, os autores valeram-se de variáveis dos *inputs* quantidade de vagões em operação, quantidade de vagões do trem tipo de maior predominância e carga por eixo, tomando como variável de *output* tonelada quilômetro útil.

O Quadro 1, a seguir, apresenta estudos da eficiência no transporte ferroviário de cargas são realizados, caracterizando os modelos, suas variáveis e propósitos.

2.2 Análise Envoltória de Dados – DEA

A Análise Envoltória de Dados ou *Data Envelopment Analysis* - DEA é um dos métodos não-paramétricas para mensuração de desempenho comparado ou benchmarks. Foi desenvolvido por Charnes, Cooper e Rhodes (1978) a partir de medidas parciais de eficiência, da relação proporcional de transformação de insumos em produtos, ou múltiplos insumos em múltiplos produtos.

Nos pressupostos para a aplicação da metodologia DEA, é relevante a pressuposição de economias de escala, presente na relação de transformação de insumos em produtos. DEA permite que o pesquisador considere que a relação de transformação de insumos em produtos seja a mesma, figurando retornos constantes de escala ou *Constant Return to Scale* - CRS. Por outro lado, para a relação de transformação diferente, ou seja, crescimento de insumos menor que

crescimento de produtos, figura-se retornos variáveis de escala ou *Variable Return to Scale* - VRS.

Ainda nos pressupostos, é relevante entender que o modelo pode ser orientado a insumo ou a produto. A orientação à insumo tem como objetivo manter os produtos constantes e analisar a variação dos insumos. Já na orientação a produtos, os recursos ficam constantes e tem-se a análise a partir da variação do produto (Bogetoft *et al.*, 2012).

Existem dois modelos matemáticos para abordagem do DEA orientado ao *input*, o modelo de *multiplicação* e o modelo de *envelope*. Pelo conceito de dualidade em pesquisa operacional, tem-se que o resultado alcançado pelo modelo multiplicador é o mesmo que aquele obtido pelo modelo de envelope. Sendo assim, a escolha do modelo deve ser orientada pelos seus propósitos (Mello *et al.*, 2005). Nesta pesquisa foi escolhido o modelo *envelope*, visto que o objetivo é compreender o impacto dos projetos operacionais na eficiência do transporte ferroviário, dado que a utilização da modelagem de envelope, com seus conceitos de folga e *benchmark*, é a melhor que se enquadra para análise dos resultados desta pesquisa.

Quadro 1 - Estudos de eficiência no transporte ferroviário usando DEA

(Continua)

Estudo	Método	Variáveis	Propósito
Rosa, Vieira (2019)	DEA CRS OUTPUT	(I) Extensão de malha; Nº de trabalhadores; Nº de Locomotivas (O) Tonelagem movimentada; Receita; Cobertura de malha	Estudo de eficiência dos países no transporte ferroviário de cargas
Silva, Macambira, Rocha (2019)	DEA CRS OUTPUT DEA VRS OUTPUT	(I) Número de trens formados; Consumo de combustível; utilização de locomotivas; utilização de vagões; número de empregados. (O) tonelada quilômetro útil	Estudo de eficiência do transporte ferroviário de cargas entre as 12 concessionárias atuantes no Brasil
Fontan, Rosa, Lacruz (2022)	DEA CRS OUTPUT	(I) Quantidade de vagões; Quantidade e vagões do trem tipo predominante; carga por eixo; (O) tonelada quilômetro útil	Estudo de eficiência do transporte ferroviário de minério de ferro e pelotas entre ferrovias do mundo que são patrimônio de empresas de mineração e pelletização
Pereira, Rosa, Lunkes (2015)	DEA CRS OUTPUT DEA CRS INPUT	(I) Área de concessão; Nº de empregados; Gastos com pessoal; Gastos com depreciação, Outros gastos; Total de gastos (O) Receita Líquida	Estudo de eficiência do transporte ferroviário de cargas entre as concessionárias atuantes no Brasil
Yu, Lin (2007)	MNDEA	(I) Número de trabalhadores; extensão de linha; número de vagões de passageiros; número de vagões de carga (O) Passageiro quilômetro útil, tonelada quilômetro útil	Estudo de eficiência no transporte ferroviário, considerando passageiro e cargas entre ferrovias atuantes na Europa
Kutlar, Kabasakal, Sarikaya (2012)	DEA CRS INPUT DEA VRS INPUT	(I) custo operacional anual, número de trabalhadores médio, extensão de linha, número de locomotivas, número de vagões de passageiro e número de vagões de carga (O) receita anual, número de passageiros transportados, número de passageiros por quilômetro, tonelada transportada e tonelada por quilômetro transportada	Estudo de eficiência no transporte ferroviário, considerando passageiro e cargas entre ferrovias atuantes no mundo

Quadro 1 - Estudos de eficiência no transporte ferroviário usando DEA

(conclusão)

Estudo	Modelo	Variáveis	Propósito
Marchetti, Wanke (2016)	DEA CRS <i>OUTPUT</i> DEA VRS <i>OUTPUT</i>	(I) Número de vagões; número de trabalhadores (O) tonelada quilômetro útil	Estudo de eficiência do transporte ferroviário de cargas entre as concessionárias atuantes no Brasil
Blagojevic et al (2020)	DEA CRS DEA VRS	(I) número de trabalhadores por quilômetro de linha férrea; custos com infraestrutura; número de trens; número de acidentes graves por quilômetro de transporte; (O) toneladas transportadas	Estudo de eficiência do transporte ferroviário de cargas em 8 ferrovias da região centro oriental da Europa
Correa (2012)	DEA CRS DEA VRS	(I) custo de combustível por quilômetro, custo de lubrificantes por quilômetro, custo de filtros por quilômetro, custo de graxa por quilômetro, custo de manutenção por quilômetro e custo com salários por quilômetro (O) capacidade de transporte	Estudo de eficiência do transporte de cargas na Colômbia fazendo um comparativo do modal ferroviário com o modal rodoviário
Kapetanovic et al (2017)	DEA CRS <i>INPUT</i>	(I) extensão de malha, número de trabalhadores, número de vagões de carga e número de locomotivas (O) toneladas transportadas e toneladas quilômetro útil	Estudo de eficiência do transporte ferroviário de cargas na Europa
Kuang (2018)	DEA VRS	(I) extensão de malha, número de trabalhadores, número de locomotivas e média de carregamento dia (O) toneladas transportadas	Estudo de eficiência do transporte ferroviário de cargas da China
Li, Hilmola (2019)	DEA CRS <i>INPUT</i>	(I) Número de locomotivas; Número de vagões, Número de trabalhadores; extensão de malha (O) Toneladas transportadas; tonelada quilômetro útil	Estudo de eficiência do transporte ferroviário de cargas da China e países que fazem parte do programa chinês <i>Belt and Road Initiative</i>

Fonte: Elaborado pelos autores.

3 METODOLOGIA

O estudo tem como objetivo verificar como os projetos operacionais de melhoria contribuem para a eficiência do transporte ferroviário de cargas brasileiro. Trata-se de um estudo quali-quantitativo, pois, estudo um universo amostral restrito a uma unidade, um caso, pela análise quantitativa de suas informações. Para Schiffman e Kanuk (2009), a pesquisa quantitativa é descritiva e exploratória por natureza. Adentrando tal especificidade, seu viés descritivo considera as características de uma população ou fenômeno determinado, possibilitando, inclusive, verificar as correlações entre as variáveis mapeadas, definindo a natureza e os objetivos do estudo. Focando a sua finalidade, Vergara (2003) entende que a pesquisa descritiva não tem o compromisso de explicar os fenômenos que descreve, mas apenas de expor as características desses fenômenos, estabelecendo correlações entre variáveis e definindo sua natureza.

O meio empregado nesta pesquisa para se alcançar os resultados, foi o estudo de caso – “investigação empírica realizada no local onde ocorre ou ocorreu determinado fenômeno, ou que dispõe de elementos para explicá-lo” (Vergara, 2009, p. 43). Concernente com o objeto em tela, o presente estudo de caso atende aos três critérios propostos por Yin (2010) para a escolha do método de pesquisa: (i) responder as questões “como” e “por que”; (ii) considerar a dificuldade de controle do pesquisador sobre o evento em tela; e (iii) focar um fenômeno contemporâneo no contexto da vida real, que neste caso, refere-se ao enfrentamento da necessidade vivenciada no país, de uma urgente melhoria do transporte de cargas.

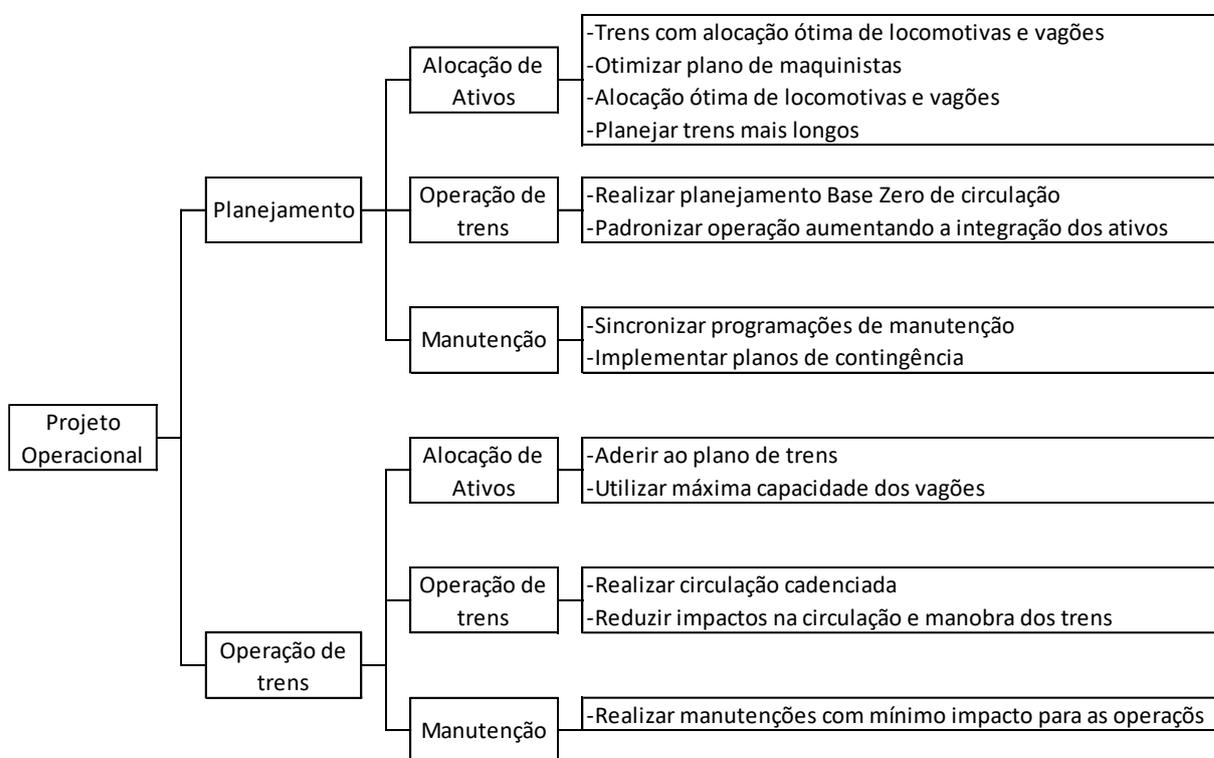
Os assuntos se distribuem em 3 seções. A primeira refere-se aos projetos de melhoria contínua e sua forma de avaliação. A segunda, a modelagem proposta para utilização da metodologia DEA. E por fim, a terceira sessão que discorre sobre os dados utilizados.

3.1 Projetos de melhoria contínua estudados

Os projetos operacionais considerados possuem como escopo as atividades de alocação de ativos, de operação de trens e de manutenção, tanto numa perspectiva de planejamento quanto numa perspectiva de execução dessas atividades. A Figura 2 representa essa árvore de delineamento dos projetos operacionais.

Na divisão *Planejamento* encontram-se os projetos relacionados a dimensionamento e a programação. Por exemplo, os projetos que otimizam a alocação ativos (locomotivas e vagões) buscando tamanho ideal dos trens para otimizar *performance* nos portos e terminais. Na caixa *Operação de Trens* estão os projetos de padronização de manobras e de condução de trens, que almejam aumentar a produtividade global dos ativos. Por fim, tem-se os projetos de *Manutenção*, a saber, os relacionados a programação das paradas de manutenção sincronizadas de modo a minimizar impactos operacionais.

Figura 2 - Árvore de decisão para projetos operacionais



Fonte: Elaborado pelos autores.

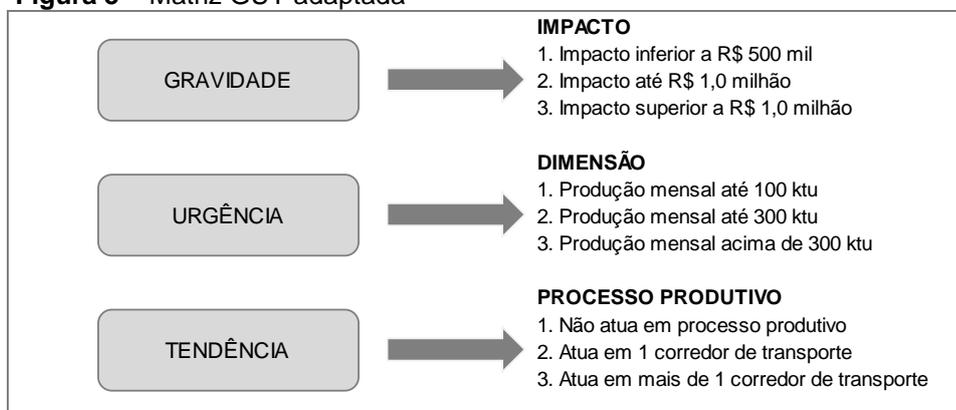
No subgrupo *Execução*, encontram-se os projetos relacionados à utilização e cumprimento das premissas pré-estabelecidas pelo planejamento. Portanto, a caixa *Alocação de Ativos* dentro do grupo execução hospeda os projetos que buscam aderência ao plano de trens, buscando maior utilização da capacidade de tração. Da mesma forma, o item *Operação de Trens* abarca os projetos relacionados à melhoria nas operações, como por exemplo, o tempo em trânsito e as manobras em pátios, almejando redução de desperdício de tempo. Por fim, a *Manutenção* refere-se aos

projetos relacionados a execução de manutenção de modo a minimizar impactos operacionais e potencializar a confiabilidade.

Em razão da quantidade de projetos operacionais encontrados na coleta de dado foi utilizado o método baseado no conceito da *Matriz de Priorização GUT (Gravidade, Urgência e Tendência)*, para classificá-los de acordo com o impacto previsto, tamanho do sistema produtivo e relevância interna dos projetos operacionais. Método de classificação de projetos denominado de *GUT Adaptada*. Esta etapa da pesquisa se fez relevante, por relativizar os projetos operacionais, desconsiderando-os homogêneos.

No processo de adaptação da matriz GUT, foram considerados os seguintes aspectos: o pilar *Gravidade* como o impacto previsto do projeto; o pilar *Urgência* como a dimensão do processo de produção pretendido, e no quesito *tendência*, considerou-se a *Quantidade* de processos de produção, onde o projeto está inserido. De forma resumida, a Figura 3 expõe as modificações realizadas na matriz GUT, para criação da GUT adaptada.

Figura 3 – Matriz GUT adaptada



Fonte: Elaborado pelos autores.

O *impacto* previsto dos projetos é uma informação presente no sistema de gestão de projetos da empresa, com base na validação dos quatro tipos de governança, o CFO (*Chief of Financial Officer*). Sugerindo, assim, credibilidade no uso dessas informações como premissas do projeto de pesquisa. A *dimensão* é o tamanho processo operacional afetada pela melhoria dos projetos sendo calculada com base no volume médio mensal transportado na região de abrangência dos projetos. E *processos produtivos* é a quantidade de corredores dentro do escopo do projeto.

Alinhadas à definição da eficiência técnica, foram consideradas algumas variáveis na análise descritiva do resultado, visando a identificação de características de projetos que tornam o transporte ferroviário de cargas mais eficiente. Para tal, os projetos foram elencados em quatro grupos:

- a) *Projetos de planejamento*: atuam indiretamente nas operações. Por exemplo: mudança no modelo de programação de trens.
- b) *Projetos de trem parado*: atuam de modo a reduzir a incidência e/ou o tempo em que os trens ficam parados. Por exemplo: otimização e troca de maquinistas.
- c) *Projetos de aumento de carga*: atuam de modo a aumentar a quantidade de carga transportada por trem. Por exemplo: mudança de modelo de trem.
- d) *Projetos de circulação*: buscam beneficiar a circulação dos trens. Por exemplo: aumento da velocidade de circulação.

Para a análise descritiva utilizou-se como parâmetros a quantidade de projetos existentes por tipo de melhoria proposta, o valor da média aritmética GUT adaptada, para os tipos de projeto de melhoria e o percentual eficiente. Esse último parâmetro foi criado para ser o indicativo da relevância dos tipos de projetos de melhoria na eficiência do transporte ferroviário.

3.2 Modelo de análise

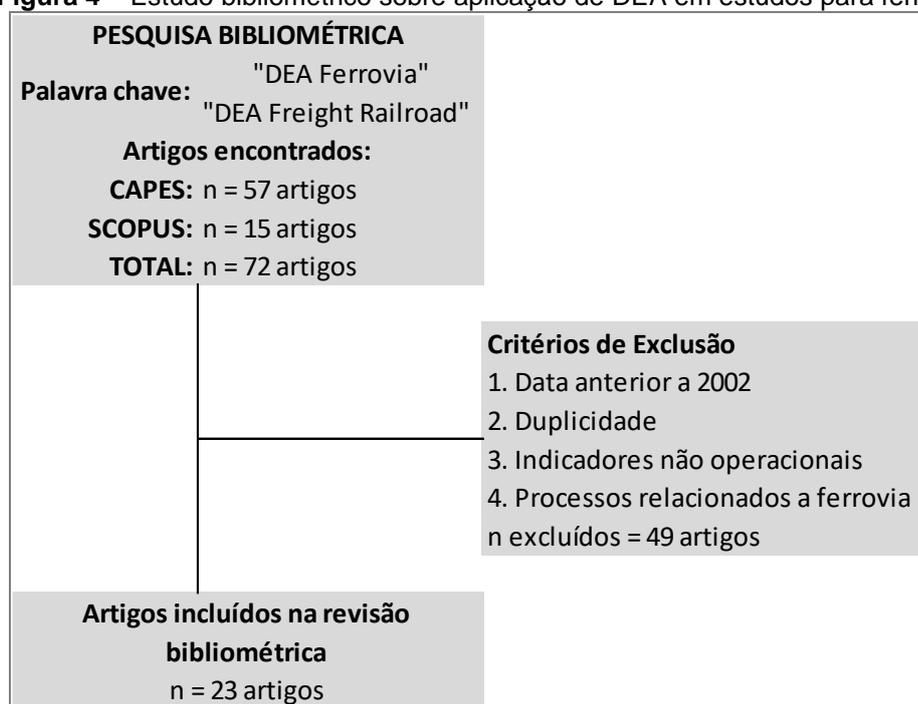
A modelagem DEA utilizada foi a VRS (*Variable Return of Scale*). Esse modelo foi selecionado visto que na prática economias de escala são verificadas na provisão de serviços ferroviários, resultantes dos significativos custos fixos associados à produção desses serviços (Castro, 2002).

Foi realizado levantamento bibliométrico da aplicação da ferramenta DEA no transporte ferroviário de cargas, com o objetivo de que fossem elucidados os *inputs* e os *outputs* utilizados para que sejam medidas as eficiências de unidades. Dessa forma, a partir de pesquisa nos bancos de dados acadêmicos Portal CAPES e SCOPUS, valendo-se das palavras-chave “DEA Ferrovia” e “DEA freight railroad” foram encontrados 72 estudos, que tendo o processo DEA como suporte, analisaram a eficiência no transporte ferroviário de cargas. Pesquisas que, aplicando o critério de exclusão: data anterior a 2002, duplicidade, análise de eficiência de

processos relacionados à ferrovia (por exemplo, manutenção de via permanente, manutenção de material rodante) e indicadores não operacionais, serviram de base para a seleção dos estudos acadêmicos considerados neste estudo. Importa esclarecer, que os critérios de exclusão foram definidos com base na proposta de um escopo teórico composto de relevantes artigos sobre o tema, envolvendo, na análise de projetos operacionais, a eficiência do transporte ferroviário de cargas.

Neste contexto, dos 72 estudos encontrados no processo de pesquisa bibliométrica, 23 foram considerados relevantes para o presente estudo, por abordarem a utilização do DEA em análises envolvendo elementos administrativos próprios da avaliação dos serviços prestados no campo das ferrovias. Assim, valendo-se de indicadores operacionais como variáveis de *input* e *output*, este estudo reuniu os 23 artigos investigativos da sua utilização em demandas metodológicas concernentes com a proposta neste estudo. A Figura 4 resume o estudo bibliométrico realizado nesta pesquisa.

Figura 4 – Estudo bibliométrico sobre aplicação de DEA em estudos para ferrovias



Fonte: Elaborado pelos autores.

A Tabela 1 informa o rol das variáveis em ordem decrescente de frequência de seu uso para aplicação de DEA.

Foram definidas quatro variáveis de entrada e duas variáveis de saída. As variáveis de entrada que foram aplicadas no DEA foram: Número de trabalhadores, número de vagões líquidos, número de locomotivas líquidas e GUT adaptada. A variável extensão da malha ferroviária não foi escolhida como *input* visto ter valor fixo. Por fim, as variáveis de saída utilizadas foram: tonelada quilômetro útil e toneladas transportadas. A Tabela 2 apresenta os *inputs* e *outputs* utilizados neste estudo e sua breve descrição.

Tabela 1 - Inputs e Outputs encontrados na pesquisa bibliométrica

Input	Quantidade	Output	Quantidade
Extensão Malha Ferroviária	16	Tonelada quilômetro Útil	16
Número de trabalhadores	16	Tonelada útil transportada	10
Número de vagões	15	Receita anual	6
Número de locomotivas	13	Outros	4
Outros	10	Taxa de carga de retorno	3
Consumo de combustível	5	Distância percorrida locomotiva	2
Número de trens formados	3	Índice de cobertura da malha e/ou Número de estações	2
Investimento em infraestrutura	3		
Tonelada útil	3		
Consumo de insumos	3		
Custo com pessoal	2		
Custos totais	2		
Custo operacional e manutenção	2		
Número de cidades e/ou estações	2		

Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 2 - Inputs e Outputs definidos para a pesquisa

Variável	Classificação	Descrição da variável	Unidade
GUT Adaptada	<i>Input</i>	Adaptação da matriz GUT para classificar o impacto dos projetos operacionais	-
Número de trabalhadores	<i>Input</i>	Número de funcionários na empresa	-
Número de vagões	<i>Input</i>	Número de vagões líquidos utilizados	-
Número de locomotivas	<i>Input</i>	Número de locomotivas líquidas utilizadas	-
Tonelada quilômetro útil	<i>Output</i>	Tonelada líquida multiplicada pela distância transportada	Milhões Tku
Tonelada útil transportada	<i>Output</i>	Tonelada líquida transportada	Milhares Tu

Fonte: Elaborado pelos autores.

Sabendo que uma das desvantagens do modelo DEA é ter resultados com viés através da manipulação dos dados de entrada e saída, optou-se por realizar 3 cenários dentro do modelo DEA orientado a *input*. Justifica-se para melhor

compreender o efeito da escolha da orientação, que procedimentalmente, ao considerar a orientação para *input*, o *output* fica constantes. De maneira análoga, ao realizar a orientação à *outputs*, os *inputs* ficam constantes. O cenário 1 utilizou como variável de entrada os indicadores GUT adaptada, número de vagões, número de funcionários e número de locomotivas, enquanto para variável de saída os indicadores tonelada útil transportada e tonelada quilômetro útil. Para o cenário 2, mantêm-se os indicadores nas variáveis de entrada, e para a variável de saída considera-se apenas a tonelada útil transportada. Por fim, no cenário 3 mantêm-se os indicadores nas variáveis de entrada, e para a variável de saída considera-se apenas a tonelada quilômetro útil. A Figura 5 resume os cenários utilizados.

Figura 5 – Cenários modelados no DEA-VRS

	INPUTS				OUTPUTS	
	GUT adaptada	Nº vagões	Nº Funcionários	Nº Locomotivas	Ktu	MTKU
Cenário 1	x	x	x	x	x	x
Cenário 2	x	x	x	x	x	
Cenário 3	x	x	x	x		x
	x	Variáveis a serem utilizadas em cada cenário				

Fonte: Elaborado pelos autores.

3.3 Coleta e seleção de dados

O estudo de caso foi realizado com uma empresa concessionária do transporte ferroviário responsável por 9% de toda produção ferroviária nacional no ano de 2022 e por 28% do volume de carga geral transportado por ferrovias também no ano de 2022, o que representa 43 milhões de toneladas úteis e 33 bilhões de toneladas quilômetro útil (ANTT, 2023). Ao compararmos esses dados com o mercado, a concessão em estudo é a 4ª maior do setor de transporte ferroviário de cargas do Brasil, dentre as 7 empresas atuantes no mercado.

Optou-se, neste estudo, por iniciar tal procedimento pelos dados secundários presentes no sistema interno da empresa pesquisadas, a saber: (i) sistema *Wave* (informações dos projetos operacionais), (ii) *PPCSystem* (informações de produção e ativos); e (iii) sistema *E-dados* (informações sobre efetivo). Os dados estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Dados utilizados para *Inputs* e *Outputs* no modelo DEA/RS

DMU's	GUT adaptada	Vagões	Funcionários	Locomotivas	ktu	MTKU
Jun/20	0	19936	8243	459	5.684	4059
Jul/20	0	19868	8197	459	5.790	4069
Ago/20	0	19952	8159	463	5.930	4213
Set/20	0	19989	8155	455	5.494	3863
Out/20	0	19943	8122	453	5.254	3683
Nov/20	0	19993	8107	454	4.508	2900
Dez/20	21	20085	8022	449	3.954	2240
Jan/21	11	18895	7997	437	3.317	1824
Fev/21	2	18782	7990	448	4.475	3200
Mar/21	41	18768	8040	448	5.542	4205
Abr/21	39	18867	8030	449	5.732	4300
Mai/21	29	18953	8024	450	5.782	4315
Jun/21	12	18947	7994	451	5.568	4039
Jul/21	11	18843	8034	454	5.407	3940
Ago/21	6	18814	8011	454	5.450	3873
Set/21	8	18828	7968	444	4.887	3249
Out/21	6	18997	7902	440	4.448	2858
Nov/21	28	18902	7738	435	4.067	2641
Dez/21	3	18963	7628	445	4.123	2569
Jan/22	8	18618	7631	434	2.666	1541
Fev/22	8	18826	7627	428	4.072	2945
Mar/22	11	18965	7657	434	4.992	3639
Abr/22	20	19524	7624	440	5.424	3966
Mai/22	28	19434	7613	444	5.707	4075
Jun/22	13	19450	7582	445	5.649	4044
Jul/22	15	19427	7555	452	5.827	4139
Ago/22	21	19359	7553	451	5.707	4075
Set/22	6	19356	7608	446	5.649	4044
Out/22	17	19261	7647	442	5.827	4139

Fonte: Elaborado pelos autores.

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

Na estatística descritiva dos dados utilizados como variáveis no modelo DEA/VRS apresentados na Tabela 4, percebe-se baixa variação para as variáveis de *input*: N° de Vagões, N° de Funcionários e N° de Locomotivas, variando em torno de 8% em relação à média. Por outro lado, a amplitude para as variáveis de *output* apresenta grande variação: que para KTU é de 64% em relação à média; e para MTKU, é de 78%. Percentuais indicativos de que a redução da produção não impacta, na mesma proporção, a redução de ativos líquidos utilizados, o que corrobora para a escolha do modelo VRS.

Tabela 4 - Estatística descritiva das variáveis utilizadas

	Variável	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Input	GUT Adaptada	12,55	11,69	0	41
	Nº Vagões	19.259,76	470,06	18.617	20.085
	Nº Funcionários	7.877,86	231,33	7.553	8.243
	Nº Locomotivas	447,00	8,37	428	463
Output	KTU	5.066,63	852,98	2.666,49	5.930,34
	MTKU	3.539,45	780,84	1.540,5	4.315,2

Fonte: Elaborado pelos autores.

4.1 Eficiência técnica

Os escores de eficiência resultantes da aplicação do modelo DEA/VRS orientado a *input* e *output* são apresentados na Tabela 5. Nela é possível observar que a variação da eficiência encontrada varia 32,2%, entre 67,8% para a DMU mais ineficiente a 100% para as mais eficientes. Percebe-se que as DMU's eficientes são as mesmas em ambas orientações, exceto na abordagem *output* há diferença para jun/20. Cabe salientar que não houve resultados distintos entre os cenários, consequentemente à escolha de variáveis, e à orientação da modelagem.

Verifica-se que as DMU's Jun/20, Dez/20, Jan/21, Set/21, Out/21 e Nov/21 não obtiveram máxima eficiência. As demais 23 DMU's encontram-se sobre a fronteira de eficiência, que otimizam os recursos para máxima produção. A Tabela 6 apresenta o marco temporal no período analisado, a partir da média do percentual de DMU's eficientes separadas por ano.

Tabela 5 - Eficiência das DMU's a partir do DEA/VRS *Input* e DEA/VRS *Output*

DMU's	<i>Output</i>			<i>Input</i>		
	C1	C2	C3	C1	C2	C3
Jun/20	99,8%	99,8%	99,8%	100,0%	100,0%	100,0%
Jul/20	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Ago/20	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Set/20	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Out/20	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Nov/20	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Dez/20	69,3%	69,3%	69,3%	97,8%	97,8%	97,8%
Jan/21	67,8%	67,8%	67,8%	99,0%	99,0%	99,0%
Fev/21	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Mar/21	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Abr/21	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Mai/21	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Jun/21	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Jul/21	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Ago/21	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Set/21	98,1%	98,1%	98,1%	99,9%	99,9%	99,9%
Out/21	93,4%	93,4%	93,4%	99,5%	99,5%	99,5%
Nov/21	90,3%	90,3%	90,3%	99,5%	99,5%	99,5%
Dez/21	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Jan/22	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Fev/22	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Mar/22	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Abr/22	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Mai/22	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Jun/22	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Jul/22	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Ago/22	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Set/22	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Out/22	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 6 - Percentual médio de DMU's eficientes ao longo dos anos

Ano	Eficiência Inputs	Eficiência Output
2020	99,7%	95,60%
2021	99,8%	95,80%
2022	100%	100%

Fonte: Elaborado pelos autores.

Comparando o ano de 2022 com os anos de 2020 e 2021, houve um crescimento médio da eficiência, haja vista que a média aritmética para a eficiência em 2020 foi de 95,6%, e em 2021 de 95,8%, enquanto em 2022 a média aritmética para a eficiência foi de 100%, isso na abordagem *output*. Na abordagem *input*, o comportamento se manteve, alterando apenas os valores da média em 2020 e 2021: 99,7% e 99,8% respectivamente. O ano de 2022 comportou-se como o mais eficiente do período analisado.

A Tabela 7 mostra que fev/22 é principal DMU *benchmark* para as DMU's ineficientes, pois é o mês com maior frequência como referência para as demais DMU's. Isso é, fev/22 está num período de baixa produção (MTKU abaixo de 3.200),

mas superior as demais DMU's ineficientes. Fev/22 utiliza em média 3% menos locomotivas e 1% menos vagões que as demais DMU's, mesmo apresentando baixo impacto de projetos operacionais. Para a DMU Dez/20, a mais ineficiente em ambos modelos de orientação *input* (69,3%) e a orientação *output* (97,8%), para ser eficiente e estar na fronteira, a DMU deveria ter sido utilizado 4% menos vagões (769) e 2% menos locomotivas (10).

Tabela 7 - Frequência da referência das unidades eficientes para as unidades ineficientes

DMU's eficientes	Frequência
fev/22	5
ago/21	3
set/22	3
fev/21	2
jul/20	2
mar/21	2

Fonte: Elaborado pelos autores.

A Tabela 8 revela as folgas encontradas para as 29 DMU's analisadas. Nesta, é possível verificar espaço para gestão de ativos com reduções operacionais (para serem eficientes e estarem na fronteira). Analisando as DMU's ineficientes, percebe-se um excesso no número de funcionários em todas as DMU's ineficientes. Isso aponta para uma possível redução no quadro de funcionários. Outro destaque fica para a variável MTKU, em que há também folga média em 83% das DMU's ineficientes. Esse efeito reforça a utilização de insumos para além do necessário, uma vez, se considerarmos o modelo orientado a *input* (procedimentalmente deixa o *output* constante), deveríamos transportar os mesmos MTKU com menos insumos. Outro ponto relevante é a GUT adaptada para as DMU's de nov/21 e dez/20, onde houve projetos de alto impacto (tabela 3) os quais não repercutiram efeito na modelagem. Parte disso, pode ser explicada pela característica da implantação de projetos e seu efeito de imediato no curto e médio prazo.

Tabela 8 - Resultado das folgas para as DMU's analisadas DEA/VRS *output*

DMU	Avaliação	GUT Adaptada	Nº Vagões	Nº Funcionários	Nº Locomotivas	KTU	MTKU
jun/20	Ineficiente	0,00	68,41	46,00	0,00	92,70	0,00
jul/20	Eficiente	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ago/20	Eficiente	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
set/20	Eficiente	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
out/20	Eficiente	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
nov/20	Eficiente	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
dez/20	Ineficiente	15,42	604,75	254,89	0,00	0,00	828,27
jan/21	Ineficiente	0,00	0,00	262,21	0,00	0,00	862,10
fev/21	Eficiente	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
mar/21	Eficiente	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
abr/21	Eficiente	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
mai/21	Eficiente	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
jun/21	Eficiente	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
jul/21	Eficiente	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ago/21	Eficiente	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
set/21	Ineficiente	0,00	0,00	106,16	0,00	0,00	259,79
out/21	Ineficiente	0,00	0,00	177,70	0,00	0,00	360,50
nov/21	Ineficiente	18,26	0,00	33,11	0,00	0,00	336,28
dez/21	Eficiente	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
jan/22	Eficiente	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
fev/22	Eficiente	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
mar/22	Eficiente	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
abr/22	Eficiente	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
mai/22	Eficiente	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
jun/22	Eficiente	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
jul/22	Eficiente	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ago/22	Eficiente	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
set/22	Eficiente	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
out/22	Eficiente	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fonte: Elaborado pelos autores.

4.2 Análise descritiva e características dos projetos operacionais

Nesta pesquisa de avaliação dos projetos operacionais relativos ao transporte ferroviário de cargas, a sua distribuição foi baseada nos grupos nele elencados, conforme Tabela 9.

Tabela 9 - Distribuição dos projetos operacionais (média aritmética)

Grupo de projeto	Quantidade de projetos	GUT adaptada	Impacto	Dimensão	Processo produtivo
Aumento de carga	26	3,69	1,54	1,38	1,38
Trem parado	75	2,16	1,19	1,55	1,55
Planejamento	25	2,16	1,12	1,28	1,28
Circulação	32	1,63	1,13	1,34	1,34

Fonte: Elaborado pelos autores.

Os projetos do grupo de *aumento de carga* apresentam a maior classificação GUT adaptada, tendo como principal fator a variável *impacto*, apresentando a maior escala de impactos. As demais variáveis, dimensão e processo produtivo, possuem maior escala no grupo de projetos *trem parado*. Os valores de escala são baixos (1,36), sendo possível inferir, que os projetos operacionais em sua maioria são de baixo impacto.

O grupo de projetos *trem parado* é o que apresenta a maior quantidade de projetos operacionais, seguido pelos projetos do grupo *circulação*. Como os projetos foram conduzidos pelas áreas operacionais, os problemas tratados acabam sendo específicos das regiões de tais operações. Trata-se de grupos específicos, de fácil e rápida apreensão das oportunidades de melhoria, seja por meio de uma padronização de manobra, seja por retirada de um procedimento que não agrega valor, e até mesmo pela retirada de defeitos na via férrea, causadores de restrição de velocidade. Esses são alguns exemplos de projeto inserido nesses dois grupos.

A partir da distribuição dos projetos operacionais em grupos, importante verificar o tipo de comportamento desses grupos de projeto nas DMU's eficientes. A Tabela 10 apresenta tal resultado.

Tabela 10 - Percentual de incidência dos grupos de projetos nas DMU's eficientes

Grupo de projeto	Eficiência
Aumento de carga	88,5%
Trem parado	87,5%
Circulação	86,7%
Planejamento	68,0%

Fonte: Elaborado pelos autores.

A Tabela 11, mostra a predominância dos projetos dos grupos *aumento de carga*, *trem parado* e *circulação* nas DMU's eficientes. Ao estabelecer a relação dos

dados da Tabela 11 com os dados da Tabela 10, percebe-se que o grupo de projeto *aumento de carga* possui a menor quantidade de projetos operacionais (26), apresenta a maior GUT adaptada (3,69) e a maior frequência nas DMU's eficientes, sendo este, portanto, o grupo de projeto mais relevante para a eficiência do transporte ferroviário de cargas. A partir deste ponto, as análises se concentraram na caracterização dos projetos que integram o grupo *aumento de carga*. Subdivididos nas categorias: *Alteração de trem tipo*; *Aumento de peso médio* e *Aderência ao trem tipo vigente*.

Tabela 11 - Caracterização dos projetos do grupo *Aumento de Carga*

Melhoria Proposta	Quantidade de Projetos	GUT Adaptada	Percentual Eficiente
Alteração de trem tipo	13	5,38	85%
Aumento de peso médio	6	3,00	100%
Aderência ao trem tipo	7	1,14	86%

Fonte: Elaborado pelos autores.

Pela Tabela 11, percebe-se que projetos direcionados à *alteração de trem tipo* e *aumento de peso médio* são importantes para a eficiência do transporte ferroviário visto o percentual de projetos dentro das DMU's eficientes. O percentual entre os projetos de alteração de trem tipo e aderência ao trem tipo são parecidos. No entanto, o primeiro tipo de projeto possui o dobro de frequência e uma GUT adaptada maior, sendo, portanto, mais relevante.

Os projetos relacionados à alteração de trem tipo atuam de forma a modificar o modelo de trem, para que a mesma quantidade de locomotivas possa transportar uma quantidade maior de vagões. Adicionalmente, projetos relacionados a aumento do peso médio, são aqueles atuantes para aumentar a utilização da capacidade do vagão, fazendo com que um mesmo modelo de vagão possa transportar uma quantidade de produto.

Analisando o grupo de projetos *trem parado*, foi possível caracterizar os projetos desse grupo, identificando sua relevância para a eficiência no transporte ferroviário. A Tabela 12 reflete o comportamento desses projetos operacionais subdivididos em performance de carregamento/descarga, tempo de troca de maquinista, performance de manobra, redução de tempo parado, melhoria no

atendimento de trecho, melhora em inspeções, redução de ocorrências e agilidade na documentação.

Tabela 12 - Caracterização dos projetos do grupo *Trem Parado*

Melhoria Proposta	Quantidade de Projetos	Gut Adaptada	Percentual Eficiente
Performance de carregamento/descarga	6	3,67	100%
Tempo de troca de maquinista	7	1,29	100%
Performance de manobra	15	2,27	93%
Redução de tempo parado	19	3,11	89%
Melhora em atendimento de trecho	8	1,38	88%
Melhora em inspeções	15	1,47	80%
Redução de ocorrências	2	1,00	50%
Agilidade em documentação	3	1,00	33%

Fonte: Elaborado pelos autores.

É possível destacar os tipos projetos relevantes para a eficiência, a saber: performance de carregamento/descarga (100%), tempo de troca de maquinista (100%), performance de manobra (93%) e redução de tempo parado (89%). Esses projetos reunidos caracterizam uma GUT adaptada média de 2,6.

Os projetos de performance de carregamento/descarga e tempo de troca de maquinista, apresentaram o melhor índice de percentual eficiente, ou seja, nenhum dos projetos desse tipo estiveram presentes em DMU's ineficientes. Entre os projetos, encontram-se aqueles que reduzem tempos de carregamento e descarga e tempo de troca de maquinista. Portanto, são considerados importantes para a eficiência do transporte ferroviário.

A Tabela 12 traz um segundo grupo de projetos com percentual de eficiência próximo à performance de *carregamento/descarga* e *tempo de troca de maquinista*, porém com maior frequência de projetos. Os projetos sobre *performance de manobra* e *redução de tempo parado* somam, respectivamente, 15 e 19 unidades, estando presentes, em sua maior parte, em DMU's eficientes – 93% e 89% –, respectivamente. Embora tais projetos sejam dotados de percentual de eficiência similar aos dois primeiros, e apresentem maior frequência, sugere-se, também, a sua relevância na eficiência do transporte ferroviário de cargas.

Ainda na Tabela 12, tem-se um tipo de projeto, que apesar da baixa frequência 8, encontra-se presente em grande parte de DMU's eficientes – 88%. A saber, aqueles relacionados à melhoria dos tempos de atendimento. São projetos

importantes, porém devido à baixa frequência e ao fato de não se encontrarem em 100% das DMU's eficientes, foram considerados não tão relevantes para a melhora da eficiência. Por fim, tem-se três tipos de projetos possuidores de uma GUT adaptada abaixo de 2, e não muito frequentes nas DMU's eficientes, sendo, portanto, considerados projetos irrelevantes para a eficiência no transporte de cargas, a saber: os que interferem nos processos de inspeções (80%), os que buscam reduzir ocorrências (50%), e os que agilizam os processos de documentação (33%).

O terceiro grupo de projetos relacionados à *Circulação* encontra-se caracterizado na Tabela 13. Fazem parte desse grupo, os projetos voltados à redução de restrições de velocidade, aumento de velocidade e aumento da velocidade média. Na citada tabela, os projetos que buscam aumentar a velocidade dos trens, e os projetos que buscam aumentar a velocidade média, são relevantes para a eficiência. Por outro lado, os projetos que propõem a retirada da restrição de velocidade são menos importantes para a eficiência do transporte ferroviário de cargas.

Tabela 13 - Caracterização dos projetos do Grupo Circulação

Melhoria Proposta	Quantidade de projetos	Gut Adaptada	Percentual eficiente
Aumento de velocidade	3	2,67	100%
Velocidade média	23	1,61	91%
Restrição de velocidade	6	1,17	67%

Fonte: Elaborado pelos autores.

Para facilitar a diferenciação entre os tipos de projeto presentes na Tabela 16, define-se como projetos de aumento de velocidade aqueles que propõem a melhora na velocidade máxima específica para determinado trecho. Projetos de velocidade média são aqueles que propõe a redução da quantidade de aceleração e desaceleração dos trens. E por fim, projetos de restrição de velocidades são aqueles que buscam tratar os defeitos na linha férrea, que impossibilitam que o trem circule na velocidade máxima admitida.

Por fim, o grupo dos projetos *planejamento*, composto das propostas: programação de trens/ativos, padronização de premissas, gestão de informação e padronização de trens, apresentou o pior percentual de eficiência. Portanto, trata-se

de um grupo pouco presente nas DMU's eficientes, sendo considerados projetos pouco relevantes para a eficiência.

Na Tabela 14, os números de projetos do grupo planejamento expõem o seu baixo percentual de eficiência, assim como sua baixa frequência. O tipo *Programação de Trens/Ativos* apresenta a GUT adaptada de 3,7, em ocorrência derivada da sua condição de projeto específico. Por ser um valor isolado, classifica-se tal mensuração como um *outlier*.

Tabela 14 - Caracterização dos projetos do *Grupo Planejamento*

Melhoria Proposta	Quantidade de projetos	GUT Adaptada	Percentual eficiente
Programação de trens/ativos	10	3,7	80%
Padronização de premissas	4	1	75%
Gestão de informação	6	1	67%
Padrão de trem	5	1,4	40%

Fonte: Elaborado pelos autores.

Foi possível identificar os tipos de projeto mais relevantes para a eficiência do transporte ferroviário, a saber: (i) alteração de trem tipo; (ii) aumento de peso médio; (iii) performance de manobra; (iv) redução de tempo parado; (v) performance de carregamento/descarga; (vi) tempo de troca de maquinista; (vii) velocidade média e (viii) aumento de velocidade.

Por outro lado, identificou-se, também, os projetos que apresentaram baixa relevância para a eficiência, a saber: (i) aderência ao trem tipo; (ii) melhora em atendimento de trecho; (iii) melhora em inspeções; (iv) redução de ocorrências; (v) agilidade em documentação; (vi) restrição de velocidade; (vii) programação de trens/ativos; (viii) padronização de premissas; (ix) gestão de informação; e (x) padrão de trem.

5 CONCLUSÃO E IMPLICAÇÕES

O resultado dessa pesquisa permitiu responder a seguinte pergunta de pesquisa: “*Como projetos operacionais de melhoria podem impactar a eficiência no transporte ferroviário de cargas?*” Através da utilização do DEA/VRS evidenciou-se uma evolução do escore de eficiência ao longo do período estudado. Essa evolução foi sustentada por alguns tipos de projetos específicos, sendo eles: (i) alteração de

trem tipo; (ii) aumento de peso médio; (iii) performance de manobra; (iv) redução de tempo parado; (v) performance de carregamento/descarga; (vi) tempo de troca de maquinista; (vii) velocidade média e (viii) aumento de velocidade.

A partir da análise dos resultados foi possível reforçar a importância da estratégia de utilizar projetos de melhoria contínua para aumentar a eficiência produtiva. Gestores de empresas do transporte ferroviário precisam estimular os colaboradores a resolver entraves operacionais recorrentes por meio de soluções metodologicamente estruturadas. A melhoria da eficiência com essas soluções não será imediata, porém com a rotina e disciplina, a eficiência dos processos operacionais será beneficiada. Conforme os resultados obtidos nesta pesquisa, após dois anos de rotina e disciplina na execução de projetos de melhoria, a eficiência alcançou o seu escore máximo de maneira recorrente.

Adicionalmente à importância da rotina e resiliência com a estratégia da melhoria contínua, essa pesquisa possibilitou o delineamento de tipos de projetos que são mais relevantes para o aumento da eficiência operacional do transporte ferroviário. Provou ser significativa a importância para os gestores pois favorecem a compreensão dos projetos de melhoria com maior potencial de incrementar a eficiência operacional e, desta forma, fortalece as estratégias de alocação de pessoal nos projetos e atividades.

Os projetos do tipo (i) alteração de trem tipo; (ii) aumento de peso médio; (iii) performance de manobra; (iv) redução de tempo parado; (v) performance de carregamento/descarga; (vi) tempo de troca de maquinista; (vii) velocidade média e (viii) aumento de velocidade, precisam ter visibilidade e apoio dentro das concessionárias do transporte ferroviário de modo a aumentar a sua eficiência operacional.

Portanto, essa pesquisa gera subsídios consistentes para que se desenvolva novas pesquisas relacionadas ao tema eficiência para a modalidade ferroviária. Espera-se, portanto, que esta pesquisa possa influenciar o setor de transporte ferroviário, estimulando a criação de programas que fomentem a execução de projetos operacionais. Podendo estar vinculado a processos regulatórios ou a outorgas para a construção de novos trechos ferroviários.

Importante enfatizar, que esta pesquisa foi desenvolvida em um cenário econômico de crise imposto pela pandemia de Covid-19 ou SARS-CoV-2, em meio a

períodos de *lockdown*, causadores de fortes impactos econômicos. Fator que pode ter interferido, de alguma forma, nos achados e resultados encontrados.

REFERÊNCIAS

ASSOCIATION OF BUSINESS PROCESS MANAGEMENT PROFESSIONALS (ABPMP). **Um guia para o Gerenciamento de Processos de Negócio Corpo Comum de Conhecimento**. v. 2. Chicago. 2009.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTE TERRESTRE (ANTT) **Ferrovias**: concessões ferroviárias. Disponível em: <https://www.gov.br/antt/pt-br/assuntos/ferrovias/concessoes-ferroviarias>. Acesso em: 09 maio. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTE TERRESTRE (ANTT) **Ferrovias**: sistemas. Disponível em: <https://www.gov.br/antt/pt-br/assuntos/ferrovias>. Acesso em 21 março. 2023.

ATTADIA, L. C. L.; MARTINS, R. A. Medição de Desempenho como Base para Evolução da Melhoria Contínua. **Revista Produção**, v. 13 n. 2, 2003.

BESSANT, J. *et al.* Rediscovering continuous improvement. **Technovation**, v. 14, n. 1, p. 17-29, 1994. DOI: [https://doi.org/10.1016/0166-4972\(94\)90067-1](https://doi.org/10.1016/0166-4972(94)90067-1)

BLAGOJEVIC, A.; VESKOVIC, S.; KASALICA, S. The application of the fuzzy AHP and DEA for measuring the efficiency os freight transport railway undertakings: Operational Reasearch. In **Engineering Sciences: Theory ans Applications**, v. 3, n. 2, p. 1-23, 2020. DOI: [10.31181/oresta2003001b](https://doi.org/10.31181/oresta2003001b)

CASTRO, N. Estrutura, desempenho e perspectivas do transporte ferroviário de carga. **Pesquisa e Planejamento Econômico**, v. 32, n. 2, p. 251-283, 2002. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/4506>

CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. Measuring efficiency of decision making units. **European Journal of Operational Research**, v. 2, p. 429-454, 1978. DOI: [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(78\)90138-8](https://doi.org/10.1016/0377-2217(78)90138-8)

COOPER, W. W.; SEIFORD, L. M.; TONE, K. **Introduction To Data Envelopment Analysis and Its Uses**. Springer Science, 2000. DOI: [10.1007/0-387-29122-9](https://doi.org/10.1007/0-387-29122-9)

COOPER, W.; SEIFORD, L. M.; KAORU, T. **Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software**. Kluwer Academic Publishing: Boston, 2000.

COOPER, W. **Handbook on data envelopment analysis**. Kluwer Academic Publishers: Nova York, 2004. ISBN: 978-1461429999

FONTAN, R. G. de O.; ROSA, R. A.; LACRUZ, A. J. Eficiência das ferrovias especializadas em transporte de minério de ferro e pelotas. **Revista de**

Administração Contemporânea, v. 26, n. 1, 2022. DOI:
<https://doi.org/10.1590/1982-7849rac2022200284.por>

GILSA, C. V. **Avaliação Longitudinal da Eficiência e Fator Total de Produtividade em uma Empresa Petroquímica a Partir da Análise Envoltória de Dados (DEA) e do Índice de Malmquist**. São Leopoldo, 160p. Dissertação de Mestrado – Universidade do Vale do Rio dos Sinos – Unisinos, 2012.

HILMOLA, O. European railway freight transportation and adaptation to demand decline. Efficiency and partial productivity analysis from period of 1980-2003. **International Journal of Productivity and Performance Management**, v. 56, n. 3, pp. 205-225, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1108/17410400710731428>

KUTLAR, A.; KABASAKAL, A.; SARIKAYA, M. Determination of the efficiency of the world railway companies by method of DEA and comparison of their efficiency by Tobit analysis. **Qual. Quant**, 2012. DOI: [10.1007/s11135-012-9741-0](https://doi.org/10.1007/s11135-012-9741-0)

KAPETANOVIC, M. *et al.* Evaluation of European Railway Companies Efficiency: Application of a Two-Stage Analysis. **Tehnika – Saobračaj**, 64, 2017. DOI: [10.5937/tehnika1703403K](https://doi.org/10.5937/tehnika1703403K)

KUANG, X. Evaluation of railway transportation efficiency based on super-cross efficiency. IOP Conf. **Series and Environmental Science**, v. 108, 2018. DOI: [10.1088/1755-1315/108/3/032049](https://doi.org/10.1088/1755-1315/108/3/032049)

LI, W.; HILMOLA, O. Belt and Road Initiative and Railway Sector Efficiency - Application of Networked Benchmarking Analysis. **Sustainability**, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11072070>

MARCHETTI, D.; WANKE, P. Brazil's rail freight transport: Efficiency analysis using two-stage DEA and cluster-driven public policies. **Socio-Economic Planning Sciences**, 2016. DOI: [10.1016/j.seps.2016.10.005](https://doi.org/10.1016/j.seps.2016.10.005)

MELLO, J. C. C. B. S. *et al.* Curso de Análise de Envoltória de Dados. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL – PESQUISA OPERACIONAL E O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, 37., Gramado (RS), 2005.

PEREIRA, M. A.; ROSA, F. S.; LUNKES, R. J. Análise da Eficiência Ferroviária no Brasil nos anos entre 2009 e 2013. **Transportes**, v. 13, n. 2, 2015. DOI: <https://doi.org/10.14295/transportes.v23i3.909>

POSSAS, M. S. **Concorrência e Competitividade: Notas Sobre Estratégia e Dinâmica Seletiva na Economia Capitalista**. Tese de doutorado. UNICAMP, 1993.

RIBEIRO, S. S. O novo marco legal das ferrovias e a introdução de short lines no modelo ferroviário nacional. Publicações da Escola da AGU. **Direito e Infraestrutura no Brasil: Temas relevantes em transportes terrestres e tópicos transversais**. Parte II. Ano 13. N. 4, Brasília, 2022.

ROSA, A. M.; VIEIRA, G. B. B. Transporte Ferroviário de cargas: Estudo comparativo dos modelos existentes e proposições para o caso Brasileiro. **Revista Gestão Industrial**, Ponta Grossa, v. 15, n. 2, p. 131-153, 2019 DOI: [10.3895/gi.v15n2.8823](https://doi.org/10.3895/gi.v15n2.8823)

SILVA, F. G. F.; MACAMBIRA, J. K.; ROCHA, C. H. Medindo a eficiência produtiva do transporte por ferrovias brasileiras: Uma aplicação dos modelos DEA e TOBIT. **Pesquisa e Planejamento Econômico (PPE)**, v. 49, n. 3, dez. 2019. URL: <https://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/9776>

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 4 ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.

YU, M.; LIN, E. T. J. Efficiency and effectiveness in railway performance using a multi-activity network DEA model. **The International Journal of Management Science**, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.omega.2007.06.003> [Get rights and content](#)

AUTORES

João Gabriel Viana Pessoa Nunes

Mestre em Administração pelo PPGA/CEPEAD/UFMG.

Ricardo Silveira Martins

Professor Titular da Faculdade de Ciências Econômicas da Universidade Federal de Minas Gerais na área de Operações, Logística e Desenvolvimento Regional.

Ricardo Augusto Oliveira Santos

Doutor em Administração pelo PPGA/CEPEAD/UFMG.



Artigo recebido em: 28/06/2023 e aceito para publicação em: 05/03/2024

DOI: <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v23i4.4933>