

idp

idn

MESTRADO PROFISSIONAL

EM ECONOMIA

**A EFICIÊNCIA DO TRANSPORTE FERROVIÁRIO DE CARGAS
NO BRASIL E NOS ESTADOS UNIDOS – 2013 A 2022**

RUELDEY CAIXETA DOS SANTOS

Brasília-DF, 2023

RUELDEY CAIXETA DOS SANTOS

A EFICIÊNCIA DO TRANSPORTE FERROVIÁRIO DE CARGAS NO BRASIL E NOS ESTADOS UNIDOS – 2013 A 2022

Dissertação submetida ao Instituto Brasileiro de Ensino, Desenvolvimento e Pesquisa - IDP como parte dos requisitos necessários para a aprovação no Mestrado Profissional em Economia, Políticas Públicas e Desenvolvimento.

Orientador

Professor Doutor Carlos Eduardo Gasparini

Brasília-DF 2023

RUELDEY CAIXETA DOS SANTOS

A EFICIÊNCIA DO TRANSPORTE FERROVIÁRIO DE CARGAS NO BRASIL E NOS ESTADOS UNIDOS – 2013 A 2022

Dissertação submetida ao Instituto Brasileiro de Ensino, Desenvolvimento e Pesquisa - IDP como parte dos requisitos necessários para a aprovação no Mestrado Profissional em Economia, Políticas Públicas e Desenvolvimento.

Aprovado em 08 / 09 / 2023

Banca Examinadora

Prof. Dr. Carlos Eduardo Gasparini - Orientador

Prof. Dr. Thiago Costa Monteiro Caldeira

Prof. Dr. Paulo Roberto Farias Falcão

S237 Santos, Rueldey Caixeta dos
A eficiência do transporte ferroviário de cargas no Brasil e nos Estados Unidos - 2013 a 2022. / Rueldey Caixeta dos Santos. – Brasília: IDP, 2023.

60 p.
Inclui bibliografia.

Trabalho de Conclusão de Curso (Tese/Dissertação) – Instituto Brasileiro de Ensino, Desenvolvimento e Pesquisa – IDP, Curso de Mestrado Profissional em Economia, Brasília, 2023.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Gasparini.

1. Análise de Envoltória de Dados. 2. Desempenho operacional. 3. Índice de Malmquist. 4. Setor ferroviário. I. Título.

CDD: 332

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Ministro Moreira Alves
Instituto Brasileiro de Ensino, Desenvolvimento e Pesquisa

RESUMO

O mercado de *commodities* é de grande importância para a economia do Brasil e do mundo. Esse mercado depende, em larga medida, da condição da infraestrutura de transporte. O modo ferroviário de transporte detém considerável importância na cadeia de produção e no escoamento das *commodities*, sendo um dos principais meios para a distribuição da safra e dos produtos destinados ao mercado. Este trabalho teve como objetivo analisar o desempenho operacional do transporte ferroviário de carga de dois países de grandes dimensões geográficas, Brasil e Estados Unidos, no período de 2013 a 2022. A avaliação do transporte ferroviário de cargas foi realizada por meio da Análise Envoltória de Dados (DEA) e do índice Malmquist. Os resultados mostram que as empresas americanas, de maior porte, tiveram *performance* de eficiência superior à das brasileiras, que atuam majoritariamente com rendimentos crescentes de escala, corroborando com outros estudos realizados que envolveram os dois países. Além disso, não foram observadas evidências de que ferrovias que operam com transporte de *commodities* sejam mais eficientes do que as que atuam com carga geral. A análise da evolução de produtividade das ferrovias brasileiras e americanas no período revela que as ferrovias brasileiras ficaram para trás, em especial no tocante à questão tecnológica. Esse resultado, aliado à reduzida escala das empresas nacionais, revela o grande potencial que a ampliação da malha e os investimentos em tecnologia podem trazer para o setor.

Palavras-chaves: Análise de Envoltória de Dados (DEA); desempenho operacional; eficiência; índice de Malmquist; Setor ferroviário.

ABSTRACT

The commodities market is of great importance for the economy of Brazil and the world. This market depends, to a large extent, on the condition of the transport infrastructure. The railway mode of transport is of considerable importance in the production chain and in the flow of commodities, being one of the main means of distributing the harvest and products destined for the market. This work aimed to analyze the operational performance of rail freight transport in two countries of large geographical dimensions, Brazil and the United States, from 2013 to 2022. The evaluation of rail freight transport was carried out using Data Envelopment Analysis (DEA) and the Malmquist index. The results show that larger American companies had a higher efficiency performance than Brazilian companies, which mostly operate with increasing returns to scale, corroborating other studies carried out involving the two countries. Furthermore, there was no evidence that railways that transport commodities are more efficient than those that transport general cargo. The analysis of the evolution of productivity of Brazilian and American railways in the period reveals that Brazilian railways were left behind, especially with regard to technological issues. This result, combined with the reduced scale of national companies, reveals the great potential that expanding the network and investing in technology can bring to the sector.

Keywords: Data Envelopment Analysis (DEA); operational performance; efficiency; Malmquist index; Railway sector.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANTF	Associação Nacional dos Transportadores Ferroviários
ANTT	Agência Nacional de Transportes Terrestres
BCC	Modelo Banker, Charnes e Cooper
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CCR	Modelo Charnes, Cooper e Rhodes
CRS	Constant Returns to Scale
DEA	Data Envelopment Analysis
DMU	Decision Making Units
DRS	Decrasing Returns to Scale
Minfra	Ministério da Infraestrutura - Governo Federal
RFFSA	Rede Ferroviária Federal Sociedade Anônima
SAFF	Sistema de Acompanhamento e Fiscalização do Transporte Ferroviário
SBT	Surface Transportation Board
UFTS	sistemas de transporte ferroviário urbano
TKU	tonelada-quilômetros úteis
TU	toneladas úteis

LISTA DE TABELAS

Tabela 1

Média dos Scores de Eficiência - Modelo BCC

.....**32**

Tabela 2

Ranking das DMUs - Modelo BBC

.....**36**

Tabela 3

Eficiência, Extensão da Malha e Tipo de Carga Ferroviária – Brasil e EUA (TU)

.....**36**

Tabela 4

Médias dos Escores de Eficiência por Tipo de Carga e Extensão da Ferrovia

.....**38**

Tabela 5

Resultados do Índice de Malmquist (2013 x 2022)

.....**41**

LISTA DE QUADROS

Quadro 1

Decomposição do índice de Malmquist e seus significados25

Quadro 2

Resumo da Base de dados27

Quadro 3

Estatísticas descritivas das variáveis27

Quadro 4

Outliers identificados28

Quadro 5

Concessionárias Brasileiras (situação em 2022)29

Quadro 6

Empresas Americanas (situação em 2022)29

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1

Transporte Ferroviário de Carga 2013-2022 (TU) - Brasil

30

Gráfico 2

Movimentação de Carga Ferroviária no Brasil — (TU)

30

Gráfico 3

Eficiências Modelo BCC

34

Gráfico 4

Rendimentos Locais de Escala

39

Gráfico 5

Matriz de Transporte de Carga - Brasil x EUA

40

Gráfico 6

Decomposição do Índice de Malmquist (Média)

42

Gráfico 7

Decomposição do Índice de Malmquist (BR x EUA)

43

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	18
3 METODOLOGIA.....	23
4 BASE DE DADOS	27
5 RESULTADOS	32
5.1 Índices de Eficiência	32
5.2 Rendimentos Locais de Escala.....	38
5.3 Evolução de Produtividade.....	40
6 CONCLUSÃO	46
Referências.....	49
Apêndice	55

1



1

INTRODUÇÃO

O mercado de *commodities* é de suma importância para a economia, em especial para a do Brasil. O modo de transporte ferroviário detém considerável importância na cadeia de produção e no escoamento das *commodities*, levando em conta que este é um dos principais meios para o escoamento da safra ou produtos destinados ao mercado. O transporte de carga por meio das ferrovias ocupa um papel importante no setor, ao possuir vantagens em relação aos outros modos de infraestrutura de transportes, já que tem a capacidade de transportar grandes volumes em distâncias longas a um menor custo (ANTF, 2023; OLIVEIRA, 2022; BARBOZA, 2022; KRÜGER, 2003)¹. Apesar das deficiências do transporte ferroviário nacional (PEREIRA e MELLO, 2014), o desempenho do agronegócio brasileiro, em maio de 2023, bateu recordes de exportações atingindo a marca de 16,6 bilhões de dólares, refletindo em alta de 10% em valor das exportações se comparado ao mesmo período de 2022 (IPEA, 2023). Esse resultado poderia ser melhor, pois depende, em larga medida, da condição da infraestrutura de transporte ferroviário.

No Brasil, em 1992, o governo federal, sem condições de manter a malha e a atividade ferroviária, iniciou o Programa Nacional de Desestatização, extinguindo a Rede Ferroviária Federal Sociedade Anônima – RFFSA, baseado em estudos do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social - BNDES, resultando na transferência dos serviços de transporte ferroviário de carga para o setor privado (Minfra, 2023a).

Assim, o Governo Federal concedeu, por meio de leilões, a administração de ferrovias a empresas privadas. Para manter, em bons

¹ Embora seja o modo de infraestrutura de transporte que oferece o serviço mais lento dentre todos, as ferrovias têm outras vantagens como, por exemplo, custos operacionais relativamente baixos, além de apresentar vantagens ambientais que representam redução do consumo de energia e das emissões de CO₂. A competitividade comparada entre os modais rodoviário e ferroviário, por exemplo, representa uma equivalência de 3,57 caminhões para cada vagão ferroviário., ou seja, 01 trem com 100 vagões pode substituir 357 caminhões (ANTF, 2023).

níveis, as operações do sistema de transporte, é necessário fiscalizar a prestação de serviço das concessionárias. É atribuição da Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT) acompanhar e fiscalizar as concessionárias quanto ao cumprimento das metas estabelecidas.

Considerando que o Brasil tem dimensões continentais, com longas distâncias a serem vencidas, a utilização de ferrovias para o transporte de cargas é o mais indicado, pois tem baixo custo e grande capacidade de carga, se comparado com outros modos de infraestrutura de transporte.

A malha ferroviária brasileira, segundo os dados da Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT, 2022), possui 30.629 quilômetros de extensão. A título de comparação, conforme informações da Associação Nacional dos Transportadores Ferroviários - ANTF (2022a), os Estados Unidos da América apresentaram em 2021 a malha ferroviária mais extensa do mundo, com mais de 293.000 quilômetros de ferrovias; a Argentina, que é um país consideravelmente menor que o Brasil, dispõe de 18.000 quilômetros de ferrovias, representando uma densidade da malha ferroviária quase duas vezes maior do que a do Brasil.

Considerando esse cenário, surge, através da iniciativa do Governo Federal, o Programa de Autorizações Ferroviárias, Pro Trilhos². Lançado em 2021, esse programa instaura, mediante outorga em regime de direito privado, a livre iniciativa no mercado ferroviário. Com isso, o setor privado pode construir e operar ferrovias, ramais, pátios e terminais ferroviários, sem depender de um contrato de concessão licitado previamente pelo poder público (ANTF, 2022b).

Nos Estados Unidos, o setor já funciona de forma semelhante, onde as empresas de transporte ferroviário não operam sob o regime de concessão e sim em uma estrutura de mercado mais competitiva, onde o Estado regula apenas questões relacionadas com a segurança na indústria. Em 1980, os Estados Unidos promoveram uma desregulamentação do sistema de operações de transporte ferroviário,

² O Pro Trilhos consiste em um plano estratégico para retomar o planejamento e a execução de obras de infraestrutura ferroviária no Brasil, visando aumentar a atratividade do setor privado para realizar investimentos em ferrovias, sejam elas *greenfields* (novos empreendimentos – ferrovias executadas a partir do “zero”) ou *brownfields* (empreendimento que utilizará ferrovia já existente, pelo menos em parte da extensão desejada). Minfra (2023b).

o que possibilitou ao país um enorme crescimento, garantindo a expansão do setor nas décadas seguintes (Caldas *et al.*, 2009).

No mercado de oferta de serviços de logística, as empresas, em especial as operadoras do setor ferroviário, buscam aumentar a eficiência nas operações de transporte de carga, diminuindo os custos, aumentando a produtividade e, conseqüentemente, resultando em maior lucro.

Neste contexto, é interessante saber quais empresas são mais eficientes na aplicação dos seus recursos. Levando em conta que as firmas do modo de infraestrutura ferroviária operam de forma semelhante, compará-las permitirá apontar os seus pontos de eficiência e ineficiência e, assim, lançar alguma luz sobre os motivos pelos quais umas são mais eficientes que outras.

Neste estudo, buscou-se analisar e identificar a eficiência produtiva de empresas de dois países, Brasil e Estados Unidos, entre os anos de 2013 e 2022. As empresas foram classificadas (ou ordenadas), o que pode ajudar a fundamentar tomadas de decisão pelo poder público. O Brasil passa por um momento particularmente interessante para análise do setor de transporte ferroviário, considerando o período de renovação das concessões. Nesse contexto, os resultados do trabalho podem ser particularmente úteis para essa discussão e para a conseqüente tomada de decisões no modal ferroviário.

Atualmente, existem listadas no site da Agência Nacional de Transportes Terrestres - ANTT 16 concessões. Destas, 04 atuam basicamente na construção das ferrovias e não apresentam dados de operação de transporte de cargas (ANTT, 2022). Quanto às ferrovias dos Estados Unidos, a *Surface Transportation Board* - STB, Agência Federal Independente encarregada da regulamentação econômica de vários modos de transporte terrestre, principalmente ferroviário de carga, disponibiliza os dados de 07 ferrovias classe I dos EUA (STB, 2023), dentre elas a Soo Line Railroad, que foi excluída deste estudo, pois não foram encontrados os dados referentes à malha ferroviária.

Portanto, este trabalho busca analisar a eficiência produtiva de 12 concessionárias do modo de infraestrutura ferroviária de carga brasileiro em operação e outras 06 empresas de transporte ferroviário de carga que atuam nos Estados Unidos, no período de 2013 a 2022, com a utilização da Metodologia de Análise Envoltória de Dados - DEA para fins de avaliação da eficiência técnica das empresas. O estudo

analisa ainda a evolução da produtividade dessas unidades, recorrendo para isso ao índice de Malmquist.

Os resultados apresentados neste estudo podem servir de subsídio tanto para as empresas e concessionárias, para monitorar os níveis de eficiência, como para as agências reguladoras, para controlar os níveis de atendimento, as condições e as metas contratuais. Ainda, permite conhecer os níveis de ineficiência dessas empresas e, assim, pode ajudar a compreender por que umas são mais eficientes que as outras, inclusive pela comparação com pares internacionais.

Vale salientar que, na presente pesquisa, a metodologia de cálculo utilizada é uma ampliação dos trabalhos de Hilmola (2007) e Santos (2011). Foram abordadas as mesmas variáveis utilizadas pelos autores, porém para um período mais amplo e com dados mais atualizados (2013-2022). Também foram incluídos nesta pesquisa os dados e uma comparação com as empresas americanas. Além disso, em um segundo momento de análises, dada a estrutura de dados em painel, foi adicionada a construção dos índices Malmquist, que possibilitam avaliar as mudanças de produtividade das ferrovias, em seus aspectos de mudanças de eficiência e mudanças tecnológicas, ao longo do período de análise.

2



2

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A avaliação de eficiência das empresas brasileiras e americanas de transporte ferroviário será realizada por meio da Análise Envoltória de Dados – DEA, a partir de modelos distintos quanto a rendimentos de escala³ e dos índices de Malmquist, decompostos em Mudança de Eficiência e Mudança Tecnológica. Isso possibilita analisar a produtividade de cada firma relativamente ao conjunto de unidades ao longo do tempo, onde cada empresa representa uma unidade tomadora de decisão (*Decision Making Unit* - DMU), com dados disponibilizados pelas Agências de Transportes Terrestres do Brasil e do Estados Unidos. Dessa forma, é possível ordenar as empresas de acordo com sua eficiência, bem como acompanhar a sua evolução ao longo do período.

A literatura internacional sobre eficiência aplicada ao modo de transporte ferroviário destaca, entre outros, o estudo de Perelman e Pestieau (1988). Eles propuseram um modelo para medir os níveis de eficiência produtiva aplicado a uma amostra de ferrovias e serviços postais de 23 países, entre eles a Austrália, Bélgica, França, Japão, Suíça e Alemanha.

Outro estudo importante é o de Jain *et al.* (2008), onde os autores analisaram o impacto na eficiência dos sistemas de transporte ferroviário urbano, baseados nos Modelos Tradicionais de Propriedade Pública e nos Modelos de Privatização. Eles determinaram em conjunto a eficiência técnica e a eficácia técnica usando modelos DEA tradicionais. Foram identificados 15 sistemas de transporte ferroviário urbano – UFTS, em diferentes cidades em todo o mundo, entre elas Londres, Barcelona e São Paulo. Os *inputs* considerados foram a mão-

³ Os modelos DEA mais comumente utilizados pela literatura são aqueles com retornos constantes de escala, também denominado modelo CCR (ou CRS - *constant returns of scale*) e o modelo com rendimentos variáveis de escala, conhecido como modelo BCC (ou VRS - *variable returns of scale*). Além desses dois modelos, o presente estudo também utilizará o modelo com retornos decrescentes de escala (DRS - *decrising returns of escale*), o que permite, por meio da comparação com os dois precedentes, analisar os retornos locais de escala de dada DMU analisada.

de-obra, material rodante, capital e linha, no período de 1992 a 2002. Os serviços de passageiros foram considerados como *output*, sendo o número de viagens de passageiros a variável de saída. O estudo revelou que o modelo de privatização tem impacto direto e positivo no aumento da eficiência.

Chu *et al.* (1992) e Viton (1998), por sua vez, utilizaram DEA para medir a eficiência relativa do sistema de transporte dos EUA. Usaram como *outputs* quantidade de veículos, distância percorrida e número de passageiros; como *inputs*, utilizaram a idade média da frota, quantidade de veículos, consumo de combustíveis, mão-de-obra, custos com serviços e seguros. Notaram que, em geral, eficiência e eficácia são negativamente correlacionadas.

Bhanot e Singh (2014) realizaram o *benchmarking* dos indicadores de desempenho no ramo de logística de transporte com a utilização de contêineres, empregando a metodologia DEA, em dados secundários das empresas CONCOR, ADANI e GATEWAY, analisando os dados no período entre os anos de 1995 até 2011. Eles identificaram a tendência de eficiência entre 87,5 e 100 por cento da empresa Container Corporation of India (CONCOR).

Em um estudo realizado por Caldas *et al.* (2009), foi analisada a eficiência operacional das concessionárias de ferrovias que operavam no Brasil e no Estados Unidos. O estudo demonstrou que quando comparada a eficiência dos trechos americanos com os trechos brasileiros, os resultados são muito parecidos, porém os trechos americanos são mais eficientes, talvez por conta do modelo competitivo. Caldas escolheu o modelo CCR com orientação a *output* e não considerou a variável combustível.

Fontan e Rosa (2018) usam a metodologia DEA com Retornos Variáveis de Escala (BCC) orientado a *output*, com o objetivo de medir a eficiência das operadoras de ferrovias e identificar seu posicionamento relativo. Das doze operadoras avaliadas, localizadas em quatro continentes e distribuídas em dez países, encontraram cinco eficientes e três que poderiam alcançar a fronteira de eficiência com ajustes.

Hilmola (2007), analisou a eficiência das empresas operadoras de ferrovias de carga europeias e as separou em dois grupos: o primeiro considerando como *output* a quantidade de carga transportada em toneladas úteis (TU); e o segundo levando em conta a produção total em tonelada-quilômetros úteis (TKU). Ainda, utilizou como *inputs* a

quantidade de vagões de carga, a frota de locomotivas, a quantidade de pessoas empregadas e a extensão da malha. O estudo indica que locomotivas e a via férrea são os principais responsáveis pela melhoria da produtividade nos países altamente eficientes. Mostra também que atualmente o transporte ferroviário de cargas mais eficiente está localizado nos países Bálticos, mais especificamente na Estônia e na Letônia.

Abate *et al.* (2013) utilizaram modelos DEA-BCC e Índice Malmquist para avaliar os serviços ferroviários, aplicado ao transporte de passageiros europeus. Usaram como *output* o total de passageiros por ano por quilômetro e como *input* a média anual de pessoal, material rodante (locomotivas e carros de passageiros) e a extensão da via. Segundo os autores, a decomposição do índice de Malmquist permite analisar as mudanças de eficiência, fornecendo resultados mais precisos.

Enfocando o caso brasileiro, Pereira e Mello (2014) verificaram a eficiência das concessionárias ferroviárias do Brasil, utilizando um modelo DEA BCC clássico, com informações disponibilizadas pela Agência Nacional de Transportes Terrestres. Concluem, entre outras coisas, que não houve muita incidência de DMUs totalmente eficientes ou totalmente ineficientes. Por outro lado, os autores sugerem que, em estudos futuros, sejam utilizados métodos que tratem melhores as eficiências *por default*, como a técnica de suavização da fronteira DEA BCC, exposto em Brandão *et al.* (2015). Ainda ressaltaram que seu estudo, se replicado posteriormente, poderia avaliar melhor as métricas propostas pelas operadoras.

Também com foco no caso brasileiro, Paixão e Khoury (2008) utilizaram o modelo DEA CCR para avaliar a eficiência no transporte ferroviário de cargas. Os autores buscaram avaliar se a função da eficiência relativa seria afetada pela extensão do trecho ferroviário. A hipótese foi confirmada, indicando que ferrovias de menor extensão são mais eficientes.

Já Silva, Macambira e Rocha (2008) concluem, com base nos resultados dos modelos DEA, que as operadoras de ferrovias brasileiras, especializadas no transporte de minério e *commodities* agrícolas, são mais eficientes do que as que operam no transporte mais diversificado de produtos. Por sua vez, com a utilização de modelos de regressão Tobit, todas as variáveis usadas mostraram correlação significativa com a eficiência produtiva.

Santos (2011) analisou resultados obtidos a partir dos modelos CCR e BCC, usando as mesmas variáveis que Hilmola (2007), porém, adicionando mais uma variável, o consumo de combustível. O seu objetivo foi analisar a eficiência produtiva das concessionárias no Brasil, levantando a hipótese que as vias férreas com bitola larga seriam mais eficientes do que as de bitola métrica. Os resultados obtidos refutaram a hipótese.

Kirchner (2013) analisou a eficiência, no universo de atividades portuárias, dos terminais que movimentam contêineres. Foram aplicadas as metodologias de análise envoltória de dados – DEA, modelos CCR, BCC e o índice de Malmquist, analisando a produtividade de cada DMU ao longo do tempo, restrita aos períodos de 2010, 2011 e 2012. Com a análise de vários períodos, o autor pode perceber a evolução (ou não) de cada terminal em sua produtividade com base nas variáveis escolhidas.

A renovação antecipada das concessões ferroviárias brasileiras foi concretizada com as assinaturas dos contratos de prorrogações das concessionárias Rumo Malha Paulista - RMP, em 27 de maio de 2020, das Estradas de Ferro Vitória a Minas – EFVM e Estrada de Ferro Carajás – EFC, em 18 de dezembro de 2020, e da MRS Logística, em 29 de julho de 2022, por mais 30 anos. Há também alguns processos de antecipação de renovação em andamento, tais como os das concessionárias Ferrovia Centro Atlântica - FCA e Rumo Malha Sul - RMS, ANTF (2022a). Como já se afirmou, os resultados deste trabalho sobre eficiência das concessionárias podem contribuir também para a decisão pública de antecipar a renovação dos contratos ou licitar novamente.

3



3

METODOLOGIA

Para alcançar os objetivos pretendidos, será adotado um modelo DEA, por meio do qual será possível construir um *ranking* de eficiência das concessionárias brasileiras e americanas de transporte ferroviário.

A metodologia DEA, inicialmente desenvolvida por Charnes *et al.* (1978), utiliza Problemas de Programação Linear (PPL) para calcular a eficiência de uma *Decision Making Unit* (DMU). A DMU pode ser definida como uma empresa, para a qual a eficiência é avaliada. A análise calcula o máximo desempenho de cada unidade, comparando-as com as demais estudadas, sendo necessário que cada uma esteja na fronteira abaixo dela (Bhanot e SINGH, 2014).

Os modelos DEA podem ter ao menos duas diferentes orientações, que indicarão a maneira que uma DMU irá atingir a fronteira de eficiência: 1) orientação a *input*, ou 2) orientação a *output*. A primeira busca responder a proposição de qual é a quantidade possível de redução de insumos (*inputs*) sem alterar as quantidades produzidas (*outputs*). A segunda indica qual é a quantidade possível de aumento da saída, sem mudar as quantidades de entrada (Caldas *et al.*, 2009). Para analisar a eficiência das concessionárias de carga do setor ferroviário, foi utilizada neste estudo a orientação para insumos (*inputs*), ou seja, o objetivo foi minimizar a matéria prima, isto é, produzir a mesma quantidade com menos insumos.

Existem dois modelos clássicos, que representam a metodologia DEA: 1) Charnes, Cooper e Rhodes (1978), também conhecido como modelo CCR; e 2) Banker, Charnes e Cooper (1984), conhecido como modelo BCC. Em muitas aplicações reais há a necessidade de refinamento dos modelos clássicos existentes. Neste estudo, foi utilizado também o Modelo DRS, para determinar a natureza dos rendimentos de escala das empresas envolvidas. Para isso, comparam-se os resultados obtidos nos três modelos citados.

O modelo CCR calcula a eficiência pela melhor proporção dos *outputs* com os *inputs* de uma determinada DMU. Este método é caracterizado por retornos constantes de escala, conhecido também como *Constant Returns to Scale* (CRS). O objetivo do modelo CCR é

determinar os pesos ótimos de saída e de entrada. Se o resultado da eficiência for igual a 1, a DMU é eficiente. Se o resultado for < 1 e ≥ 0 , a DMU é ineficiente. Uma característica do CCR é que a orientação não influencia no valor da eficiência, pois este modelo trabalha com variação proporcional entre as entradas e as saídas. A escolha da orientação deve ser feita conforme o que se deseja alcançar: reduzir a utilização dos insumos (entradas) ou aumentar a produção (saída) (Ferreira e Gomes, 2009).

O modelo CCR é o modelo básico para análise, possuindo as hipóteses mais restritivas. A fórmula matemática do modelo é, segundo SEIFORD e THRALL (1990):

Maximizar:

$$h_o = \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{r0}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{i0}} \quad (1.1)$$

Sujeito a:

$$\frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \leq 1, j = 1, 2, \dots, n \quad (1.2)$$

$$\frac{u_r}{\sum_{i=1}^m v_i x_{i0}} \leq 1; r = 1, \dots, s \quad (1.3)$$

$$\frac{v_i}{\sum_{i=1}^m v_i x_{i0}} \leq 1; i = 1, \dots, m \quad (1.4)$$

Este modelo foi criado para avaliar a eficiência relativa de DMUs, com base na observação de $j = 1, 2, \dots, n$ unidades.

A quantidade utilizada de cada *input* por cada DMU é representada por x_{rj} , sendo que o subscrito r aponta o r -ésimo *input* utilizado pela j -ésima unidade avaliada. Adicionalmente, observe-se que s se refere à quantidade de *inputs* utilizados na produção de cada DMU. De modo similar, y_{ij} indica a quantidade obtida i -ésimo *output* pela j -ésima unidade, sendo m a quantidade de *outputs* obtidos no processo.

O modelo BCC, por sua vez, considera rendimentos variáveis de escala, flexibilizando a hipótese da proporcionalidade entre *inputs* e *outputs*. Este também é conhecido como *Variable Returns to Scale* (VRS). A principal característica do modelo BCC é que a fronteira de eficiência é limitada às combinações convexas dos planos de produção observados⁴.

O modelo DRS (do inglês *Decreasing Returns of Scale*) adota a hipótese de retornos decrescentes de escala e será utilizado, em conjunto com os demais, para que se possa avaliar os rendimentos locais de escala experimentados pelas empresas analisadas.

A modelagem DEA supramencionada apresenta resultados pontuais. Com a utilização do Índice de Malmquist, é possível uma avaliação intertemporal, detectando evoluções (ou regressões) de produtividade quando comparados dois períodos distintos⁵. Além disso, o índice de Malmquist pode ser decomposto em mudanças de eficiência e mudanças tecnológicas. A interpretação dos índices é feita observando o sentido da análise, conforme quadro 1.

Quadro 1: Decomposição do índice de Malmquist e seus significados

Índice	Período de tempo crescente:	Período de tempo decrescente	Significado
Malmquist (IM)	IM > 1	IM < 1	Melhora da produtividade
	IM = 1	IM = 1	Manutenção da produtividade
	IM < 1	IM > 1	Piora da produtividade
Mudança de Tecnologia (IT)	IT > 1	IT < 1	Melhora da tecnologia
	IT = 1	IT = 1	Manutenção da tecnologia
	IT < 1	IT > 1	Piora da tecnologia
Mudança de Eficiência (IE)	IE > 1	IE < 1	Melhora da eficiência
	IE = 1	IE = 1	Manutenção da eficiência
	IE < 1	IE > 1	Piora da eficiência

⁴ Dado que a ideia e a estruturação do modelo BCC são semelhantes à do modelo CCR, a sua formulação matemática não será apresentada. Maiores detalhes podem ser encontrados em SEIFORD e THRALL (1990).

⁵ O índice de Malmquist é calculado como a média geométrica de quatro medidas de eficiência para a mesma DPU: i) no período inicial, ii) no período final, iii) no período inicial com a tecnologia do período final, e iv) no período final com a tecnologia do período inicial. Mais detalhes podem ser encontrados em Kirchner (2013).

Fonte: Elaborado pelo autor.

4



4

BASE DE DADOS

Os insumos (*inputs*) constituintes do estudo para cada empresa, conforme mostrado no Quadro 2, serão: 1) extensão total da malha ferroviária em operação por ano; 2) quantitativo de mão de obra total por ano; 3) consumo de combustível em um ano. Os produtos (*outputs*) serão: 1) produção de transporte de carga no período de um ano (TU), que se refere ao total de carga movimentada no transporte ferroviário remunerado, sem considerar a extensão do trecho (ANTT, 2008). Optou-se por essa variável e não por Tonelada-quilômetros úteis (TKU), uma vez que a extensão da malha foi diretamente incorporada como *input*. Foram considerados os dados no período de 2013 a 2022.

Quadro 2: Resumo da Base de dados

Tipo	Variável	Base
Inputs	- Extm: Extensão da Malha ferroviária utilizadas pela concessionária na operação de transporte de cargas (em km);	Sistema de Acompanhamento e Fiscalização do Transporte Ferroviário. (Fonte: ANTT e STB)
	- Npess: Número de pessoas empregados pela concessionária na operação de transporte de cargas;	
	- Comb: Consumo de combustível efetuado pela concessionária na operação de transporte de cargas (em litros);	
Outputs	-Pcarg: Produção de transporte de carga (em TU)	

Fonte: Elaborado pelo autor

O Quadro 3 apresenta a estatística descritiva das variáveis utilizadas.

Quadro 3: Estatísticas descritivas das variáveis

Empresas – 2013 A 2022 – Brasil + EUA					
Tipo	Variável	Média	Desv. Padrão	Máximo	Mínimo
Inputs	Extm	13.921,60	18.247,76	52.303,55	127,31
	Npess	10.157,36	13.746,27	51.342,00	132,00
	Comb	61.119.295,31	97.123.936,74	378.764.076,00	62.353,27
Outputs	Pcarg	152.044.268,31	183.384.410,67	624.079.894,00	175.737,00

Fonte: Elaborado pelo autor

Foi realizada a detecção de *outliers* na base de dados, por ano e por variável, com a utilização de gráficos do tipo *boxplot*, onde foi possível visualizar os dados muito afastados do centro de distribuição, da média e da variação, ou seja, foi possível identificar os dados discrepantes, sendo posteriormente efetuado a substituição das DMU's identificadas (GIACONDINO *et al.*, 2022). Foram identificadas 7 empresas com *outliers*, conforme mostrado no Quadro 4.

Quadro 4: *Outliers* identificados

DMU	Ano	Variável	País
EFVM	2013	Npess	BR
EFVM	2014	Npess	BR
EFVM	2019	Extm	BR
FCA	2016	Extm	BR
FNSTN	2013	Npess	BR
FNSTN	2014	Npess	BR
FNSTN	2017	Npess	BR
FTL	2013	Extm/Npess/Carga	BR
FTL	2014	Extm	BR
RMP	2020	Carga	BR
RMP	2021	Carga	BR
RMS	2016	Carga	BR
RMS	2017	Npess	BR
KCS	2020	Npess/Comb	US

Fonte: Elaborado pelo autor

Após a identificação dos *outliers*, foi realizado o tratamento da base de dados, substituindo os dados atípicos, por valores referentes a média dos valores dos demais anos da amostra, correspondentes à variável e à empresa.

No quadro 5 encontram-se as 12 concessionárias do setor ferroviário de cargas que atuam no Brasil e no quadro 6 estão as 06 empresas do setor ferroviário de cargas que atuam nos Estados Unidos e suas respectivas siglas e extensões.

Quadro 5: Concessionárias Brasileiras (situação em 2022)

Concessionária	Sigla	Extensão
Estrada de Ferro Carajás	EFC	996,67
Estrada de Ferro Paraná Oeste	EFPO	248,10
Estrada de Ferro Vitória Minas	EFVM	878,12
Ferrovia Centro-Atlântica	FCA	7.860,48
Ferrovia Norte-Sul - Tramo	FNSTN	744,50
Ferrovia Tereza Cristina	FTC	163,45
Ferrovia Transnordestina	FTL	1.274,79
MRS Logística	MRS	1,818,70
Rumo Malha Norte	RMN	740,92
Rumo Malha Oeste	RMO	1.973,12
Rumo Malha Paulista	RMP	1.212,88
Rumo Malha Sul	RMS	4.624,89
	Total	22.536,62

Fonte: ANTT (2022).

Quadro 6: Empresas Americanas (situação em 2022)

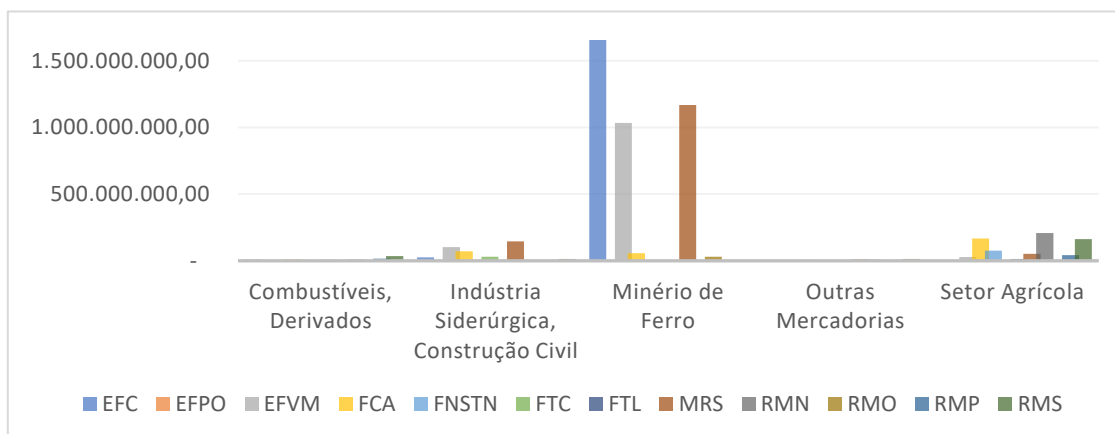
Concessionária	Sigla	Extensão
Burlington Northern - Santa Fe	BNSF	52.303,55
Union Pacific Railroad	UPR	52.226,30
CSX Transportation	CSX	32.186,80
Norfolk Southern Railway	NSR	31.060,26
Kansas City Southern Railway	KCS	11.426,31
Canadian National Railway	CNR	32.186,80
	Total	211.390,03

Fonte: Surface Transportation Board - STB (2022).

Na análise, não foram considerados os dados das concessionárias VALEC S.A. – FNS/FIOL, Ferrovia de Integração Oeste-Leste FIOL – Trecho 1, Ferrovia Norte Sul Tramo Central (FNSTC) e a Transnordestina Logística S.A, pois atuaram basicamente na construção das ferrovias e não apresentam dados de operação de transporte de cargas. A Rumo Malha Central S.A. obteve a subconcessão da Ferrovia Norte Sul Tramo Central (FNSTC), concedida à VALEC Engenharia, Construções e Ferrovias S.A., no leilão realizado em 28 de março de 2019. O Contrato foi assinado em 31 de setembro de 2019, por isso não existem dados suficientes, referente a mencionada malha, para compor o estudo.

O minério de ferro é o principal produto transportados nas ferrovias brasileiras. Neste estudo, com base nos dados fornecidos pela ANTT, o minério de ferro corresponde por 75,5% da carga total transportada sobre trilhos no país, no período de 2013 a 2022. O setor agrícola aparece num distante segundo lugar, com 14,3% da carga transportada por trem; os materiais da indústria siderúrgica e da construção civil vêm em terceiro lugar, com 7,5%.

Gráfico 1: Transporte Ferroviário de Carga 2013-2022 (TU) - Brasil

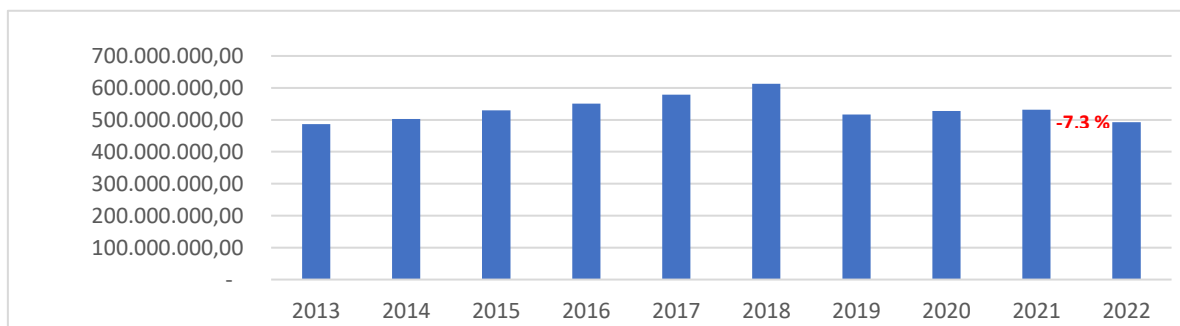


Fonte: Elaborado pelo autor, com dados de ANTT (2022).

As empresas de transporte ferroviário de carga EFC, EFVM e MRS, que atuam, principalmente, com o transporte de minério de ferro, são responsáveis por 97,8% do volume total de minério de ferro transportados no período estudado.

Em 2022, o setor ferroviário de cargas brasileiro mostrou uma redução de 7,3% na movimentação ao transportar pouco menos de 493 milhões de TU (toneladas úteis), em comparação ao movimentado em 2021, que transportou 531 milhões de TU.

Gráfico 2: Movimentação de Carga Ferroviária no Brasil — (TU)



Fonte: Elaborado pelo autor, com dados de ANTT (2022)

O *software* utilizado para os cálculos foi o R Studio, versão 4.3.1.

5

5 RESULTADOS

Nesta seção são apresentados os resultados da análise de eficiência e dos rendimentos locais de escala, oriundos da aplicação da metodologia DEA CCR, DEA DRS e DEA BCC, com orientação a *inputs*, bem como a evolução da produtividade, sob a perspectiva do avanço tecnológico ou avanço de eficiência, por meio do Índice de Malmquist.

5.1 Índices de Eficiência

A tabela 1 apresenta os resultados obtidos no modelo BCC, mostrando as concessionárias/empresas, os anos analisados e os escores relativos de eficiência.

Tabela 1: Média dos Scores de Eficiência - Modelo BCC

EMPR ESAS	MÉDI A GERA L	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
EFC	0,947 9521	0,881 254	0,900 137	0,945 187	0,939 838	0,958 658	1	0,970 528	1	0,979 905	0,904 014
EFPO	0,947 0973	0,945 344	0,940 493	0,934 499	0,917 749	0,9199 95	0,924 987	0,941 485	0,9671 92	0,979 229	1
EFVM	0,9216 982	0,880 541	0,884 314	0,919 508	0,986 6	0,994 418	1	0,876 832	0,8715 86	0,898 942	0,904 241
FCA	0,1610 412	0,1292 57	0,130 068	0,154 739	0,146 782	0,1824 68	0,1956 08	0,168 42	0,1790 1	0,163 226	0,160 836
FNST N	0,470 7258	0,584 498	0,463 093	0,521 677	0,430 697	0,4812 16	0,489 245	0,416 455	0,442 729	0,440 883	0,436 766
FTC	0,984 9988	1	0,9731 16	0,946 22	0,964 304	1	1	1	1	1	0,966 348
FTL	0,1793 505	0,179 672	0,1567 73	0,158 859	0,195 851	0,1984 36	0,1913 94	0,1641 6	0,185 074	0,189 372	0,1739 16
MRS	0,736 2773	0,675 812	0,7219 78	0,753 671	0,797 568	0,7651 31	0,790 634	0,667 95	0,763 069	0,730 107	0,696 851
RMN	0,799 8455	0,614 863	0,559 672	0,581 492	0,571 426	0,698 517	1	1	1	0,990 233	0,982 252
RMO	0,424 3796	0,345 112	0,388 744	0,390 036	0,670 423	0,300 224	0,398 026	0,421 416	0,359 515	0,441 164	0,5291 37
RMP	0,094 4601	0,1157 17	0,108 626	0,085 188	0,088 257	0,0691 38	0,1057 26	0,1139 81	0,074 331	0,070 137	0,1134 99
RMS	0,186 0336	0,136 776	0,1359 55	0,1311 89	0,1561 2	0,1799 95	0,2189 11	0,2215 76	0,227 478	0,237 328	0,215 008
BNSF	0,969 6775	0,978 045	1	1	0,916 397	0,980 075	0,981 029	0,978 462	0,928 372	1	0,934 396
UPR	0,858 7037	0,927 882	1	0,924 996	0,758 378	0,8194 57	0,825 635	0,832 33	0,750 046	0,859 499	0,888 814

CSX	0,975 3161	0,964 618	1	0,996 092	0,932 967	0,957 752	0,987 009	1	0,959 71	1	0,955 012
NSR	0,932 6950	0,975 167	0,979 039	0,942 558	0,901 89	0,947 928	0,950 915	0,972 772	0,843 533	0,915 648	0,897 499
KCS	0,998 8985	0,999 038	0,998 265	0,999 359	1	0,9991 95	0,996 918	1	0,996 209	1	1
CNR	0,9218 055	1	1	0,997 26	0,879 354	0,867 474	0,883 539	0,868 51	0,873 268	0,937 874	0,910 775
MÉDI A BRASI L	0,5711 550	0,540 7372	0,530 2475	0,543 5220	0,572 1346	0,562 3497	0,609 5444	0,580 2334	0,5891 653	0,593 3772	0,590 2388
MÉDI A EUA	0,942 8494	0,974 1250	0,996 2174	0,976 7111	0,898 1643	0,928 6469	0,937 5076	0,942 0123	0,891 8565	0,952 1702	0,931 0825
MÉDI A GERA L	0,695 0531	0,685 1998	0,685 5708	0,687 9183	0,680 8111	0,684 4488	0,7188 654	0,700 8264	0,690 0624	0,712 9748	0,703 8534

Fonte: Elaborado pelo autor

Analisando ano a ano, no período de 2013 a 2022, é possível constatar que 10 DMU's alcançaram escores de 100%, representadas pelas empresas brasileiras EFC (2018, 2020), EFPO (2022), EFMV (2018), FTC (2013, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021) e RMN (2018, 2020); e pelas empresas americanas BNSF (2014, 2015, 2021), UPR (2014), CSX (2014, 2019, 2021), KCS (2016, 2019, 2021, 2022) e CNR (2013, 2014).

De acordo com os dados apresentados na Tabela 1, considerando a média dos escores das DMU's no período de 2013 a 2022, observa-se que a média geral é de 69,5%, que as empresas brasileiras obtiveram escore médio de 57,1% e as empresas americanas de 94,3%, diferença essa significativa do ponto de vista estatístico (valor p do teste de diferença de médias igual a 0,0039). A constatação de que as empresas americanas foram mais eficientes do que as brasileiras reforça os resultados de Caldas *et al.* (2009), comentados na revisão de literatura, que também analisaram a eficiência de empresas brasileiras e dos EUA.

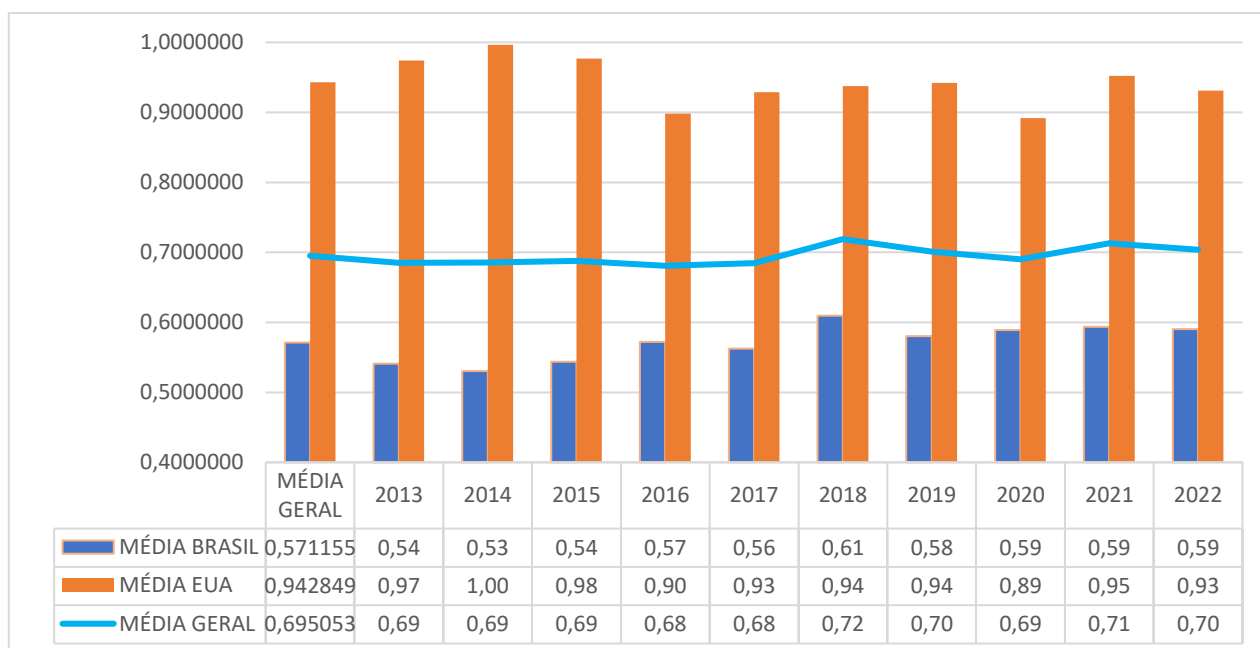
Neste contexto, analisando o *ranking* geral dos resultados das 18 DMU's, as empresas brasileiras apresentaram resultados inferiores, onde 6 delas ficaram abaixo do valor médio: FNSTN (47,1%), RMO (42,4%), RMS (18,6%), FLT (17,9%), FCA (16,1%) e RMP (9,4%), representando o grupo dos piores resultados. Por outro lado, um segundo grupo de empresas nacionais obteve resultados melhores: em segundo lugar geral, figura a FTC (98,5%), seguida entre as locais pela EFC (94,8%), EFPO (94,7%), EFVM (92,2%), RMN (80,0%) e MRS (73,62%).

Ainda analisando o *ranking*, mas agora quanto às empresas americanas, verifica-se que todas apresentaram valores acima da média geral. Em primeiro lugar, destaca-se a empresa KCS (99,9%), que

apresentou o melhor resultado, seguida entre as estrangeiras pela CSX (97,5%), BNSF (97,0%), NSR (93,2%) e a UPR (85,9%).

O gráfico 3 ilustra a evolução da média geral e das médias das empresas brasileiras e americanas, ano a ano, no decorrer do período analisado. Nota-se que, apesar da baixa amplitude dos valores ao longo do período, a média das empresas brasileiras teve uma melhora relativa de 5,0%, enquanto as empresas americanas tiveram uma diminuição relativa de 4,0%.

Gráfico 3: Eficiências Modelo BCC



Fonte: Elaborado pelo autor

Há vários fatores que podem estar associados a essa “possível” aproximação de eficiência, mesmo que tênue, entre o mercado brasileiro e o americano. De toda forma, esse é um ponto que será retomado mais adiante neste estudo.

Analisando isoladamente cada DMU, a KCS apresentou score mínimo de 99,7% (2020), mas melhorou no final do período (2022) com score de 100%. A FTC iniciou o período com score de 100% (2013), teve um declínio, mas se recuperou a partir de 2017, apresentando score de 100% até cair para 96,6% em 2022. Já a CSX iniciou o período com score de 96,5% (2013), teve um declínio, mas se recuperou a em 2019 e 2020, apresentando score de 100%, até cair para 95,5% em 2022.

A BNSF iniciou o período com score de 97,8% (2013), teve um aumento em 2014, 2015 e 2021, apresentando score de 100%, até cair para 93,4% em 2022. A EFC iniciou o período com score de 88,1% (2013),

teve um aumento em 2018 e 2021, apresentando escore de 100%, até cair para 90,4% em 2022. A EFPO iniciou o período com escore de 94,5% (2013), mas melhorou no final do período (2022) com escore de 100%.

A NSR iniciou o período com escore de 97,5,1% (2013), teve um declínio nos anos seguintes, até cair para 89,7% em 2022. A CNR iniciou o período com escore de 100% (2013 e 2014), teve um declínio até cair para 91,1% em 2022. Por sua vez, a EFVM iniciou o período com escore de 88,1% (2013), teve um aumento em 2016, 2017 até alcançar em 2018 escore de 100% e voltar a cair para 90,4% em 2022.

A UPR iniciou o período com escore de 92,8% (2013), teve um aumento em 2014, quando alcançou escore de 100%, para depois voltar a cair para 88,9% em 2022. A RMN iniciou o período abaixo da média geral, com escore de 61,5% (2013), teve um aumento em 2018, 2019 e 2021, apresentando escore de 100%, até cair para 98,2% em 2022. A MRS iniciou o período também abaixo da média geral, com escore de 67,6% (2013), teve aumentos que não ultrapassaram 79,8% (2016), até cair para 69,7% em 2022. Finalmente, as empresas FNSTN, RMO, RMS, FTL, FCA e RMP estão todas abaixo da média geral de escore, do início ao fim do período.

Considerando a evolução anual das empresas brasileiras, é possível notar que o ano em que elas foram mais eficientes foi em 2018, com escore médio de 60,9%, caindo nos anos seguintes e aumentando o escore somente nos anos finais do período 2021 e 2022. As empresas FTC, EFC e EFPO foram as mais eficientes e ficaram com o escore médio de eficiência de 98,5%, 94,8% e 94,7% respectivamente.

Analisando este resultado, vale refletir que a maior parte da carga transportada pela EFPO se refere a *commodities* agrícolas, representando 93,14% das operações da empresa, sendo, entre as demais empresas estudadas, a que mais se dedica a esse de tipo transporte. Outro ponto importante, em relação a extensão, a EFPO tem a 2ª menor, com 248,10 km, o que representa pouco mais de 1% da malha brasileira.

Os resultados demonstram que nos anos 2014, 2015 e 2016 nenhuma empresa brasileira apresentou escore de 100%. Das 12 empresas analisadas, 6 ficaram abaixo da média de eficiência do período, sendo a RMP a que obteve o pior índice, com 9,4%. A RMP ocupa a 5ª pior posição quanto ao volume de transporte de carga, representando 1,2% da movimentação total de carga transportada nas ferrovias brasileiras no período estudado. Além disso, a RMP também

ocupa a 5ª pior posição para a quantidade de funcionário por km de via, sendo quase 2 funcionários por km.

A Tabela 2 apresenta um *ranking* das empresas, tanto por ano como um panorama geral. Observa-se que a empresa mais eficiente durante todo o período foi, na média, a americana KCS, seguida da brasileira FTC. Entre as 6 primeiras colocadas, temos 3 nacionais e 3 estrangeiras. A pior empresa em todos os anos analisados foi a brasileira RMP. Ainda compondo a parte de baixo do *ranking*, alternam-se nas últimas posições as seguintes empresas nacionais: FCA, FTL, RMS, seguidas das concessionárias RMO, FNSTN e MRS.

Tabela 2: Ranking das DMUs - Modelo BBC

EMPRESAS	MÉDIA	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
EFC	5	9	9	6	4	5	1	7	1	6	9
EFPO	6	7	8	8	6	8	9	8	5	7	1
EFVM	9	10	10	10	2	3	1	9	9	10	8
FCA	17	17	17	16	17	16	16	16	17	17	17
FNSTN	13	13	13	13	14	13	13	14	13	14	14
FTC	2	1	7	5	3	1	1	1	1	1	4
FTL	16	15	15	15	15	15	17	17	16	16	16
MRS	12	11	11	11	10	11	12	12	11	12	12
RMN	11	12	12	12	13	12	1	1	1	5	3
RMO	14	14	14	14	12	14	14	13	14	13	13
RMP	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
RMS	15	16	16	17	16	17	15	15	15	15	15
BNSF	4	4	1	1	7	4	7	5	7	1	6
UPR	10	8	1	9	11	10	11	11	12	11	11
CSX	3	6	1	4	5	6	6	1	6	1	5
NSR	7	5	6	7	8	7	8	6	10	9	10
KCS	1	3	5	2	1	2	5	1	4	1	1
CNR	8	1	1	3	9	9	10	10	8	8	7

Fonte: Elaborado pelo autor

A tabela 3 traz as informações dos índices de eficiência, associando-os à extensão da malha e ao tipo de carga transportada por cada empresa. É possível observar por exemplo que, no caso nacional, as 3 maiores empresas transportadoras de minério de ferro, EFC, EFVM e MRS, foram responsáveis por 98% desse tipo de carga no Brasil. No entanto, elas utilizam em conjunto apenas 3.693,49 km de ferrovia, o que corresponde a 16% da malha ferroviária brasileira considerada neste estudo.

Tabela 3: Eficiência, Extensão da Malha e Tipo de Carga Ferroviária – Brasil e EUA (TU)

Empresas	Escores (Média Geral)	Extensão da malha (km)	Combustíveis, derivados	Indústria Siderúrgica, Construção Civil	Minério de Ferro	Outras Mercadorias	Setor Agrícola	TOTAL
EFC BR	0,9479521	996,67	7.786.274,00	25.656.312,00	1.733.728.772,00	221,00		1.767.171.579,00
EFPO	0,9470973	248,10		275.424,00		14.472,00	3.933.189,00	4.223.085,00
EFVM	0,9216982	878,12	538,00	101.677.655,00	1.033.278.330,00	252.830,00	29.112.202,00	1.164.321.555,00

FCA	BR	0,16104 12	7.860,4 8	10.823.760,00	70.191.378,00	57.046.843,0 0	5.906.170,00	168.173.552,0 0	312.141.703,00
FNS TN	BR	0,4707 258	744,50	5.757.578,00		326.962,00		76.978.814,00	83.063.354,00
FTC	BR	0,9849 988	163,45		30.602.436,0 0		3.388.841,00		33.991.277,00
FTL	BR	0,17935 05	1.274,79	6.257.534,00	6.221.719,00	345.776,00	359.961,00	13446141	26.631.131,00
MRS	BR	0,73627 73	1.818,70	601.682,00	146.892.131,0 0	1.169.053.748, 00	11.283.924,00	53252489	1.381.083.974, 00
RMN	BR	0,7998 455	740,92	9.957.605,00			8.647.192,00	207775435	226.380.232,0 0
RMO	BR	0,4243 796	1.973,12	320.481,00	4.191.050,00	29.378.236,00		6320987	40.210.754,00
RMP	BR	0,0944 601	1.212,88	16.478.424,0 0	38.725,00		3.636.162,00	41986615	62.139.926,00
RMS	BR	0,18603 36	4.624,89	36.488.398,0 0	13.488.698,0 0		13.964.780,00	162872794	226.814.670,0 0
TOT AL	BR		22.536,6 2	94.472.274,0 0	399.235.528,0 0	4.023.158.667, 00	47.454.553,0 0	763.852.218,0 0	5.328.173.240, 00
				1,8%	7,5%	75,5%	0,9%	14,3%	
BNS F	EU A	0,9696 775	52.303,5 5	2.619.017.141,0 0	340.160.961,0 0	145.852.338,0 0	1.777.971.289, 00	857.016.977,0 0	5.740.018.706, 00
UPR	EU A	0,8587 037	52.226,3 0	1.601.893.055, 97	361.677.275,4 7	26.892.045,37	2.343.718.251, 65	607.261.098,8 0	4.941.441.727, 25
CSX	EU A	0,97531 61	32.186,8 0	1.130.183.446, 98	461.959.035,8 4	52.334.333,05	1.599.553.715, 82	395.025.252,8 8	3.639.055.784, 58
NSR	EU A	0,9326 95	31.060,2 6	1.196.427.295, 00	516.519.487,0 0	4.859.700,00	1.404.705.281, 00	395.897.298, 00	3.518.409.061, 00
KCS	EU A	0,9988 985	11.426,31	291.219.694,0 0	65.675.959,0 0	7.238.140,00	244.224.487, 00	147.200.144,0 0	755.558.424,0 0
CNR	EU A	0,92180 55	32.186,8 0	386.261.815,0 0	112.228.350,0 0	437.509.675,0 0	658.146.250,0 0	263.055.442, 00	1.857.201.532,0 0
TOT AL	EU A		211.390, 02	7.225.002.44 7,95	1.858.221.068, 31	674.686.231,4 2	8.028.319.274, 47	2.665.456.212, 68	20.451.685.23 4,83
				35,3%	9,1%	3,3%	39,3%	13,0%	

Fonte: Elaborado pelo autor, com dados de ANTT (2022).

Estudos prévios sobre o setor, a exemplo de Silva, Macambira e Rocha (2008), concluem, com base nos resultados dos modelos DEA, que as operadoras de ferrovias brasileiras especializadas no transporte de minério e *commodities* agrícolas seriam mais eficientes do que as que operam no transporte mais diversificado de produtos. Além disso, Paixão e Khoury (2008), ao utilizarem o modelo DEA CCR para avaliar a eficiência no transporte ferroviário de cargas no Brasil, indicam que ferrovias de menor extensão seriam mais eficientes.

Para verificar essas hipóteses trazidas pela literatura, a tabela 4 traz os valores das médias em geral, das médias das concessionárias nacionais e das empresas americanas, segregadas por tipo de carga *commodities* (aquelas que mais de 90% da carga se refere a *commodities*) e não *commodities* e por extensão pequena (aquelas de tem menos de 5% da extensão da malha total) ou grande extensão, a partir das estimações elaboradas neste trabalho. Foram realizados testes de diferenças de média para observar se há diferenças

estatisticamente significativas entre esses atributos, conforme apontado na revisão de literatura.

Tabela 4: Médias dos Escores de Eficiência por Tipo de Carga e Extensão da Ferrovia

Empresas	Escore médio	p-valor	Empresas	Escore médio	p-valor
1) Brasileiras			1) Brasileiras		
a) <i>Commodities</i>	0,817464	0,2205	c) Pequenas	0,845386	0,0825
b) Não <i>commodities</i>	0,395220		d) Extensas	0,296924	
2) Americanas			2) Americanas		
a) <i>Commodities</i>	0,921806	0,9036	c) Pequenas	0,998899	0,8542
b) Não <i>commodities</i>	0,947058		d) Extensas	0,931640	
3) Todas em conjunto			3) Todas em conjunto		
a) <i>Commodities</i>	0,834854	0,3743	c) Pequenas	0,867317	0,2380
b) Não <i>commodities</i>	0,625153		d) Extensas	0,585431	

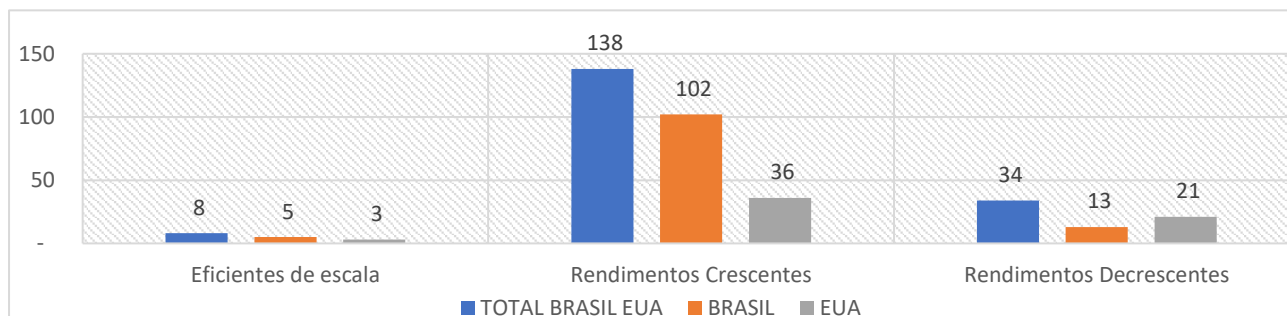
Fonte: Elaborado pelo autor

No entanto, os resultados de p-valor apresentados na tabela 4 sugerem que a hipótese nula é verdadeira, ou seja, que não existe uma diferença estatisticamente significativa, considerando que resultados de p-valor foram maiores do que 5%. Assim, pode se concluir que, a partir da amostra utilizada no presente estudo, não foram observadas diferenças relevantes de eficiência, seja no tocante ao tipo de carga ou à extensão da malha, tanto para o caso geral, como considerando isoladamente as empresas brasileiras ou americanas.

5.2 Rendimentos Locais de Escala

O gráfico 4 apresenta um resumo dos rendimentos locais de escala, considerando-se os resultados de todo o período conjuntamente, segregando-os em três níveis: retornos crescentes, escala ótima e retornos decrescentes de escala. Importante esclarecer que, como são 18 empresas acompanhadas por 10 anos, temos 180 observações nesse caso agregado. Como se pode observar, a menor parte das DMU's referentes as empresas brasileiras (4,2%) - apenas a RMN (2018, 2019), EFVM (2018) e EFC (2018, 2020), assim como das americanas (5,0%) - CSX (2014, 2019) e CNR (2014), demonstraram atuar na escala ótima. Assim, elas demonstram que são eficientes do ponto de vista da escala.

Gráfico 4: Rendimentos Locais de Escala



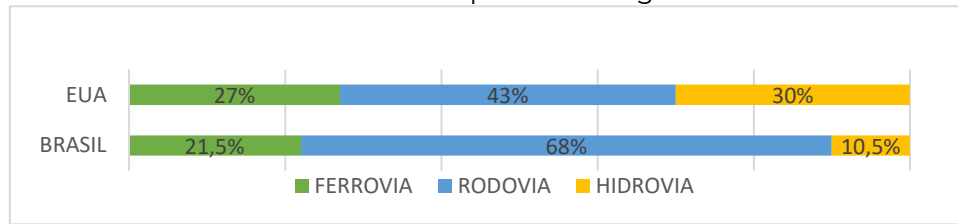
Fonte: Elaborado pelo autor

A maioria das empresas brasileiras (85%) e americanas (60%) apresentou retornos crescentes à escala, ou seja, isso acontece quando um dado aumento de insumos gera uma elevação proporcionalmente maior para a produção. Por outro lado, 11% das empresas brasileiras e 35% das empresas americanas apresenta retornos decrescentes à escala, situação caracterizada por um aumento de insumos que gera ampliação menos do que proporcional na produção.

Esse panorama demonstra que a maior parte das empresas, tanto americanas quanto nacionais, ainda precisa crescer. No entanto, o porte das empresas americanas é substancialmente maior do que o das brasileiras, o que ilustra o grande potencial de produtividade que um crescimento da malha, em boa condição de operação, pode trazer para o Brasil. O Brasil apresenta baixa densidade da malha ferroviária (2,65 km/1000km²) se comparado a países de dimensões continentais, em especial o EUA (21,50 km/1000km²) que tem a densidade da malha 8 vezes maior do que a do Brasil (ANTF, 2022b).

Após quase 30 anos de concessão à iniciativa privada, as ferrovias ampliaram a participação na matriz de transporte de cargas do Brasil, que corresponde hoje a 21,5% ANTF (2022b). No entanto, durante décadas, o Brasil investiu pesado em rodovias, deixando de lado outros modos de transporte para a movimentação de cargas dentro do país. Esse é um fator que pode explicar, pelo menos em parte, o grande lapso de eficiência a favor dos EUA, revelado na presente análise, para o setor ferroviários dos dois países.

Gráfico 5: Matriz de Transporte de Carga - Brasil x EUA



Fonte: Elaborado pelo autor, com dados de ANTF (2022b)

5.3 Evolução de Produtividade

As análises precedentes evidenciaram uma larga diferença de *performance* técnica entre as concessionárias brasileiras e as empresas americanas, com uma possível, mesmo que ligeira, tendência de aproximação. Essa seção se debruça de forma mais atenta sobre essa última questão, por meio da observação de como evoluiu a produtividade entre as empresas analisadas. Para isso, calculou-se o Índice de Produtividade de Malmquist para as 18 empresas de transporte ferroviários, comparando a situação das empresas no período de 2013 a 2022, permitindo analisar as mudanças ao longo do período, ou seja, deslocamento da fronteira tecnológica ou melhoras de eficiência. Quando o valor do Índice Malmquist é maior que 1, significa que houve crescimento na produtividade.

A Tabela 5 mostra os valores médios do Índice de Malmquist das empresas brasileiras e americanas, bem como a sua decomposição em índice de mudanças de eficiência técnica e índice de mudanças de tecnologia, comparando-se o ano inicial e o ano final analisados.

Os resultados apontam que houve uma piora geral de produtividade no Brasil da ordem de 6,4%, enquanto para as empresas americanas observa-se uma melhora de cerca de 7,4%, quando se verifica a média dos valores obtidos do índice de Malmquist. As empresas brasileiras ocuparam, durante o período (2013-2022), posições abaixo das médias dos índices, melhorando em 2016 e 2018 com aumento de 2,5% e 1,7%, respectivamente, caindo em 2019. Esta situação começa a se reverter a partir de 2020, terminando em 2022 com 2,7% acima da média no período.

Tabela 5: Resultados do Índice de Malmquist (2013 x 2022)

2013-2022	IM	ME	MT
EFC	0,850642	1,000000	0,850642
EFPO	1,021333	1,085577	0,940821
EFVM	0,953108	1,000000	0,953108
FCA	0,806843	0,832810	0,968819
FNSTN	0,773835	0,748986	1,033177
FTC	1,110421	1,122403	0,989324
FTL	0,928786	0,950573	0,977080
MRS	0,974315	1,069368	0,911113
RMN	0,596566	0,704371	0,846947
RMO	1,203507	1,224431	0,982911
RMP	1,377617	1,458710	0,944408
RMS	0,639679	0,654646	0,977137
BNSF	1,103851	1,019303	1,082947
UPR	1,062485	0,981277	1,082758
CSX	1,038575	1,000000	1,038575
NSR	1,120873	1,033836	1,084188
KCS	0,951083	0,962121	0,988528
CNR	1,166972	1,000000	1,166972

Fonte: Elaborado pelo autor

(*) O índice de Malmquist (IM) pode ser decomposto em mudanças de eficiência (ME) e mudanças tecnológicas (MT)

A mudança da eficiência técnica, representada pela média dos valores de ME para as empresas brasileiras e americanas foi de 0,987656 e 0,999423, respectivamente, o que demonstra que ambas pioraram sua eficiência no período. Isso talvez tenha ocorrido, no caso brasileiro, por insuficiência de investimentos em infraestrutura, como já se discutiu, pois à medida que as demandas por transporte crescem, os investimentos deveriam acompanhar. Analisando isoladamente cada DMU, observa-se que as empresas brasileiras FTC, RMO e RMP tiveram acréscimo de 12,24%, 22,44% e 45,87% respectivamente. Já as empresas americanas, analisadas as DMU's isoladamente, não tiveram crescimento representativo do índice de mudança de eficiência técnica.

No caso das empresas nacionais que demonstraram evolução de eficiência, a situação revela alguma complexidade e ilustra que é mais fácil evoluir quando se parte de um patamar mais baixo. Retomando os dados mostrados na tabela 1, constata-se que a FTC, que avançou 12,24% no período, parte de um patamar elevado de eficiência e a mantém alta em todo o período; já a RMP, que foi quem mais avançou (45,87%), ao contrário, apresentou baixa eficiência em todo o intervalo. A RMO, por sua vez, avançou 22,44% em termos de eficiência e demonstrou um índice de eficiência mediana no intervalo de análise.

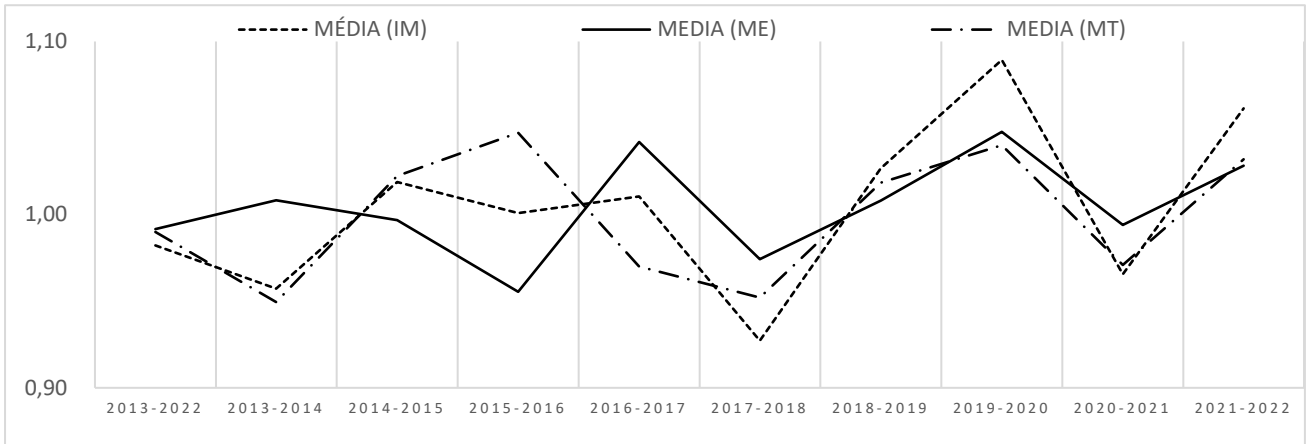
Isso demonstra que não há necessariamente um padrão específico nessa evolução, podendo estar mais relacionada à capacidade de gestão dessas empresas, ponto que poderia ser aprofundado em trabalhos futuros.

Os índices de mudança tecnológica (MT), obtidos na Tabela 4, indicam uma involução tecnológica de quase todas as empresas brasileiras, com exceção da FNSTN, que apresentou resultado maior do que 1 (1,0331). Esse resultado demonstra que as empresas brasileiras não acompanharam a evolução tecnológicas das empresas americanas, que apresentaram índice médio de 1,0739 no período analisado.

Observando-se o comportamento dos índices das concessionárias nacionais, é possível questionar se a falta de inovação e de abertura para novas empresas teriam contribuído para essa situação, pois há quase 30 anos as mesmas empresas dominam o setor, que não acompanhou a inovação trazida pelas novas tecnologias. O novo marco legal pode mudar esta situação, pois visa facilitar a devolução de trechos antieconômicos que não são utilizados pelo concessionário, podendo ser repassados a terceiros para exploração do serviço, gerando mais concorrência e investimentos com a ampliação e a renovação da malha ferroviária (EBC, 2021)

O gráfico 6 permite observar a evolução temporal do índice de Malmquist (IM) médio, assim como a sua decomposição entre evolução da eficiência (ME) e da mudança tecnológica (MT) para cada ano da amostra. De uma forma geral, observa-se que o IM acompanha mais de perto a evolução tecnológica (MT), apesar das mudanças de eficiência (ME) também possuírem influência na sua trajetória. Essa prevalência relativa da evolução tecnológica sobre o comportamento da produtividade do setor, como se analisou, tem pesado sobre a realidade das empresas nacionais.

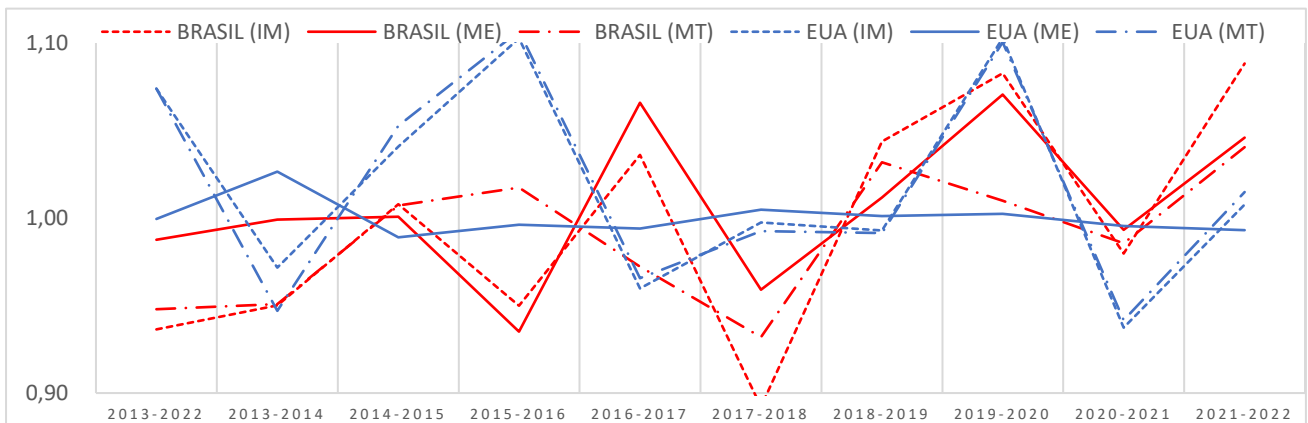
Gráfico 6: Decomposição do Índice de Malmquist (Média)



Fonte: Elaborado pelo autor

O gráfico 7, por sua vez, apresenta a evolução do índice de produtividade (IM) médio das empresas brasileiras e americanas, assim como a sua decomposição (ME e MT).

Gráfico 7: Decomposição do Índice de Malmquist (BR x EUA)



Fonte: Elaborado pelo autor

De maneira geral, a separação entre empresas nacionais e americanas deixa ainda mais nítida a associação do índice de produtividade geral (IM) e a dinâmica da evolução tecnológica (MT). No caso dos EUA, observa-se uma nítida associação entre esses índices, uma vez que, do ponto de vista da eficiência, tem-se grande estabilidade em torno de 1, ou seja, pouca coisa se alterou nesse aspecto para as empresas americanas, já com elevados níveis de eficiência. No caso das concessionárias brasileiras, há maior variabilidade em todos os índices, mas fica também evidenciada a próxima relação do índice geral (IM) à evolução tecnológica (MT).

Pode-se observar, também, que as empresas americanas apresentaram resultado melhor que as brasileiras, na média dos índices de evolução de eficiência técnica (ME) e evolução tecnológica (MT), sendo 0,999 e 1,073 respectivamente, ante 0,988 e 0,948 das nacionais. Neste caso, como os índices indicaram uma regressão tecnológica para as empresas brasileiras, é possível que a falta de investimento em obras de infraestrutura ferroviária tenha dificultado o acesso e o uso eficiente de insumos modernos. Entretanto, como destacado por Fulginiti e Perrin (1997), o nível de inovação depende dos preços de produtos e de insumos. O modo de infraestrutura de transporte ferroviário brasileiro sofreu grandes deteriorações nos últimos 30 anos (Silva, Falcão e Oliveira, 2021), o que pode ter resultado em desempenho desfavorável das ferrovias brasileiras, quando comparadas às americanas.

Finalmente, convém destacar que os resultados do presente trabalho trazem informações relevantes, que podem ajudar a direcionar o desenho de políticas públicas, a exemplo do programa Pró Trilhos, bem como o formato de novas concessões, que podem passar a focar em necessidades mais urgentes para a modernização do setor ferroviário nacional. Além disso, os achados deste trabalho podem ainda ajudar as fiscalizações realizadas pela ANTT, permitindo o melhoramento das rotinas de fiscalização com a criação e acompanhamento de indicadores.

Nessa direção, o estudo mostrou que o Brasil tem empresas com escala pequena (retornos crescentes de escala), portanto o crescimento da malha geraria ganhos de escala e, conseqüentemente, de produtividade. Além disso, o País tem ficado para trás do ponto de vista tecnológico, daí a importância de se ampliar os investimentos no setor.



6



6 CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho foi analisar a eficiência das empresas que operam com transporte ferroviário de carga no Brasil e nos Estados Unidos. Para isso, foi realizada análise de eficiência baseada em modelos DEA CCR, BCC e DRS e no índice de produtividade de Malmquist.

Foi possível observar que as empresas americanas possuem um desempenho médio superior ao das concessionárias nacionais. Essa conclusão corrobora outros estudos realizados que envolveram os dois países. Além disso, os resultados mostram que as ferrovias que operam com transporte de *commodities* não foram mais eficientes, estatisticamente, do que as demais que atuam com carga geral.

Considerando-se os resultados de retornos de escala, verifica-se que apenas 4,2% das empresas brasileiras e 5,0% das americanas demonstraram atuar na escala ótima. Por outro lado, a maioria das empresas brasileiras (85%) e americanas (60%) apresentou retornos crescentes à escala, ou seja, o aumento de insumos geraria uma elevação proporcionalmente maior da produção. Além disso, 10,8% das empresas brasileiras e 35% das americanas apresentam retornos decrescentes à escala, situação caracterizada por um aumento de insumos que gera ampliação menos do que proporcional na produção.

Esse panorama demonstra que a maior parte das empresas nacionais ainda precisa crescer e que o porte das empresas americanas

é substancialmente maior, o que ilustra o grande potencial de aumento de produtividade que um crescimento da malha pode trazer para o País. O Brasil apresenta baixa densidade da malha ferroviária se comparado a países de dimensões continentais, em especial com o EUA, que tem a densidade da malha 8 vezes maior do que a do Brasil (ANTF, 2022b).

A evolução da produtividade das ferrovias brasileiras e americanas, quando da análise do índice de Malmquist, revela que as ferrovias brasileiras tiveram uma *performance* pior do que as americanas. Esta afirmação é reforçada pela decomposição do índice, tendo as empresas brasileiras involuído do ponto de vista da eficiência e, principalmente, no tocante à tecnologia. Nesse sentido, as empresas nacionais mostram ter ocupado posições abaixo das médias dos índices. Esta situação começa a se reverter, aparentemente, a partir de 2020.

Ao observar o período 2013-2022, percebe-se que não houve uma melhora de produtividade, em média, para as empresas nacionais. Apesar da evolução satisfatória das empresas EFPO, FTC, RMO e RMP, a média dos valores das empresas brasileiras demonstrou involução de 6,36%. Já as empresas americanas tiveram uma melhora de 7,39%. Neste caso, das seis empresas dos EUA, apenas a KCS teve uma piora de produtividade, com IM médio de 0,9510.

O transporte ferroviário de cargas pode ter relevância no processo de desenvolvimento econômico brasileiro e as concessionárias cumprem papel significativo nesse processo, uma vez que a manutenção e a construção de novos trechos de ferrovias estiveram paralisadas por décadas, dependendo do interesse das próprias concessionárias, muitas vezes distante de uma gestão mais atuante. Portanto, de posse dos resultados deste trabalho é possível identificar pontos que precisam ser trabalhados para melhorar a eficiência e a produtividade das empresas de transporte ferroviário e, conseqüentemente, os serviços prestados. Nesse sentido, os resultados mostram-se bastante relevantes para o direcionamento das políticas públicas para o setor, a exemplo do programa Pró Trilhos, do desenho de concessões e da fiscalização por parte da ANTT.

Como forma de ampliar a abrangência desse estudo, em desenvolvimentos futuros, sugere-se a ampliação da base de dados para envolver empresas de transporte ferroviário de um maior número de países. Além disso, seria importante aprofundar-se na análise das



razões pelas quais as empresas americanas foram mais eficientes do que as nacionais, assim como acerca das causas que levaram à defasagem tecnológica das concessionárias nacionais. Além disso, sugere-se considerar inserir variáveis do ponto de vista ambiental, locomotivas e vagões, que permitam avaliar de forma mais precisa a eficiência das empresas de transporte ferroviário no Brasil e no mundo.



REFERÊNCIAS

REFERÊNCIAS

REFERÊNCIAS

ABATE, M. ; LIJESSEN, M. ; PELS, E. ; ROELEVELT A. **The impact of reliability on the productivity of railroad companies.** Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, v. 51, p. 41-49, 2013.

AMEMIYA, T. **Regression analysis when the dependent variable is truncated normal.** Econometrica, v. 41, n. 6, p. 997-1016, 1973.

ANTT - Agência Nacional de Transportes Terrestres - 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/antt/pt-br/assuntos/ferrovias/> Acesso em: 25 de junho de 2022.

ANTT - Agência Nacional de Transportes Terrestres - 2008. **Relatório Anual de Acompanhamento das Concessões Ferroviárias Ano 2008** - p. 279-280 - Disponível em: <https://www.gov.br/antt/pt-br/assuntos/ferrovias/relatorios-e-plano-trienal-de-investimentos-pti-1/2008/arquivos/terminologia-basica.pdf> Acesso em: 17 de julho de 2023.

ANTF – **Associação Nacional dos Transportadores Ferroviários** – 2022a. Disponível em: <https://www.antf.org.br/informacoes-gerais/> Acesso em: 25 de junho de 2022.

ANTF – **Associação Nacional dos Transportadores Ferroviários** – 2022b. Disponível em: <https://www.antf.org.br/informacoes-gerais/https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transporte->

terrestre_antigo/programa-de-autorizacoes-ferroviarias/> Acesso em: 25 de junho de 2022.

ANTF – **Associação Nacional dos Transportadores Ferroviários** – 2022c. Disponível em: <<https://www.antf.org.br/releases/prorrogacoes-dos-contratos-avancam-de-norte-a-sul/>> Acesso em: 16 de junho de 2023.

ANTF – **Associação Nacional dos Transportadores Ferroviários** – 2023. Disponível em: < <http://www2.antf.org.br/pdfs/presidenciaveis.pdf>> Acesso em: 14 de julho de 2023.

BANKER, R. D.; CHARNES, A.; COOPER, W. W. **Some models for estimating technical scale inefficiencies in Data Envelopment Analysis**. Management Science 30 (9), p.1078-1092, 1984.

BHANOT, N; SINGH, H. **Benchmarking the Performance Indicators of Indian Railway Container Business using Data Envelopment Analysis**. Benchmarking An International Journal. 21. 10.1108/BIJ-05-2012-0031, 2014.

BNSF Railway – 2023 - **fact_sheet** . Disponível em: < https://www.bnsf.com/bnsf-resources/pdf/about-bnsf/fact_sheet.pdf > Acesso em: 25 de maio de 2023.

BOGETOFT, P; OTTO, L.; **Benchmarking with DEA, SFA, and R**. New York: Springer, 2011.

BRANDÃO, L.C.; SOARES DE MELLO, J.C.C.B. **Modelo de Suavização da Fronteira DEA BCC para estudar as DMUs eficientes por default**. XLV Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 2013. Production, v. 25, n. 3, p. 585-597, jul./set. 2015 <http://dx.doi.org/10.1590/0103-6513.057710>

CALDAS, M. A. F.; P. D. GABRIELE; R. L. CARVALHAL E T. G. RAMOS (2012) **A eficiência do transporte ferroviário de cargas: uma análise do Brasil e dos Estados Unidos**. In Congreso Latino-Iberoamericano De Investigación Operativa-Simpósio Brasileiro De Pesquisa Operacional (Claio-Sbpo), v. 16, p. 1775-1786. Rio de Janeiro.

CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. **Measuring the Efficiency of Decision-Making Units**. European Journal of Operational Research, v. 2, p. 429-444, 1978.

CHU, X.; FIELDING, G.; LAMAR, B. 1992. **Medindo o desempenho do trânsito usando análise de envoltória de dados**. Pesquisa de Transporte Parte A 26A (3), 223–230

CN Rail – 2023 - **CN in Numbers**. Disponível em: < <https://www.cn.ca/en/about-cn/> > Acesso em: 25 de maio de 2023.

CSX Corporation – 2023 - **Network and Operations**. Disponível em: < <https://www.csx.com/index.cfm/about-us/company-overview/network-and-operations/#:~:text=Over%20a%2020%2C000%2Droute%2Dmile,provinces%20of%20Ontario%20and%20Quebec> > Acesso em: 25 de maio de 2023.

EBC - **Empresa Brasil de Comunicação** – 2021. Disponível em: < <https://agenciabrasil.ebc.com.br/politica/noticia/2021-12/presidente-sanciona-novo-marco-legal-do-transporte-ferroviario> > Acesso em: 13 de agosto de 2023.

FERREIRA, C. M. C. e A. P. GOMES (2009). **Introdução à análise envoltória de dados: teoria, modelos e aplicações**. Editora UFV. Viçosa.

FONTAN, R. G. O E R. A. Rosa (2018) **Análise da eficiência das ferrovias especializadas em transporte de minério de ferro e pelotas pertencentes às empresas mineradoras e usinas de pelotização por meio do método Data Envelopment Analysis (DEA)**. Disponível em: <http://repositorio.ufes.br/handle/10/10897>, Acesso em: 25/06/2022.

FULGINITI, L.E.; PERRIN, R.K. LDC. Agriculture: nonparametric Malmquist productivity indexes. **Journal of Development Economics**, v. 53, n. 2, p. 373-390, aug. 1997.

GIACONDINO SOLIGO LEZCANO TATIS, A. F., CORRENTE, J. E., & FUMES-GHANTOUS, G. (2022). Análise exploratória gráfica para dados assimétricos com presença de pontos discrepantes. **Revista Brasileira De Iniciação Científica**, 9, e022017.

HILMOLA, O.P. (2007). 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**, Vol. No. 3, pp. 205- 225.

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - 2023. Disponível em:

<https://www.ipea.gov.br/cartadeconjuntura/index.php/tag/comercio-exterior-do-agronegocio/#:~:text=O%20agroneg%C3%B3cio%20exportou%20US%2>

4%2014,21%20bilh%C3%A3o%20no%20m%C3%AAs%20passado. /
Acesso em: 14 de julho de 2023.

JAIN, P., CULLINANE, S., CULLINANE, K., 2008. The impact of governance development models on urban rail efficiency. **Transportation Research Part A42 (9)**, 1238–1250.

Kansas City Southern – 2023 – **Corporate**. Disponível em: <
<https://www.kcsouthern.com/en-us/about-us/corporate/cross-border>>
Acesso em: 25 de maio de 2023.

KRÜGER, Marcos Antônio – 2003 – **Sistemática de avaliação da viabilidade de empresa de transporte ferroviário de carga**. Dissertação de mestrado em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina- UFSC. Florianópolis, 176fl.

KIRCHNER, Leopoldo H. C. – 2013. **Avaliação da Eficiência dos Terminais de Contêineres Através da Análise Envoltória de dados e do Índice de Malmquist** – Universidade de Brasília – UnB.

Minfra – Ministério da Infraestrutura – 2023^a. **Histórico da Antiga RFFSA**. Disponível em: < <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/aceso-a-informacao/orgaos-extintos/rffsa/historico-da-antiga-rffsa> > Acesso em: 26 de fevereiro de 2023.

Minfra – Ministério da Infraestrutura – 2023b - **Histórico da Antiga RFFSA**. Disponível em: < https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transporte-terrestre_antigo/programa-de-autorizacoes-ferroviarias > Acesso em: 26 de fevereiro de 2023.

Norfolk Southern Corporation – 2023 - **DESCRIPTION OF BUSINESS**. Disponível em: < <http://www.nscorp.com/content/nscorp/en/about-us/corporate-profile.html> > Acesso em: 25 de maio de 2023.

OLIVEIRA, L. A. S. (2021). **Ferrovias Norte-Sul e os impactos econômicos dos terminais multimodais nos municípios do tramo norte**. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Desenvolvimento e Planejamento Territorial – MDPT – da Pontifícia Universidade Católica de Goiás – PUC Goiás.

OUM, TH, YU, C., 1994. Eficiência econômica das ferrovias e implicações para políticas públicas: um estudo comparativo das ferrovias dos países da OCDE. **Journal of Transport Economics and Policy** 28, 121–138.

PAIXÃO, R. B. E C. Y. KHOURY (2008). **Eficiência no Transporte Ferroviário de Cargas Brasileiro: um Estudo com a Análise Envoltória de Dados**. XXXII Encontro da ANPAD.

PEREIRA, A. M E MELLO, B. S (2014). **Eficiência Técnica Das Concessionárias Ferroviárias Nacionais Usando Análise Envoltória De Dados**. Relatórios De Pesquisa Em Engenharia De Produção v.14 n. A18 p. 246-256. Disponível em: http://www.producao.uff.br/images/RPEP_A18.pdf, Acesso em: 25/06/2022.

PERELMAN, S., PESTIEAU, P., 1988. Desempenho técnico em empresas públicas: um estudo comparativo de ferrovias e serviços postais. **Econômico Europeu Revisão** 32, 432–441

PINHEIRO, A. C. e RIBEIRO, L. C. **Regulação das Ferrovias. Rio de Janeiro**. Editora FGV. 2017. 1ª edição

RUGGIERO, J., 2004. Performance evaluation in education: modeling educational production. In: COOPER, W.W., SEIFORD, L.M., ZHU, J. (Eds.), **Handbook on Data Envelopment Analysis**. Kluwer Academic Publishers, Boston, pp. 265–298 (Capítulo 10).

SANTOS, M. S. (2011). **Avaliação da eficiência produtiva das ferrovias de carga no Brasil: uma aplicação da metodologia DEA**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes.

SILVA, F. G.; J. K. MACAMBIRA E ROCHA, C. H (2008). 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.

SILVA, F. G.; FALCÃO, V. A.; OLIVEIRA, I. K (2021). **Compreendendo os efeitos das ações regulatórias e da crise econômica de 2008 na dinâmica da eficiência e da produtividade das ferrovias brasileiras**. 35º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte da ANPET.

SIMAR, L.; WILSON, P.W. Estimation and inference in two-stage, semi-parametric models of production processes. **Journal of Econometrics** 136 (2007) 31–64.

SCHNEDLER, W. Likelihood estimation for censored random vectors. **Econometric Reviews**, v. 24, n. 2, p. 195-217, 2005.

SIMAR, L.; WILSON, P. W. Sensitivity analysis of efficiency escores: how to bootstrap in nonparametric frontier models. **Management Science**, v. 44, n. 1, p. 49-61, 1998.

SURFACE TRANSPORTATION BOARD – 2023 - **Reports & Data**. < <https://www.stb.gov/reports-data/economic-data/employment-data/#Urgent%20Issues%20Employment%20Data> > Acesso em: 25 de maio de 2023.

TOBIN, J. Estimation of relationships for limited dependent variables. **Econometrica**, v. 26, n. 1. p. 24-36, Jan. 1958.

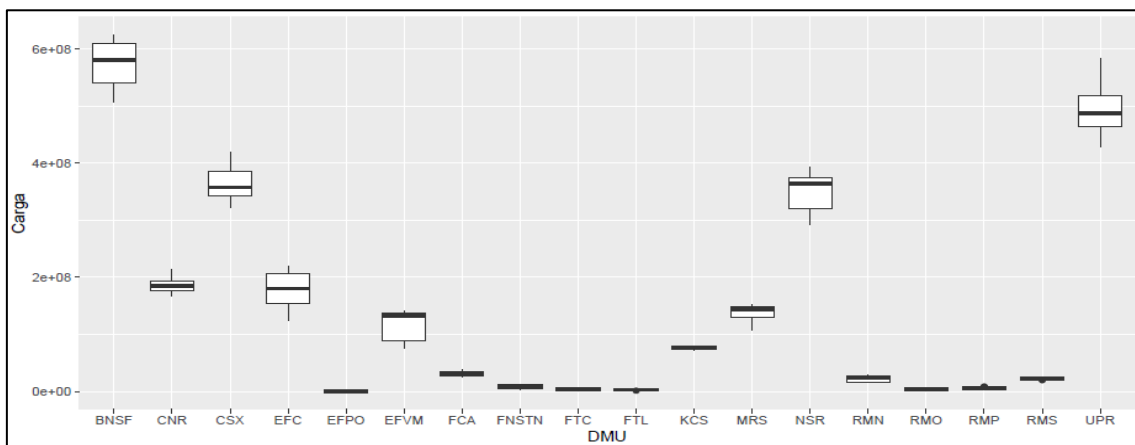
Union Pacific Railroad – 2023 - **Corporate Information**. Disponível em: < https://www.up.com/aboutup/corporate_info/uprover/index.htm > Acesso em: 25 de maio de 2023.

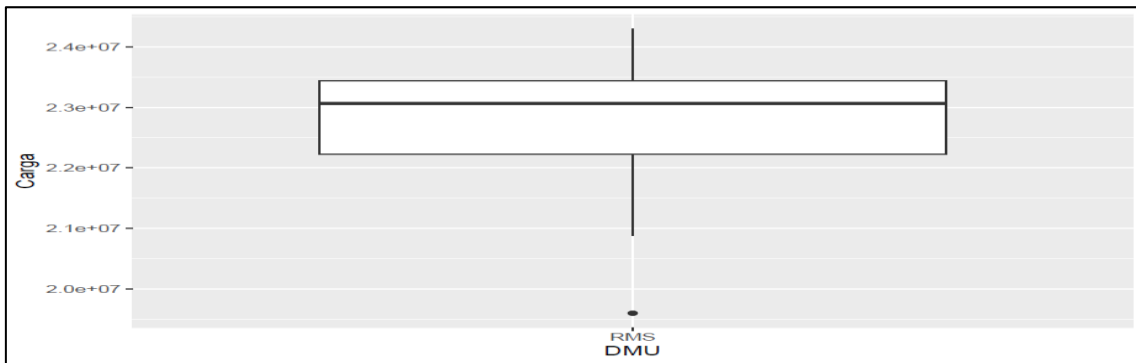
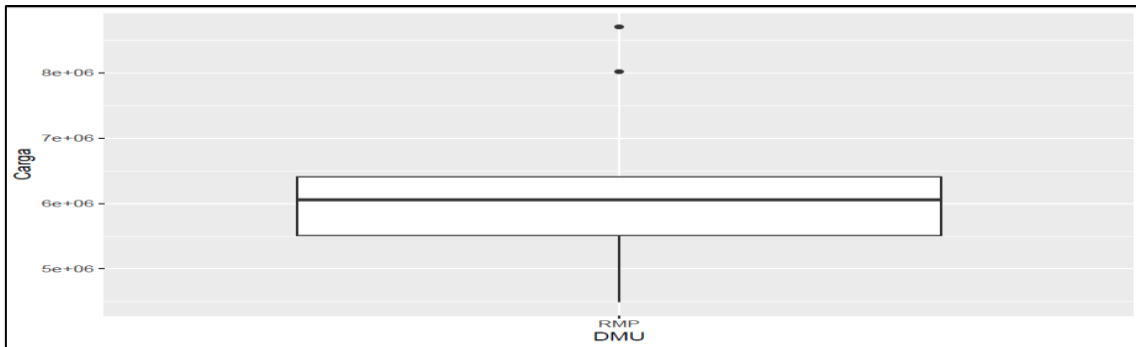
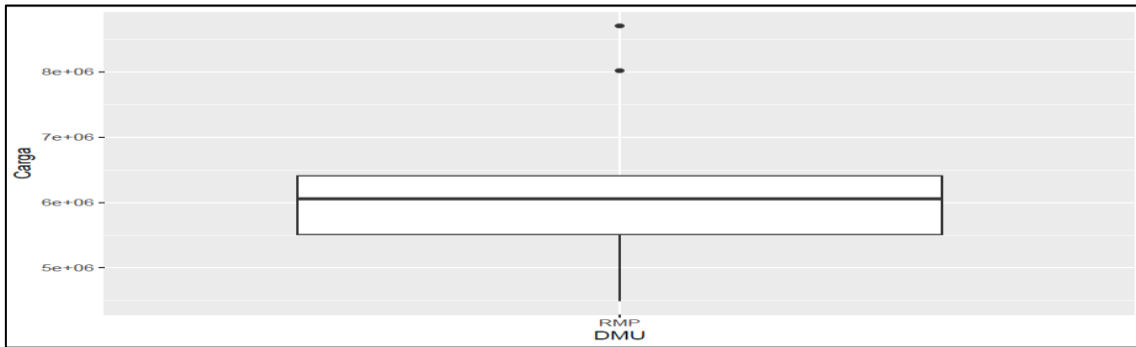
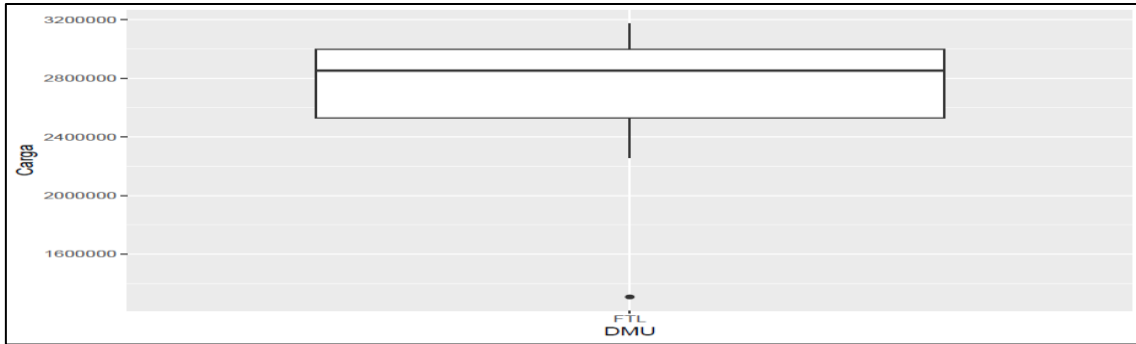
VITON, P. A. Technical efficiency in multi-mode bus transit: a production frontier analysis. **Transportation Research**, n. 31 B, p. 23-39, 1997

APÊNDICE

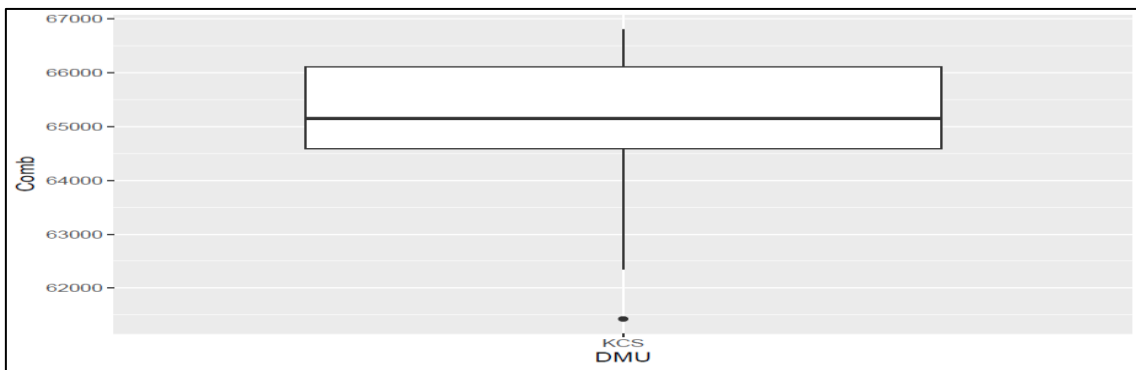
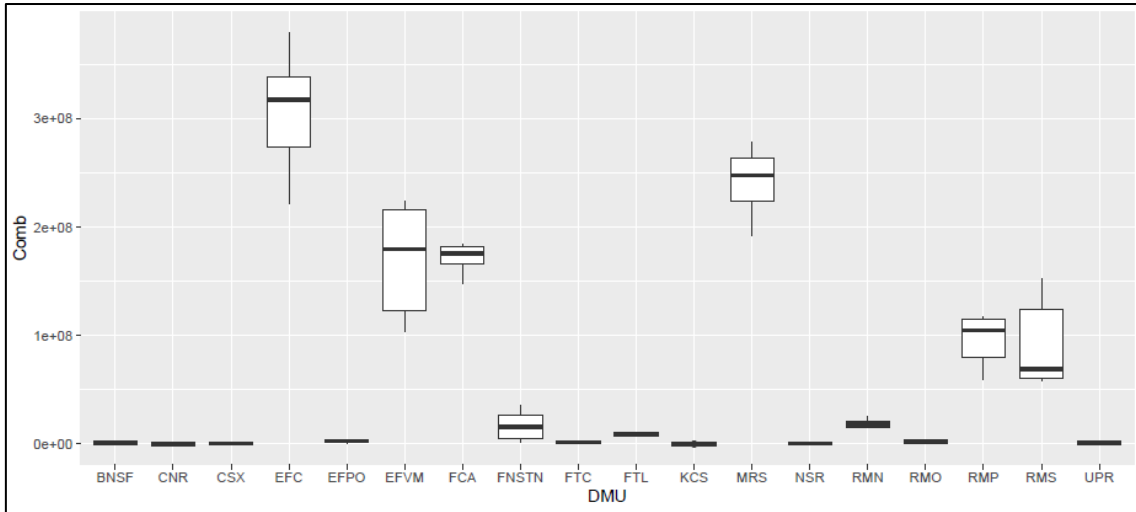
Apêndice

BOXPLOT – OUTLIERS DMUs (CARGA)

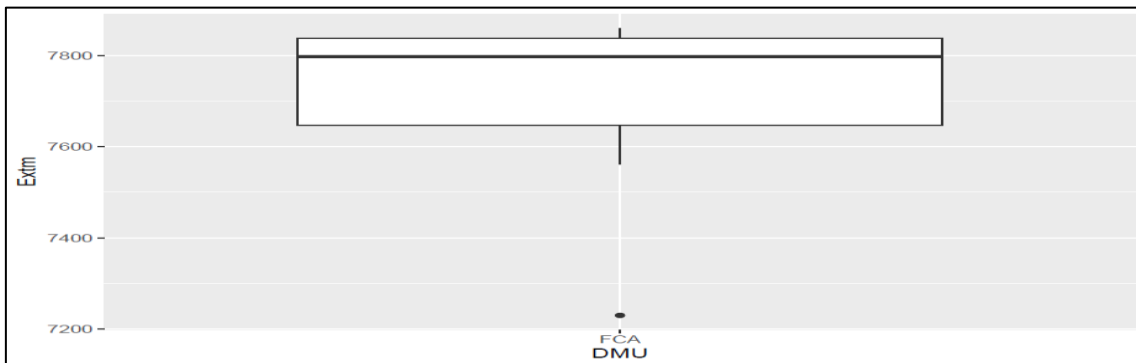
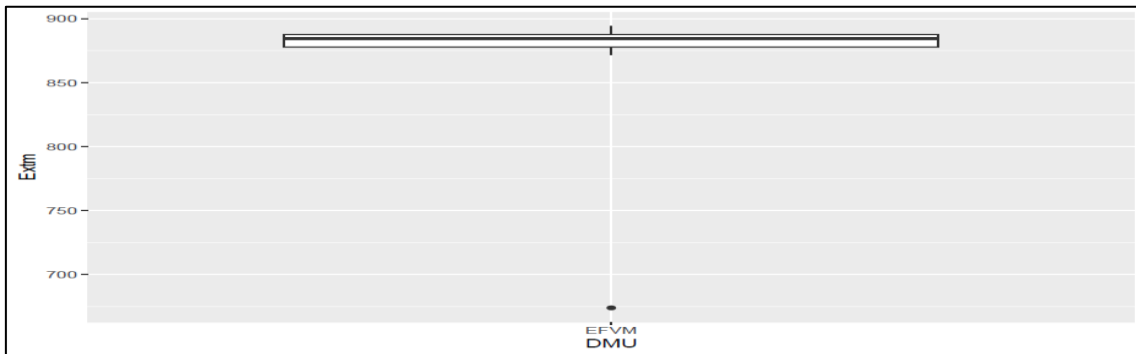
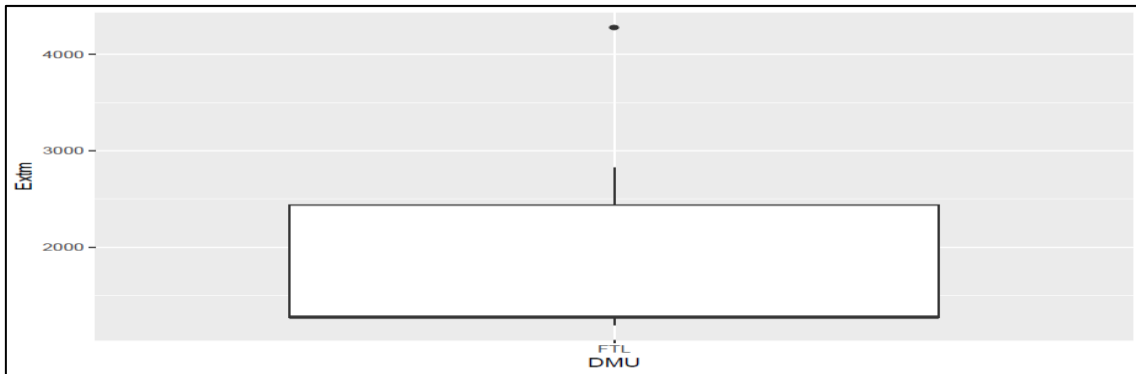
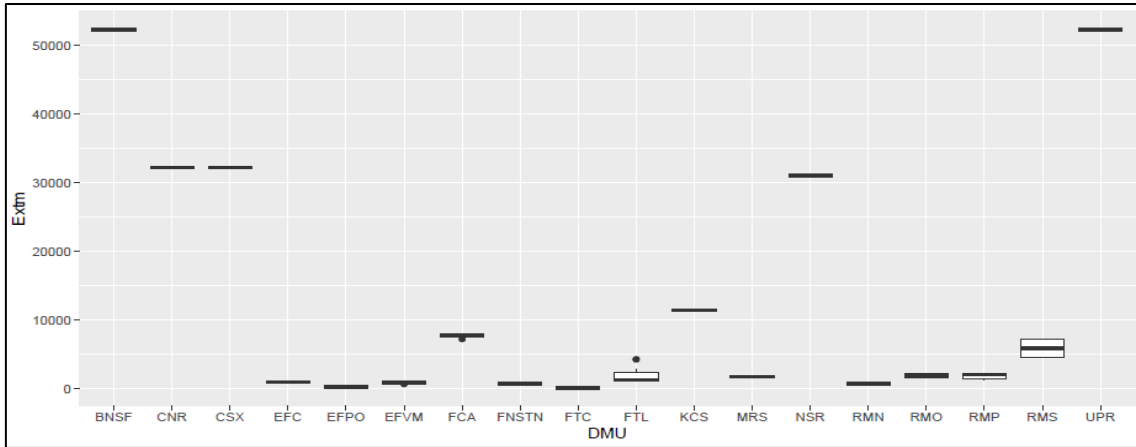




BOXPLOT – OUTLIERS DMUs (COMBUSTÍVEL)

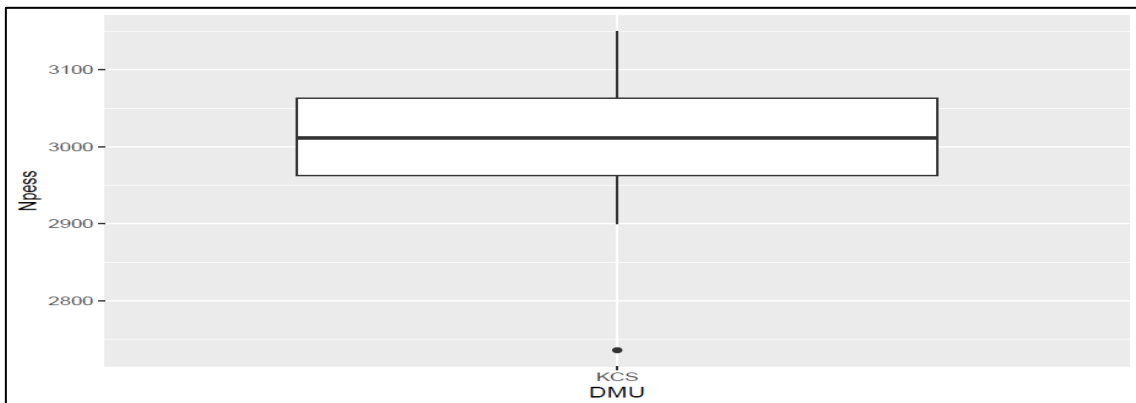
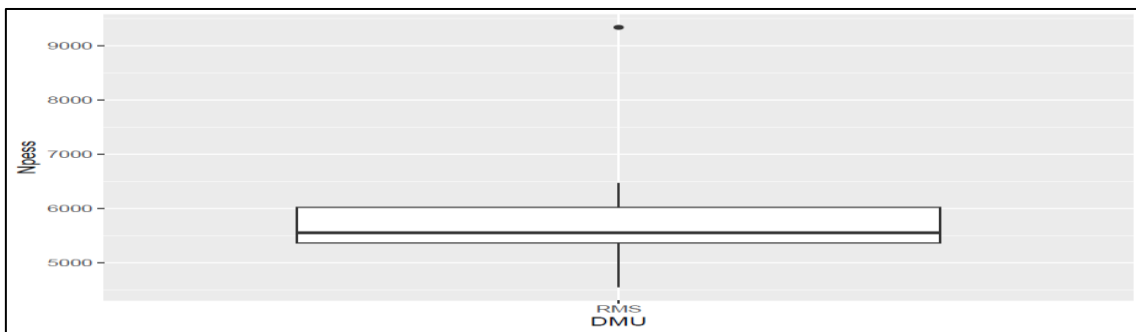
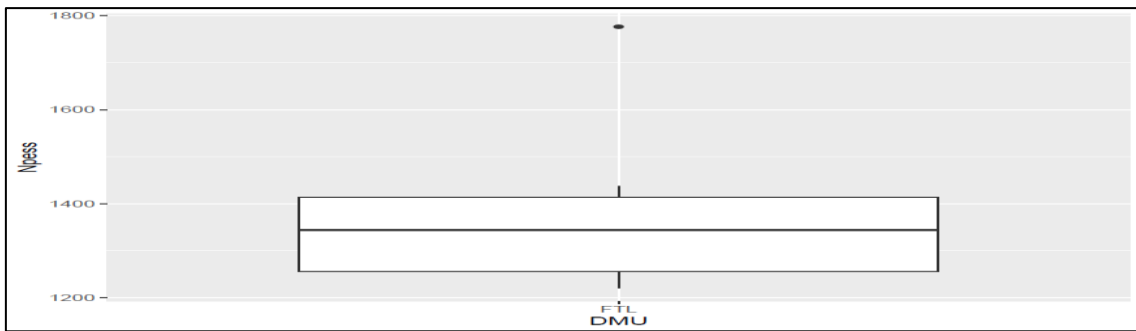
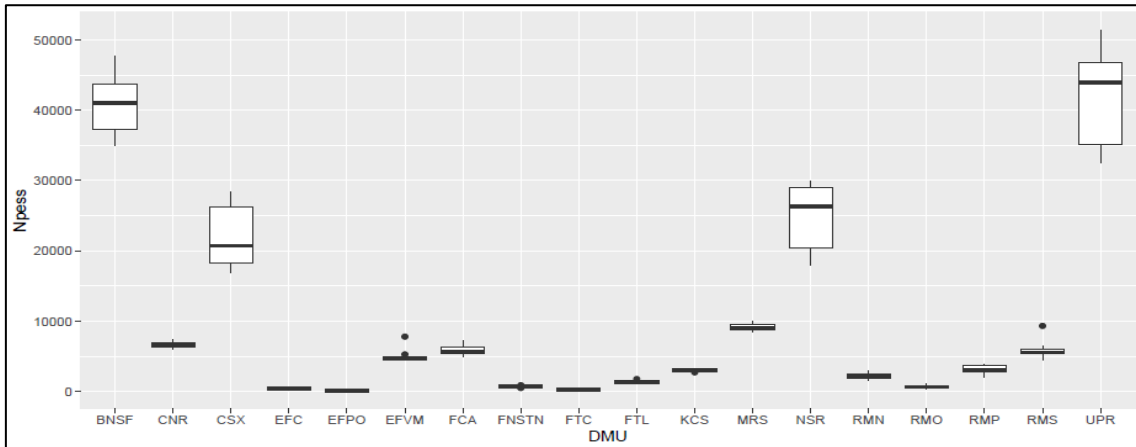


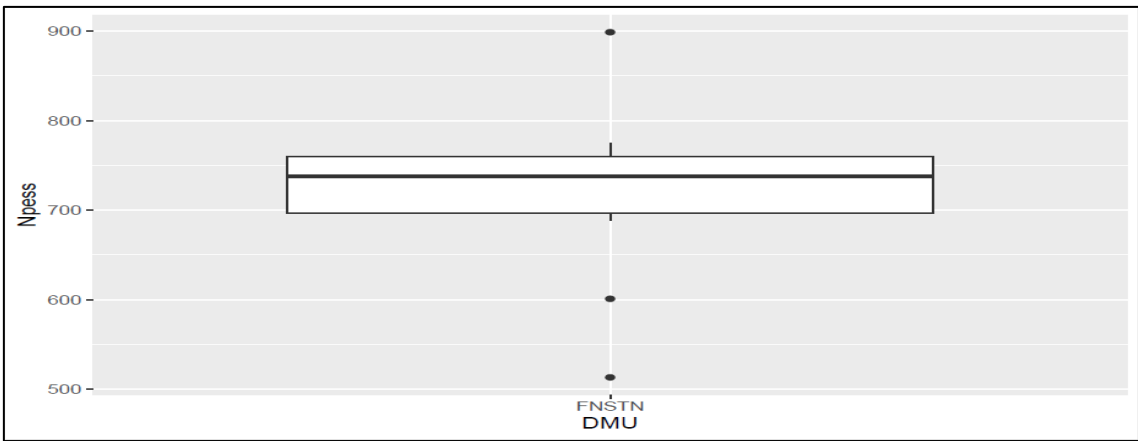
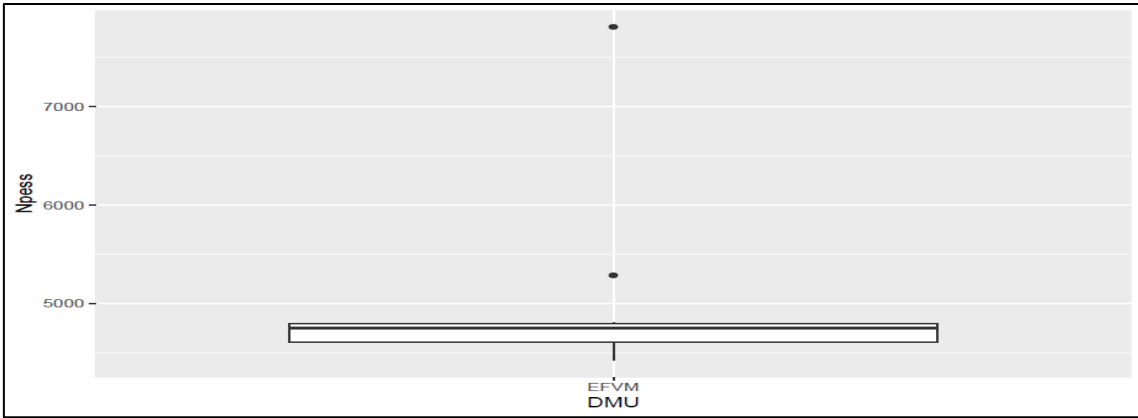
BOXPLOT – OUTLIERS DMUs (EXTENÇÃO DA MALHA)





BOXPLOT – OUTLIERS DMUs (PESSOAL)







idn

Bo
pro
cit
ref
Nos
são

idp

A ESCOLHA QUE
TRANSFORMA
O SEU CONHECIMENTO