

UNIVERSIDADE CANDIDO MENDES – UCAM  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PESQUISA OPERACIONAL E  
INTELIGÊNCIA COMPUTACIONAL  
CURSO DE MESTRADO EM PESQUISA OPERACIONAL E INTELIGÊNCIA  
COMPUTACIONAL

DENILTON MACÁRIO DE PAULA

**A EFICIÊNCIA DAS RODOVIAS FEDERAIS BRASILEIRAS COM  
TRECHO SOB CONCESSÃO: UMA ANÁLISE SOB A ÓTICA DO  
USUÁRIO NO PERÍODO DE 2018**

CAMPOS DOS GOYTACAZES, RJ.

Março de 2021

UNIVERSIDADE CANDIDO MENDES – UCAM  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PESQUISA OPERACIONAL E  
INTELIGÊNCIA COMPUTACIONAL  
CURSO DE MESTRADO EM PESQUISA OPERACIONAL E INTELIGÊNCIA  
COMPUTACIONAL

DENILTON MACÁRIO DE PAULA

**A EFICIÊNCIA DAS RODOVIAS FEDERAIS BRASILEIRAS COM  
TRECHO SOB CONCESSÃO: UMA ANÁLISE SOB A ÓTICA DO  
USUÁRIO NO PERÍODO DE 2018**

Dissertação apresentada ao Programa de  
Mestrado em Pesquisa Operacional e  
inteligência Computacional da  
Universidade Candido Mendes –  
Campos/RJ, para obtenção do grau de  
MESTRE EM PESQUISA OPERACIONAL  
E INTELIGÊNCIA COMPUTACIONAL.

Orientador: Prof. Ítalo de Oliveira Matias, D.Sc.

CAMPOS DOS GOYTACAZES, RJ.

Março de 2021

### **Catálogo na fonte**

Preparada pela Biblioteca da **UCAM – CAMPOS** 013/2022

Paula, Denilton Macário de.

A eficiência das rodovias federais brasileiras com trecho sob concessão: uma análise sob a ótica do usuário no período de 2018. / Denilton Macário de Paula. – 2021.

117 f.

Orientador(a): Ítalo de Oliveira Matias.

Dissertação de Mestrado em Pesquisa Operacional e Inteligência Computacional – Universidade Candido Mendes – Campos. Campos dos Goytacazes, RJ, 2021.

Referências: f. 104-108.

1. Rodoviais federais. 2. Concessões rodoviárias. I. Matias, Ítalo de Oliveira, orient. II. Universidade Candido Mendes – Campos. III. Título.

CDU – 656.11

Bibliotecária Responsável: Flávia Mastrogirolamo CRB 7<sup>a</sup>-6723

DENILTON MACÁRIO DE PAULA

**A EFICIÊNCIA DAS RODOVIAS FEDERAIS BRASILEIRAS COM  
TRECHO SOB CONCESSÃO: UMA ANÁLISE SOB A ÓTICA DO  
USUÁRIO NO PERÍODO DE 2018**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Pesquisa Operacional e Inteligência Computacional, da Universidade Candido Mendes – Campos/RJ, para obtenção do grau de MESTRE EM PESQUISA OPERACIONAL E INTELIGÊNCIA COMPUTACIONAL.

Aprovado em 23 de março de 2021.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Ítalo de Oliveira Matias, D.Sc. – Orientador  
UCAM – Universidade Candido Mendes

---

Prof. Aldo Shimoya D.Sc.  
UCAM – Universidade Candido Mendes

---

Prof. Adonai José Lacruz, D.Sc. - Coorientador  
IFES – Instituto Federal do Espírito Santo

---

Profa. Ketter Valéria Zuchi Caliarí Miranda, D.Sc.  
Unisales – Centro Universitário Católico de Vitória

CAMPOS DOS GOYTACAZES, RJ

Março de 2021

Inicialmente dedico este trabalho a meu Pai Celeste; sem ele eu não teria capacidade para desenvolver este trabalho.

Dedico aos meus pais, Newton Macário de Paula (in memoriam) e Delza Silva de Paula, pois é graças ao seu esforço que hoje posso concluir o meu curso.

Dedico a minha esposa, parceira e amiga Alessandra Maria Pereira de Paula, pois teve toda a paciência e amor durante toda essa minha jornada.

Dedico também a meus filhos Amon, Amanda e Agnes, por cada abraço apertado que me davam ao me ver no escritório lendo, estudando e escrevendo e sempre diziam, papai está trabalhando.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao meu orientador e amigo, o Professor Ítalo por ter aceitado acompanhar-me neste projeto. O seu empenho foi essencial para a minha motivação à medida que as dificuldades iam surgindo ao longo do percurso.

Expresso minha gratidão a todos os professores e demais profissionais do mestrado em pesquisa operacional e inteligência computacional da Universidade Candido Mendes por todo o apoio que me deram ao longo da realização do meu trabalho.

Agradeço também aos meus amigos do Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, Professores, Técnicos Administrativos e Alunos. Seus exemplos me fortaleceram e me impulsionaram a ser um servidor melhor.

Agradeço ainda aos meus amigos Orpheu (por suas orações), André (por sua disposição em me ajudar não importando a hora que lhe pedia ajuda), Adonai (por ser um tutor e mestre em me fazer ver que sim era possível) e Wilson (pelas inúmeras conversas em cada trilha e caminhada que fazíamos juntos). Sim, tudo isso, por mais simples que talvez possa ter sido, me ajudou muito.

“O Segredo é simples: ponha a sua confiança no Senhor, faça o seu melhor, e depois deixe o restante com ele.” (Joseph B. Wirthlin – Membro do quorum dos 12 Apóstolos de A Igreja de Jesus Cristo dos Santos dos Últimos Dias).

## RESUMO

A análise da eficiência de concessões públicas de rodovias brasileiras data desde 1990, quando as primeiras concessões foram aprovadas e iniciaram os trabalhos propostos com a ideia principal de melhoria das rodovias, redução dos índices de acidentes e por fim das fatalidades. É muito comum que cada usuário, ao atravessar a praça do pedágio realize uma avaliação direta do estado da rodovia de que ele está usufruindo com o valor pago para poder transitá-la. No entanto, a análise de um processo de concessão é bem mais complexa e busca detalhes que envolvem toda a administração do contrato. Sendo assim, o referido trabalho busca identificar a eficiência relativa das rodovias federais brasileiras com trecho sob concessão até o ano de 2018 sob a ótica do usuário. Para que esse objetivo fosse de fato alcançado, buscou-se selecionar as variáveis de *input* e *output* do modelo de eficiência; processamos a eficiência relativa por meio de análise envoltória de dados – DEA com aplicação do modelo CCR; sendo os mesmos validados por meio da regressão tobit. O estudo analisou treze (13) rodovias com trechos sob concessão desde 1994 até o ano de 2018, perfazendo assim as etapas 1, 2 e 3 dos processos de concessão pública de rodovias federais brasileiras. Foram usados dados secundários produzidos pela Confederação Nacional de Transportes (CNT), Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT) e Polícia Rodoviária Federal (PRF). Acrescenta-se que foram usados os dados brutos da “Pesquisa CNT de Rodovias 2018”, fornecidos pela CNT. A análise DEA foi fundamental para identificar as rodovias BR-060 e BR-381 *benchmark* do estudo proposto e entender a relação existente entre o que o usuário paga e o que ele recebe das concessionárias. Destaca-se ainda características entre os contratos em cada etapa de concessão e apresenta um estudo detalhado para as concessionárias, órgãos públicos de controle e usuários pessoa física ou jurídica.

Palavras-chave: eficiência relativa; DEA; rodovias federais; concessões rodoviárias.

## ABSTRACT

The analysis of the efficiency of public concessions for Brazilian highways dates back to the 1990s, when the first concessions were approved and the proposed work started with the main idea of improving the highways, reducing accident rates and ultimately fatalities. It is very common that each user, when crossing the toll plaza performs a direct assessment of the state of the highway that he is enjoying with the amount paid to be able to transit it. However, the analysis of a concession process is much more complex and seeks details that involve the entire administration of the contract. Therefore, this work seeks to identify the relative efficiency of Brazilian federal highways with a stretch under concession until 2018 from the user's perspective. In order for this objective to be achieved, we sought to select the input and output variables of the efficiency model; we process the relative efficiency by means of data envelopment analysis - DEA with application of the CCR model; being validated through tobit regression. The study analyzed thirteen (13) highways with sections under concession from 1994 to 2018, thus completing steps 1, 2 and 3 of the public concession processes for Brazilian federal highways. Secondary data produced by the National Transport Confederation (CNT), the National Land Transport Agency (ANTT) and the Federal Highway Police (PRF) were used. It should be added that the raw data from the "CNT Road Survey 2018", provided by CNT, were used. The DEA analysis was essential to identify the BR-060 and BR-381 benchmarks of the proposed study and to understand the relationship between what the user pays and what he receives from the concessionaires. It also highlights characteristics among the contracts in each concession stage and presents a detailed study for the concessionaires, public control agencies and individual or corporate users.

Keywords: relative efficiency; DEA; federal highways; highway concessions.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Base Conceitual .....	22
Figura 2: Área territorial e extensão das rodovias do Brasil por Região Geográfica..	25
Figura 3: Densidade da malha rodoviária pavimentada por país (valores em km/1.000 km <sup>2</sup> ) .....	25
Figura 4: Percentual da extensão das rodovias por classificação .....	26
Figura 5: Percentual da extensão das rodovias por classificação .....	26
Figura 6: Percentual da extensão das rodovias por classificação .....	27
Figura 7: Percentual da extensão das rodovias por classificação .....	30
Figura 8: Percentual da extensão das rodovias por classificação .....	32
Figura 9: Percentual da extensão das rodovias por classificação .....	34
Figura 10: Resultado de Busca de Artigos .....	52
Figura 11: Fluxo variáveis de uma DMU .....	70
Figura 12: Fórmula Produtividade .....	70
Figura 13: Fórmula Eficiência .....	71
Figura 14: Entrada e Saída Virtual .....	71
Figura 15: Fórmula Produtividade .....	72
Figura 16: Eficiência Relativa .....	72
Figura 17: Eficiência Maximizada .....	73
Figura 18: Restrições ao Modelo de Eficiência .....	74
Figura 19: Considerações no modelo de Eficiência Relativa .....	75
Figura 20: DMUj .....	76
Figura 21: Modelo Variáveis Duplas .....	76
Figura 22: Função Objetivo RATIO .....	77
Figura 23: Função Objetivo RATIO com Variáveis Duplas .....	77
Figura 24: Fronteira de Eficiência .....	78
Figura 25: Solução Admissível .....	78
Figura 26: Grupo de variáveis coletadas na Pesquisa CNT de Rodovias .....	82
Figura 27: Resumo esquemático dos procedimentos metodológicos .....	84
Figura 28: Boxplots Análise de Variáveis .....	87
Figura 29: Avaliação do Nível de Satisfação em % - Tela do Dashboard .....	88
Figura 30: Classificação das Rodovias por Índices - Tela do Dashboard .....	88
Figura 31: Pavimento BRs Sob Análise .....	89
Figura 32: Sinalização BRs Sob Análise .....	89

Figura 33: Geometria da Via BRs Sob Análise.....	90
Figura 34: Pedágio por km sob concessão BRs Sob Análise .....	90
Figura 35: Fonte: Pedágio Total BRs Sob Análise.....	91
Figura 36: Acidentes Fatais BRs Sob Análise .....	91
Figura 37: Acidentes Fatais Por Km Sob Concessão BRs Sob Análise.....	92
Figura 38: Trecho sob Concessão X Extensão Total .....	92
Figura 39: Trecho sob concessão por extensão total BRs Sob Análise.....	93
Figura 40: Fronteira de eficiência.....	96
Figura 41: Valor, alvo e folga do pedágio por km sob concessão das rodovias federais.....	97
Figura 42: Trecho sob concessão da rodovia RB-381 .....	99
Figura 43: Trecho sob concessão da rodovia BR-324 .....	99
Figura 44: Trecho sob concessão da rodovia BR-060 .....	101
Figura 45: Benchmark BR-060 e BR-381, Pior Eficiência BR-234.....	102

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Rodovias Federais Radiais.....	26
Quadro 2: Rodovias Federais Radiais Sob Concessão .....	27
Quadro 3: Rodovias Federais Longitudinais.....	28
Quadro 4: Rodovias Federais Longitudinais Sob Concessão .....	28
Quadro 5: Rodovias Federais Transversais .....	30
Quadro 6: Rodovias Federais Transversais Sob Concessão .....	31
Quadro 7: Rodovias Federais Diagonais.....	32
Quadro 8: Rodovias Federais Diagonais Sob Concessão .....	33
Quadro 9: Rodovias Federais De Ligação .....	35
Quadro 10: Rodovias Federais De Ligação Sob Concessão .....	35
Quadro 11: 1ª Etapa De Concessões Procofe .....	37
Quadro 12: 2ª Etapa De Concessões Procofe .....	39
Quadro 13: 3ª Etapa De Concessões Procofe .....	41
Quadro 14: 4ª Etapa De Concessões Procofe .....	42
Quadro 15: Evolução Nas Etapas Do Procofe .....	43
Quadro 16: Os 5 Artigos Mais Antigos Da Base.....	55
Quadro 17: Os 15 Artigos Mais Recentes Da Base .....	56
Quadro 18: Os 18 Artigos De Maior Relevância Da Base.....	58
Quadro 19: Compilação Dos A, B E C. ....	60
Quadro 20: Vantagens E Desvantagens Dea.....	69
Quadro 21: Amostras Da Pesquisa .....	80
Quadro 22: Operacionalização Das Variáveis.....	81

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tipo De Publicação .....	52
Tabela 2: Países Que Mais Publicam Sobre O Tema .....	53
Tabela 3: Autores Com Maiores Publicações.....	54
Tabela 4: Cronologia Das Publicações .....	54
Tabela 5: Caracterização Das Variáveis .....	86
Tabela 6: Correlação De Spearman.....	94
Tabela 7: Descrição Do Índice De Eficiência.....	95
Tabela 8: Folgas Dos Outputs.....	97

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCR	Associação Brasileira de Concessionária de Rodovias
ANTT	Agência Nacional de Transportes Terrestres
BCC	Banker, Charnes e Cooper – modelo BCC Retornos variáveis de escala
BOO	Build-Own-Operate
BOOT	Build-Own-Operate-Transfer
BOT	Build-Operate-Transfer
CCR	Charnes, Cooper e Rhodes – modelo CCR Retornos constantes de escala
CNT	Confederação Nacional do Transporte
CONCEBRA	Concessionária das Rodovias Centrais do Brasil S.A.
CONCEPA	Concessionária da Rodovia Osório-Porto Alegre S/A
CONCER	Companhia de Concessão Rodoviária Juiz de Fora – Rio S.A.
CPMF	Contribuição Provisória sobre Movimentação ou Transmissão de Valores e de Créditos e Direitos de Natureza Financeira
CRO	Concessionária Rota do Oeste
CRS	Constant Return to Scale - CCR
CRT	Concessionária Rio - Teresópolis S/A
DBFM	Design-Build-Finance-Maintenance
DBFO	Design-Build-Finance-Operate
DBO	Design-Build-Operate
DBOT	Design-Build-Operate-Transfer
DEA	Data Envelopment Analysis
DMU	Decision Making Unit
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
ECOSUL	Concessionária de Rodovias do Sul S/A
EPC	Engineering, Procurement, Construction
FRN	Fundo Rodoviário Nacional
HCM	Highway Capacity Manual

ICMS	Imposto sobre operações relativas à Circulação de Mercadorias e sobre prestações de Serviços de transporte interestadual e intermunicipal e de comunicação
IGP-DI	Índice Geral de Preços – Disponibilidade Interna
IGP-M	Índice Geral de Preços - Mercado
IPCA	Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
IPR	Instituto de Pesquisas Rodoviárias
IPVA	Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores
ISSQN	Imposto Sobre Serviços de Qualquer Natureza
MGO	Concessionária de Rodovias Minas Gerais Goiás S.A.
MID	Manual para Identificação de Defeitos de Revestimentos Asfálticos de Pavimentos
MS VIA	Concessionária de Rodovia Sul-Matogrossense S.A
NOVADUTRA	Concessionária da Rodovia Presidente Dutra S/A
PAC	Programa de Aceleração do Crescimento
PER	Programa de Exploração da Rodovia
PIB	Produto Interno Bruto
PIL	Programa de Investimentos em Logística
PND	Programa Nacional de Desestatização
PRF	Polícia Rodoviária Federal
PROCOFE	Programa de Concessões de Rodovias Federais
RDT	Recurso para o Desenvolvimento Tecnológico
ROT	Refurbish-Operate-Transfer
SNV	Sistema Nacional de Viação
TAC	Termo de Ajuste de Conduta
TBP	Tarifa Básica de Pedágio
TCP	Trecho de Cobertura da Praça
TCR	Taxa de Conservação Rodoviária
TCU	Tribunal de Contas da União
TIR	Taxa Interna de Retorno
VRS	Variable Return Scale - BCC
WEF	World Economic Forum

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>16</b>
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA.....	18
1.2 OBJETIVOS DA PESQUISA.....	19
<b>1.2.1 Objetivos gerais</b> .....	<b>19</b>
<b>1.2.2 Objetivos específicos</b> .....	<b>19</b>
1.3 JUSTIFICATIVA.....	19
1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA.....	20
1.5 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO.....	20
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>22</b>
2.1 BASE CONCEITUAL .....	22
<b>2.1.1 Rodovias federais com trechos sob concessão no Brasil</b> .....	<b>22</b>
2.1.1.2 Breve histórico das estradas e rodovias federais brasileiras .....	22
2.2 PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS E NOMENCLATURAS.....	24
2.3 AS ETAPAS DAS CONCESSÕES DE RODOVIAS FEDERAIS BRASILEIRAS .....	35
2.4 AGÊNCIA REGULADORA - A AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES.....	43
2.5 ANÁLISE GERAL SOBRE A EFICIÊNCIA DAS CONCESSÕES PÚBLICAS..	45
2.6 INDICADORES DE DESEMPENHO.....	47
<b>3 WEBIBLIOMINING</b> .....	<b>50</b>
3.1 AMOSTRA DA PESQUISA .....	51
3.2 PALAVRAS-CHAVE.....	51
3.3 RESULTADOS DA AMOSTRA .....	52
<b>3.3.1 Autores por número de publicação</b> .....	<b>53</b>
<b>3.3.2 Cronologias das publicações</b> .....	<b>54</b>
<b>3.3.3 Definindo o ponto de partida</b> .....	<b>54</b>

3.3.4 DISCUSSÃO DA BIBLIOMETRIA.....	65
3.3.5 RESULTADOS DA BIBLIOMETRIA .....	66
4 ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS .....	67
4.1 MODELOS DEA.....	73
5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	80
6 ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	86
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	102
7.1 CONCLUSÕES.....	102
7.2 TRABALHOS FUTUROS .....	103
REFERÊNCIAS.....	104
APÊNDICE A – SCRIPT PARA O SOFTWARE R .....	109
APÊNDICE B – RESULTADO DO PROCESSAMENTO DOS DADOS NO SOFTWARE R .....	112

## 1 INTRODUÇÃO

Embora o Brasil seja um país com dimensões continentais que justifiquem o uso de modais com alto volume de capacidade, tais como o modal ferroviário e o modal aquaviário, sua matriz logística utiliza fundamentalmente mais de 61% do transporte de cargas e mercadorias e mais de 95% dos deslocamentos de passageiros com a utilização do modal rodoviário (CNT, 2019). Os dados nos indicam então uma necessidade substancial de investimentos em infraestrutura de transporte buscando garantir a segurança de motoristas, passageiros e pedestres e a promoção do desenvolvimento e do crescimento econômico do setor. Neste sentido a concessão de rodovias passa a ser uma alternativa para a realização dos investimentos no setor.

A concessão é um contrato firmado entre o poder público e uma empresa de direito privado no qual delega à última a responsabilidade de prover um bem ou um serviço sob sua responsabilidade. O negócio das concessões rodoviárias no Brasil vem crescendo expressivamente desde 1996, ano em que ocorre definitivamente o início dessa forma de administração do patrimônio público e de parte da infraestrutura rodoviária (OLIVEIRA, 2011).

Oliveira (2011) relatou que as concessões podem ser entendidas por se configurarem como um negócio, uma vez que a iniciativa privada se interessa pelos contratos em razão das garantias e do lucro. No entanto não existe a garantia de eficiência ao usuário do serviço visto que embora tenha sido criado órgãos de regulação, estes não parecem muito atuantes (ARAÚJO, 2005).

De acordo com Araújo (2005) os serviços de infraestrutura têm sido considerados parte vital de um processo de desenvolvimento e o acesso a eles é essencial para o pleno exercício da cidadania. Por outro lado, assegurar o acesso universal num contexto competitivo é um problema cuja solução difere das soluções tradicionalmente adotadas por parte das iniciativas público e privada. No cenário brasileiro pesa-se ainda os ônus do passivo herdado e da falta de experiência no processo de concessão (ARAÚJO, 2005). Como exemplo de herança prejudicial destacam-se os contratos *ad hoc*, feitos na ausência de regras e com cláusulas nitidamente prejudiciais do ponto de vista da economia e da sociedade, pela utilização de indicadores Índice Geral de Preços - Mercado (IGP-M) e Índice Geral de Preços – Disponibilidade Interna (IGP-DI), cuja composição é questionável e cuja ligação com os custos setoriais, ou com a

inflação, medida pelo deflator do Produto Interno Bruto (PIB), é tênue (GUIMARÃES, 2003, apud Araújo, 2005, p.164).

As etapas do processo de concessão das rodovias federais contaram com alguns marcos importantes, como a criação da Agência Nacional de Transportes Terrestres – ANTT, além da ampliação dos trechos sob concessão pelo território nacional, aprimoramento dos critérios de seleção das concessionárias e aumento do portfólio de serviços prestados aos usuários, como por exemplo serviço médico de emergência, serviço de guincho para veículos avariados, além dos serviços de tecnologia de informação e comunicação utilizados para rastreamento, controle e pagamento do serviço.

A concessão que, inicialmente buscou resolver um problema emergencial que era de ter uma rodovia em boas condições operacionais e agora, com o expressivo aumento do fluxo de veículos nas estradas, se viu obrigada a ofertar maior de infraestrutura rodoviária com o intuito de não ter gargalos e garantir uma qualidade no serviço prestado ao usuário, mantendo-se a eficiência na prestação do serviço (IPEA, 2010).

A Confederação Nacional de Transportes (CNT) em sua pesquisa CNT de Rodovias (2019) revela que no Brasil apenas 11,9% da malha rodoviária, entre rodovias federais e estaduais, é classificada com ótimo estado de conservação, segundo os critérios de pavimentação, sinalização e geometria da via. Considerando as rodovias concessionadas, o percentual de rodovias ótimas sobe para 38,2%, enquanto as que estão sob gestão pública esse percentual é de 5,2%.

Portanto conhecer a infraestrutura do transporte rodoviário no Brasil, a política de concessões e a demanda dos usuários do serviço é primordial e necessário para entender a eficiência das rodovias federais brasileiras nos trechos que estão sob concessão, levando em consideração a perspectiva do usuário.

## 1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

As concessões rodoviárias ao serem analisadas sob a ótica geográfica não devem deixar de lado as implicações jurídicas, uma vez que facilitam na compreensão de suas formas de gestão e de uso das rodovias e conduzem para a oferta de um serviço mais eficiente ao usuário, visto que a iniciativa privada está assumindo uma função de natureza nitidamente de interesse público e que o poder concedente será sempre do governo, seja ele federal, estadual ou municipal (OLIVEIRA, 2011; PEREIRA, 1998).

Ao ganhar a licitação a concessionária assumirá uma função de interesse e utilidade pública e deverá ser fiscalizada com rigor. Para Derani (2002) a transferência de atividade econômica da mão pública para a mão privada não é apenas uma mera alteração de sujeito agente, pois provoca uma modificação no objeto social e na origem patrimonial. Implica na alteração do sujeito e traz alteração da ação da sociedade. A empresa prestadora de serviço passará a produzir valores de troca com o objetivo de satisfazer uma necessidade social remunerando a produção para continuar dispondo do capital produtivo (DERANI, 2002, p. 74).

Tanto para o governo quanto para a empresa o firmamento desse pacto tem trazido benefícios e a política de concessão tem melhorado as condições das rodovias pedagiadas, principalmente nas Regiões Sudeste e Sul, todavia, importa avaliar o modelo de concessão adotado para as rodovias federais, uma vez que, este tem provocado contestações por parte dos usuários, inclusive pelo elevado preço das tarifas. A avaliação de qualidade é amplamente discutida, sobretudo pela perspectiva da produtividade, tendo em vista as divergências na prestação dos serviços por parte das concessionárias.

Diante destas divergências entre essas concessionárias e da necessidade da utilização de ferramentas e técnicas de análise da eficiência dessas rodovias com trechos sob concessão, a presente pesquisa busca responder à seguinte questão: Qual a eficiência relativa das rodovias federais brasileiras com trechos sob concessão, analisados sob a ótica do usuário?

## 1.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

### 1.2.1 Objetivo geral

O trabalho busca identificar a eficiência relativa das rodovias federais brasileiras com trecho sob concessão de 1994 até 2018 sob a ótica do usuário, para alcançar este objetivo é desenvolvida uma análise envoltória de dados com base nas especificações de contrato e de informações públicas cedidas pelos órgãos federais responsáveis.

### 1.2.2 Objetivos específicos

Para que esse objetivo fosse de fato alcançado, estabelecemos alguns objetivos específicos, tais quais:

1. Selecionar as variáveis de *input* e *output* do modelo de eficiência;
2. Processar a eficiência relativa por meio de análise envoltória de dados;
3. Validar o modelo de eficiência por meio da regressão tobit.

## 1.3 JUSTIFICATIVA

Esta pesquisa apresenta um estudo relacionado a eficiência das rodovias federais no Brasil limitando-se aos trechos administrados por concessionárias e busca analisar sob a perspectiva do usuário.

A escolha do tema partiu da experiência profissional pregressa do autor no ensino superior em cursos de graduação de tecnologia em Logística em instituições de ensino privado e no Instituto Federal do Espírito Santo. Assim destaca-se a importância da abordagem com foco na eficiência subsidiada por dados quantitativos no que tange a contribuição para o desenvolvimento de estudos nos níveis de graduação e pós-graduação na área de gestão e tecnologia bem como em diversas pesquisas futuras que permeiem o tema transporte rodoviário.

O estudo apresenta subsídios quantitativos satisfatórios para auxiliar os gestores públicos em decisões relativas a boa gestão de nossa malha rodoviária, fornecendo assim, o retorno esperado pelo usuário, pois de acordo com Derani (2002) a

infraestrutura de transporte em um país é requisito básico para relações entre empresas e usuários, sobretudo entre fornecedores de insumos ou matérias-primas, ou comercialização de mercadorias, ou até mesmo usuários do transporte de passageiros. Assim, fica evidente que a concessão por parte do Estado provoca efeitos nas atividades produtivas e interfere nas condições de vida e bem-estar dos cidadãos (DERANI, 2002).

#### 1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

As concessões públicas no Brasil foram realizadas em etapas, 1994 - 1ª etapa, 2007 - 2ª etapa, 2013 - 3ª etapa e por fim 2019 - 4ª etapa. Explica-se que foram desconsideradas as concessões com contratos encerrados (CCR Ponte e CONCEPA); com caducidade declarada (Galvão); e iniciadas após 31 de dezembro de 2018 (ViaSul), uma vez que os dados utilizados refletem o ano de 2018.

#### 1.5 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em 6 capítulos, estruturados da seguinte forma: Introdução, Revisão de Literatura, Materiais, Métodos, Resultados e Considerações Finais.

Capítulo 1: Introdução, apresenta uma contextualização sobre o modo rodoviário no Brasil, sobre o programa de concessões rodoviárias federais, além dos objetivos, limitações e justificativa, bem como a estruturação do trabalho.

Capítulo 2: Indica a revisão de literatura e sua base conceitual, é descrito um breve histórico das estradas e rodovias federais brasileiras, suas principais características e nomenclaturas, as etapas do PROCOFE e os indicadores de eficiência. Ainda foi realizada uma bibliometria na busca de trabalhos em consonância com o tema pesquisado e que poderá ser de grande valia para a definição de um ponto de partida para o início da pesquisa.

Capítulo 3: Apresentação da Análise Envoltória de Dados como ferramenta de análise multivariada sendo uma metodologia de análise de eficiência. Aqui identifica-se os seus modelos e particularidades.

Capítulo 4: Descreve a sequência metodológica, os materiais e as ferramentas utilizadas para o desenvolvimento deste trabalho de pesquisa.

Capítulo 5: É apresentada análise dos resultados, identificando a eficiência das rodovias com trecho sob concessão e procura identificar as possíveis causas.

Capítulo 6: Considerações finais, enfatizando os principais resultados e se a pesquisa atingiu o objetivo proposto. Também apresenta sugestões para trabalhos futuros.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo serão descritos os conceitos essenciais que estão relacionados ao entendimento deste trabalho. Além disso, esta revisão de literatura busca realizar uma pesquisa em trabalhos científicos e livros da área de computação e pesquisa operacional em consonância ao tema em questão. O trabalho nesta sessão será subdividido em duas partes: a base conceitual que evidencia os conceitos chaves e as tecnologias usadas além de uma bibliometria (*biblioming*), mostrando o estado da arte.

### 2.1 BASE CONCEITUAL

Nesta sessão será apresentada a revisão de literatura que abordará conceitos centrais que circundam o tema, com intuito de gerar os pilares teóricos de sustentação da referida pesquisa. Sendo assim, a base conceitual está estruturada conforme a Figura 1:

Figura 1: Base Conceitual



Fonte: CNT (2018, p. 141)

#### 2.1.1 Rodovias federais com trechos sob concessão no Brasil

##### 2.1.1.2 Breve histórico das estradas e rodovias federais brasileiras

Costa e Silva (2012) indicam registros históricos da viagem do navegador Aleixo Garcia em 1524, desde Patos em Santa Catarina, rumo às chamadas “fabulosas”

riquezas do Império Inca no Peru. Tal expedição utilizou uma trilha bem demarcada até a confluência do rio Paraguai com o rio Assunção. Essa trilha indígena era conhecida como “Peabiru”. Nas palavras do historiador Eduardo Bueno (2016, p. 115):

“Não era uma mera vereda na mata: era quase uma estrada – larga de oito palmos (1,60m) com mais de 200 léguas (1.200km) de comprimento” sinalizada “por certa erva muito miúda que, dos dois lados, crescia até quase meia vara (60cm), e ainda quando se queimassem os campos, sempre nascia aquela erva e do mesmo modo”.

Alguns poderiam identificar essa trilha indígena, como a primeira estrada da história do Brasil, no entanto deixando de lado os caminhos de carroças que ligavam cidades e vilas brasileiras desde o século XVI, foi apenas com a inauguração da estrada União Indústria, em 1861, que a história do “rodoviarismo” nacional começava a ser escrita. Entretanto, mesmo depois da União Indústria e até alguns anos após a criação do DNER, em 1937, essa história continuava sem ter muito o que dizer.

Com a nova política rodoviária adotada, já na década de 40 o Brasil conseguiu 423 km de rodovias pavimentadas entre estaduais e federais, porém a situação no âmbito federal, não conseguiria se sustentar por muito tempo e por esse motivo, o ministro da época, Mauricio Joppert da Silva, levou a sanção do presidente José Linhares, o decreto-lei 8.463, conferindo autonomia técnica e financeira ao DNER, e ficou conhecida como a Lei Joppert, que criava também o Fundo Rodoviário Nacional.

Conseqüentemente, em 1950 após essa lei, o Brasil já estava com 968 km de malha rodoviária pavimentada, o dobro do que tinha em 1945, e com a descentralização administrativa do DNER, foram criados os Distritos Rodoviários Federais e a partir das décadas seguintes até a década de 60, o país começou então a evoluir muito e se expandir as suas vias rodoviárias, com exceção de Manaus e Belém, todas as capitais estavam interligadas por rodovias interestaduais.

A partir da década de 1970, o DNER continuou com as grandes obras e para garantir a unidade e soberania nacional, nasceram a Transamazônica, a Belém-Brasília, a construção da Ponte Presidente Costa e Silva (RIO-Niterói), entre muitas outras obras que interligavam todos os Estados do território nacional, que em 1980 alcançou o total de 47 mil km de rodovias federais pavimentadas, chegando até 1988 na ligação rodoviária entre Porto Velho e Rio Branco, logo após esse período, o Fundo Rodoviário Nacional foi extinto definitivamente.

Outros incentivos foram criados, porém, os recursos ficaram mais escassos e em 1998, havia apenas US\$ 1,2 bilhões, praticamente menos da metade de quando tudo começou que chegava a US\$ 2,3 bilhões. Na década de 1990, novas alternativas foram criadas pelo período de 5 anos, como por exemplo o Programa de Concessões Rodoviárias, o Programa de Descentralização e Restauração da Malha e o Programa Crema, de restauração e manutenção rodoviárias.

## 2.2 PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS E NOMENCLATURAS

Segundo o Código de Trânsito Brasileiro (CTB 2020) no Artigo 60, as vias abertas à circulação, de acordo com sua utilização, classificam-se em:

- I. Vias Urbanas:**
  - a. via de trânsito rápido;
  - b. via arterial;
  - c. via coletora;
  - d. via local;
- II. Vias Rurais:**
  - a. rodovias;
  - b. estradas.

De acordo com a última pesquisa CNT de rodovias em 2018, em seu relatório gerencial, é informado que atualmente a malha rodoviária do Brasil possui um total de 1.720.700km de rodovias, sendo 213.453km – 12,4% de rodovias pavimentadas, 1.349.939km – 78,5% de rodovias não pavimentadas e 157,309km – 9,1% de rodovias planejadas.

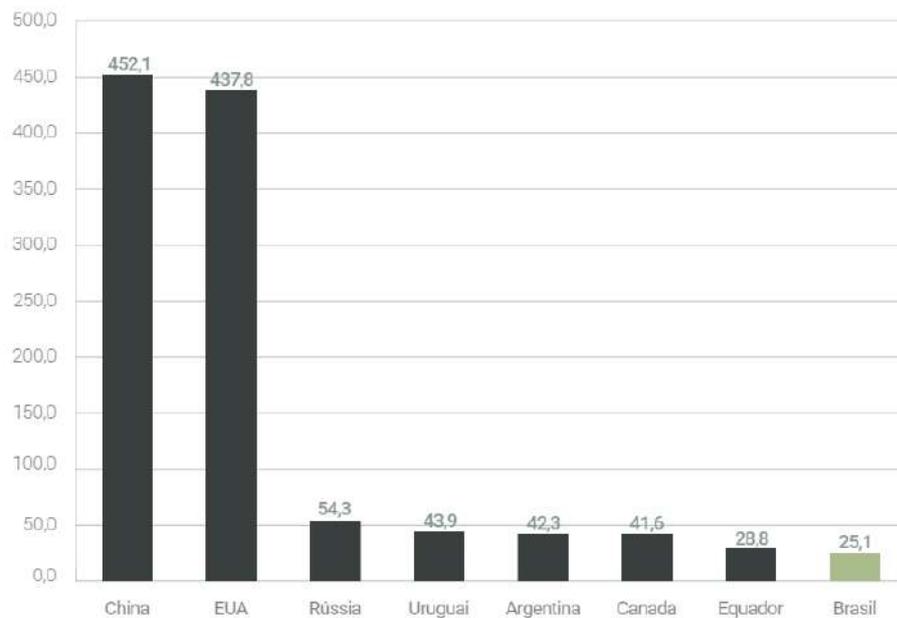
Apesar dos esforços para estender trechos rodoviários nos últimos anos, a densidade da malha rodoviária pavimentada no Brasil ainda é muito baixa.

Figura 2: Área territorial e extensão das rodovias do Brasil por Região Geográfica

Região	Área Km <sup>2</sup>	Extensão das rodovias - km	
		Total*	Pavimentadas
Brasil	8.515.759,1	1.720.700	213.453
Norte	3.853.840,9	148.028	22.389
Nordeste	1.554.291,1	445.404	59.961
Sudeste	924.608,9	533.795	62.520
Sul	576.783,8	388.078	38.322
Centro-Oeste	1.606.234,5	205.395	30.260

Fonte: CNT (2018, p. 141)

Em comparação com outros países com territórios semelhantes (como Estados Unidos e China) e até mesmo alguns países da América Latina (como México e Uruguai), a baixa densidade de conexão é óbvia.

Figura 3: Densidade da malha rodoviária pavimentada por país (valores em km/1.000 km<sup>2</sup>)

Fonte: CNT (2018, p. 11)

Desse total de rodovias pavimentadas, 65.615km – 30,7% são de rodovias federais e um total de 10.336km – 15,75% estão sob concessão. O CTB define estrada com sendo uma via rural não pavimentada, ao contrário de uma rodovia, que seria uma via rural pavimentada.

Outra nomenclatura usual das rodovias federais (dito que são as pavimentadas) é o código BR-XXX, onde o primeiro algarismo indica a categoria da rodovia, de acordo com as definições estabelecidas no Plano Nacional de Viação. Os dois outros

algarismos definem a posição, a partir da orientação geral da rodovia, relativamente à Capital Federal e aos limites do País (Norte, Sul, Leste e Oeste).

Nas ilustrações abaixo, segue legenda representativa das cores em função da extensão das rodovias.

Figura 4: Percentual da extensão das rodovias por classificação



Fonte: CNT (2018, p. 11)

**RODOVIAS RADIAIS:** São as rodovias que partem da Capital Federal em direção aos extremos do país.

Figura 5: Percentual da extensão das rodovias por classificação



Fonte: CNT (2018, p. 11)

Quadro 1: Rodovias Federais Radiais

Nomenclatura	BR-0XX
Primeiro Algarismo	0 (zero)
Algarismos Restantes	A numeração dessas rodovias pode variar de 05 a 95, segundo a razão numérica 05 e no sentido horário.



Fonte: DNIT - 2010

Quadro 2: Rodovias Federais Radiais sob concessão

Rodovias	Localidade	Extensão Total	Trecho sob concessão	Concessão	Extensão sob Concessão
<b>BR-040</b>	Brasília - Três Marias - Belo Horizonte - Barbacena - Juiz de Fora – Três Rios - Rio de Janeiro (Praça Mauá)	1.139,3km	BR 040/MG/RJ – Trecho Juiz de Fora/MG – Rio de Janeiro/RJ	CONCER	179,9km
			BR-040/DF/GO/MG – Trecho Brasília-DF – Juiz de Fora-MG	Via 040	936,8km
<b>BR-050</b>	Brasília - Cristalina - Uberlândia - Uberaba - Ribeirão Preto - Campinas São Paulo - Santos	1025,3km	BR-050/GO/MG	ECO 050	436,6km
<b>BR-060</b>	Brasília - Anápolis - Goiânia - Rio Verde - Jataí - Campo Grande – Fronteira com o Paraguai	1329,3km	BR-060/253/262 DF/GO/MG	CONCEBRA	1176,5km

Fonte: ANTT (2018)

**RODOVIAS LONGITUDINAIS:** São as rodovias que cortam o país na direção Norte-Sul.

Figura 6: Percentual da extensão das rodovias por classificação



Extensão

Fonte: CNT (2018, p. 11)

Quadro 3: Rodovias Federais Longitudinais

Nomenclatura	BR-1XX
Primeiro Algarismo	1 (um)
Algarismos Restantes	A numeração varia de 00, no extremo leste do País, a 50, na Capital, e de 50 a 99, no extremo oeste. O número de uma rodovia longitudinal é obtido por interpolação entre 00 e 50, se a rodovia estiver a leste de Brasília, e entre 50 e 99, se estiver a oeste, em função da distância da rodovia ao meridiano da Capital Federal.



**Longitudinais**  
15 rodovias  
35 mil quilômetros

Fonte: DNIT (2010).

Quadro 4: Rodovias Federais Longitudinais sob concessão (continua)

Rodovias	Localidade	Extensão Total	Trecho sob concessão	Concessão	Extensão sob Concessão
<b>BR-101</b>	Touros - Natal - João Pessoa - Recife - Maceió - Aracaju - Feira de Santana - Itabuna - São Mateus - Vitória - Campos - Niterói - Rio de Janeiro - Mangaratiba - Angra dos Reis -	4551,4km	BR-101/ RJ-Divisa RJ/ES – Ponte Presidente Costa e Silva	Autopista Fluminense	320,1km
	BR-101 ES/BA – Entroncamento BA-068 (acesso mucuri) – Divisa ES/RJ		ECO 101	475,9km	
	BR-101 RJ		ECOPONTE	13,2km	

Quadro 4: Rodovias Federais Longitudinais sob concessão (continuação)

	Caraguatatuba - Santos - Iguape - Antonina - Joinville - Itajaí - Florianópolis - Tubarão - Osório - São José do Norte - Rio Grande		BR-101 101/290/448/386/RS	Via Sul	473,4km
<b>BR-116</b>	Fortaleza - Russas - Jaguaribe - Salgueiro - Canudos - Feira de Santana - Vitória da Conquista - Teófilo Otoni - Muriaé - Leopoldina - Além Paraíba - Teresópolis - Entroncamento com a BR-493 - Entroncamento com a BR-040 - Rio de Janeiro – Barra Mansa - Lorena - São Paulo - Registro - Curitiba - Lage - Porto Alegre - Pelotas - Jaguarão	4566,5km	BR-116 RJ/SP Trecho Rio de Janeiro – São Paulo	Nova Dutra	402,0km
			BR-116 RJ Trecho Além Paraíba – Teresópolis, - Entroncamento BR-040/RJ	CRT	142,5km
			BR-116/RS 392/RS	ECOSUL	457,3km
			BR-116 PR/SC – Curitiba – Divisa SC/RS	Autopista Planalto Sul	412,7km
			BR-116/376 PR e BR-101/SC – Trecho Curitiba-Palhoça	Autopista Litoral Sul	405,9km
			BR-116 SP/PR São Paulo - Curitiba	Autopista Régis Bittencourt	401,6km
			BR-116/324/BA e BA 526/528	VIA BAHIA	680,6km
<b>BR-153</b>	BR-116 RJ Trecho Além Paraíba – Teresópolis, - Entroncamento	3566,3km	BR-153/SP – Divisa MG/SP – Divisa SP/PR	TRANSBASILIANA	321,6km

Quadro 4: Rodovias Federais Longitudinais sob concessão (conclusão)

	BR-040/RJ CRT 142,5km				
<b>BR-163</b>	Tenente Portela - Itapiranga - São Miguel D'Oeste - Barracão - Guaira - Dourados – Rio Brilhante - Campo Grande - Rondonópolis - Cuiabá - Cachimbo - Santarém - Alenquer -Óbidos - Tiriós - Fronteira com o Suriname	4426,7km	BR-163/MT – BR- 163 e MT-047 do MS até o entroncamento com a MT-220d	CRO	850,9km
	BR-163/MS – Início na divisa com o Estado do Tem término na divisa com o PR		MSVIA	84702km	

Fonte: ANTT (2018).

**RODOVIAS TRANSVERSAIS:** São as rodovias que cortam o país na direção Leste-Oeste.

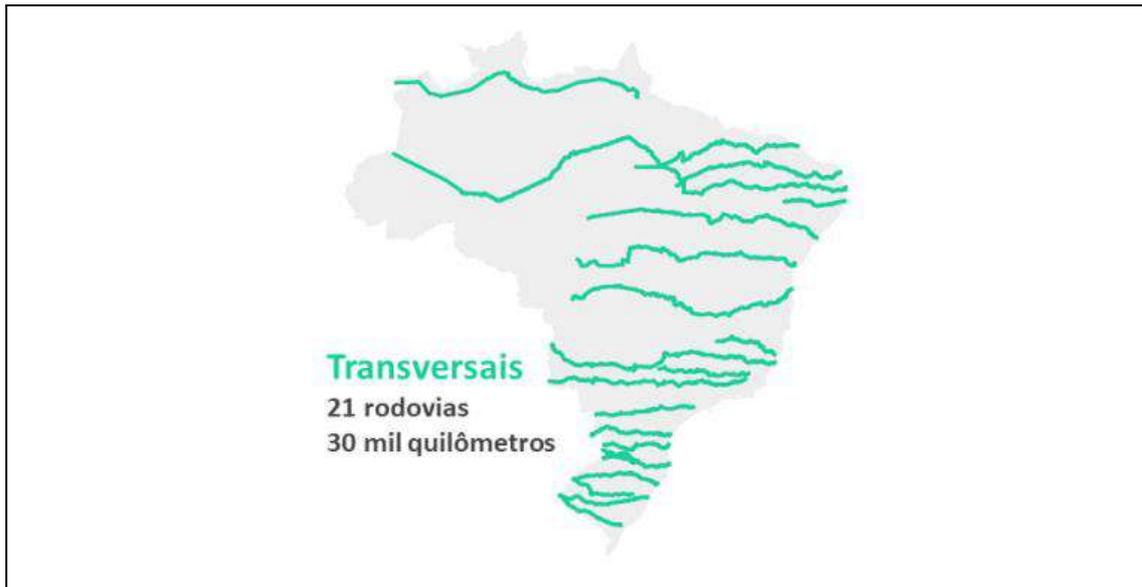
Figura 7: Percentual da extensão das rodovias por classificação



Fonte: CNT (2018, p. 11)

Quadro 5: Rodovias Federais Transversais

Nomenclatura	BR-2XX
Primeiro Algarismo	2 (dois)
Algarismos Restantes	A numeração varia de 00, no extremo norte do país, a 50, na Capital Federal, e de 50 a 99 no extremo sul. O número de uma rodovia transversal é obtido por interpolação, entre 00 e 50, se a rodovia estiver ao norte da Capital, e entre 50 e 99, se estiver ao sul, em função da distância da rodovia ao paralelo de Brasília.



Fonte: DNIT (2010).

Quadro 6: Rodovias Federais Transversais Sob Concessão

Rodovias	Localidade	Extensão Total	Trecho sob concessão	Concessão	Extensão sob Concessão
<b>BR-262</b>	Vitória - Realeza - Belo Horizonte - Araxá - Uberaba - Frutal - Icém - Três Lagoas - Campo Grande - Aquidauana - Porto Esperança - Corumbá	2295,4km	BR-060/253/262 DF/GO/MG	CONCEBRA	1176,5km
<b>BR-290</b>	Osório - Porto Alegre - São Gabriel - Alegrete - Uruguaiana	729,7km	BR-101 101/290/448/386/RS	Via Sul	473,4km
<b>BR-293</b>	Pelotas - Bagé - Santana do Livramento - Quaraí - Uruguaiana	532,3km	BR-116/RS 392/RS	ECOSUL	457,3km

Fonte: ANTT (2018).

**RODOVIAS DIAGONAIS:** Estas rodovias podem apresentar dois modos de orientação, ou seja, Noroeste-Sudeste ou Nordeste-Sudoeste.

Figura 8: Percentual da extensão das rodovias por classificação



Extensão

Fonte: CNT (2018, p. 11)

Quadro 7: Rodovias Federais Diagonais

Nomenclatura	BR-3XX
Primeiro Algarismo	3 (três)
Algarismos Restantes	<p>A numeração dessas rodovias obedece ao critério especificado abaixo:</p> <p>Diagonais orientadas na direção geral NO-SE: A numeração varia, segundo números pares, de 00, no extremo Nordeste do país, a 50, em Brasília, e de 50 a 98, no extremo Sudoeste.</p> <p>Obtém-se o número da rodovia mediante interpolação entre os limites consignados, em função da distância da rodovia a uma linha com a direção Noroeste-Sudeste, passando pela Capital Federal.</p> <p>Exemplos: BR-304, BR-324, BR-364.</p> <p>Diagonais orientadas na direção geral NE-SO: A numeração varia, segundo números ímpares, de 01, no extremo Noroeste do país, a 51, em Brasília, e de 51 a 99, no extremo Sudeste.</p> <p>Obtém-se o número aproximado da rodovia mediante interpolação entre os limites consignados, em função da distância da rodovia a uma linha com a direção Nordeste-Sudoeste, passando pela Capital Federal.</p> <p>Exemplos: BR-319, BR-365, BR-381.</p>



Fonte: DNIT (2010).

Quadro 8: Rodovias Federais Diagonais Sob Concessão (continua)

Rodovias	Localidade	Extensão Total	Trecho sob concessão	Concessão	Extensão sob Concessão
<b>BR-324</b>	Balsas (BR-230) - Ribeiro Gonçalves – São Raimundo Nonato (BR-020) - Remanso (BR-235) - Jacobina - Feria de Santana - Salvador	1270,9km	BR-116/324/BA e BA 526/528	VIA BAHIA	680,6km
<b>BR-376</b>	Dourados - Paranavaí - Maringá - Apucarana - Ponta Grossa - São Luiz do Purunã - Curitiba - Garuva (BR-101)	958,3km	BR-116/376 PR e BR-101/SC – Trecho Curitiba- Palhoça	Autopista Litoral Sul	405,9km
<b>BR-381</b>	São Mateus - Nova Venécia - Barra de São Francisco - Mantena - Central de Minas - Divino	1169,3km	BR-381 MG/SP Belo Horizonte – São Paulo	Autopista Fernão Dias	562,1km

Quadro 8: Rodovias Federais Diagonais Sob Concessão (conclusão)

	das Laranjeiras - Governador Valadares - Ipatinga - Belo Horizonte - Betim - Pouso Alegre - Bragança Paulista - São Paulo				
<b>BR-386</b>	BR-101 101/290/448/386/RS Via Sul 473,4km	530,4km	BR-101 101/290/448/386/RS	Via Sul	473,4km
<b>BR-393</b>	Cachoeiro do Itapemirim - Itaperuna - Além Paraíba - Três Rios - Volta Redonda - Entroncamento com a BR-116	444,8km	BR-393/RJ – Divisa MG/RJ Entroncamento BR- 116 (Dutra)	Rodovia do Aço	200,4km

Fonte: ANTT (2018).

**RODOVIAS DE LIGAÇÃO:** Estas rodovias apresentam-se em qualquer direção, geralmente ligando rodovias federais, ou pelo menos uma rodovia federal a cidades ou pontos importantes ou ainda a nossas fronteiras internacionais.

Figura 9: Percentual da extensão das rodovias por classificação



Extensão

Fonte: CNT (2018, p. 11)

Quadro 9: Rodovias Federais de Ligação

Nomenclatura	BR-4XX
Primeiro Algarismo	4 (quatro)
Algarismos Restantes	A numeração dessas rodovias varia entre 00 e 50, se a rodovia estiver ao norte do paralelo da Capital Federal, e entre 50 e 99, se estiver ao sul desta referência.
 <p><b>De Ligação</b> 92 rodovias 23 mil quilômetros</p>	

Fonte: DNIT (2010).

Quadro 10: Rodovias Federais de Ligação Sob Concessão

Rodovias	Localidade	Extensão Total	Trecho sob concessão	Concessão	Extensão sob Concessão
BR-448	Sapucaia do Sul, Esteio, Canoas e Porto Alegre	22,3km	BR-101 101/290/448/386/RS	Via Sul	473,4km

Fonte: ANTT (2018).

### 2.3 AS ETAPAS DAS CONCESSÕES DE RODOVIAS FEDERAIS BRASILEIRAS

A implementação da gestão das rodovias federais está relacionada com a criação do PROCOFE em 1993, que coincide com o marco inicial da primeira etapa das concessões rodoviárias do país. Por este programa, harmonizava-se também as ações do Programa Nacional de Desestatização (PND). Importa ainda registrar que

BRASIL (2020), os primeiros trechos concedidos à administração privada em regime de concessão ocorreram em vias localizadas nos estados de São Paulo, Rio de Janeiro, Porto Alegre e Minas Gerais (BR-116/RJ/SP, trecho São Paulo – Rio de Janeiro; BR-101/RJ entre Ponte Rio-Niterói; BR-040/ MG/RJ Rio de Janeiro – Juiz de Fora; BR-116/RJ Rio de Janeiro – Teresópolis; BR-290/RS Porto Alegre – Osório).

Como a década de 1990 foi marcada pela intensificação de delegação em trechos de rodovias federais a estados e a municípios, para administração própria ou mediante concessão. Com isso, outros estados membros foram aderindo ao modelo de gestão da malha rodoviária em todo país, a partir do modelo de concessão.

No período compreendido entre 1996 e 1998 BRASIL (2020), foram assinados convênios de delegação de trechos de rodovias federais com os Estados do Rio Grande do Sul, Paraná, Santa Catarina, Minas Gerais e Mato Grosso do Sul.

As delegações aos estados da federação, entretanto, não trouxeram os resultados esperados, sobretudo em virtude de dificuldades na implementação de concessões pelos estados e municípios.

Neste contexto, a Lei de Concessões foi promulgada em 1995 e a criação do órgão regulador, a Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), se deu em 2001, por meio da Lei 10.233/2001. O modelo de regulação econômico-financeira aplicável aos contratos de concessão de rodovias federais da 1ª Etapa do PROCOTE é chamado de estático. Nele, os itens que compõem o fluxo contábil e o fluxo financeiro estão definidos e fixados em valores orçados à época do processo licitatório.

A 1ª Etapa contempla 1.316 quilômetros de direitos de concessão de rodovias federais, que se referem a trechos que foram submetidos a pedágio e são cobrados diretamente pelo DNER. Essa estratégia visa aliviar a resistência do usuário às taxas. Esta opção permite um nível de risco aceitável para testar o modelo, onde a principal fonte de receita da concessionária é o pedágio.

Quadro 11: 1ª Etapa de Concessões PROCOFE

Rodovia	Trecho sob Concessão	Extensão (km)	Prazo de concessão (ano)	Concessionária	Assinatura do Contrato / Início da concessão / cobrança
<b>1ª Etapa</b>					
BR 101/RJ	BR 101/RJ – Trecho Rio – Niterói	13,2 km	20 anos	CCR Ponte	29/12/1994 01/06/1995 Contrato Encerrado
BR 040/MG/RJ	BR 040/MG/RJ - trecho Juiz de Fora/MG - Rio de Janeiro/RJ	180 km	25 anos	CONCER	31/10/1995 01/03/1996
BR-116/RJ	BR-116/RJ, trecho Além Paraíba - Teresópolis – Entroncamento c/ a BR 040/RJ	142,5 km	25 anos	CRT	22/11/1995 22/03/1996 02/09/1996
BR-116 / Rodovia Presidente Dutra.	Trecho SP - km 231,500 ao km 000,000, de SP a divisa do RJ. Trecho RJ - km 163,000 ao km 333,500, do RJ a divisa de SP	402 km	25 anos	CCR Nova Dutra	31/10/1995 01/03/1996 01/08/1996
BR 290 BR 116/RS	BR 290/RS - Trecho Osório – Porto Alegre/ Entroncamento BR 116/RS (Guaíba)	121 km	20 anos	CONCEPA (Triunfo)	04/03/1997 04/07/1997 Contrato Encerrado
BR 116/RS, 392/RS	Camaquã-Pelotas; Pelotas-Jaguarão; Rio Grande-Pelotas; Pelotas-Santana da Boa Vista	457,3 km	28 anos	ECO SUL	15/07/1998 30/11/1998

Fonte: ANTT (2018).

No Brasil, o modelo adotado pelo governo federal é “reabilitação, operação, transferência (Rehabilitate Operate Transfer – ROT)” ou “construção, operação, transferência (Build, Operate, Transfer - BOT)”, que inclui o conteúdo de expansão e reconstrução e posterior investimento. Operação e manutenção. Na 1ª Etapa da concessão, o contrato é uma forma de anunciar formalmente a concessão do serviço público. Antes disso, obras públicas para cada rodovia e Ponte Rio-Niterói, incluindo restauração, manutenção e monitoramento, serviços de operação, ampliação, aprimoramento e exploração de cada desconto.

Os primeiros contratos de concessão rodoviária, segundo ABCR (2018) contavam com prazos de 20 a 25 anos. Vencido esse período, surgirá a necessidade de se

atualizar a modelagem contratual, de forma a melhor dividir os riscos do negócio entre a concessionária, o poder público e os usuários, favorecendo tarifas mais módicas.

No ano de 2000, iniciou-se a 2ª etapa da implementação do plano de gestão da malha rodoviária, também focada na região sul e sudeste, foi concretizada apenas em 2007, com a concessão de oito trechos rodoviários, por um período de 25 anos, totalizando 3.305 km de rodovias.

Nesta etapa, cada empresa tinha até seis meses para concluir os trabalhos iniciais, eliminando problemas emergenciais que significasse riscos pessoais e materiais, e ao fim deste período iniciou-se a etapa de recuperação da rodovia, junto com cobrança de pedágio e manutenção dos trechos concedidos. Esta etapa já contou com a criação da Agência Nacional de Transportes Terrestres – ANTT, incumbida da regulação do setor. Houve a definição de uma matriz de riscos mais equilibrada, além de parâmetros de desempenho, com condições mínimas de qualidade e quantidade de obras.

A partir da 2ª etapa, a modalidade de licitação foi alterada de licitação pública para leilão. O critério de seleção dos licitantes que vencerão o leilão de concessão da 2ª etapa é o menor pedágio. Condições econômicas mais estáveis, flexibilidade de qualificações no processo licitatório e a experiência brasileira em franquias (mais de dez anos de história) proporcionam maior segurança aos investidores, o que reduz a taxa de retorno e, portanto, a tarifa.

Quadro 12: 2ª Etapa de Concessões PROCOFE

Rodovia	Trecho sob Concessão	Extensão (km)	Prazo de concessão (ano)	Concessionária	Assinatura do Contrato / Início da concessão / cobrança
<b>2ª Etapa</b>					
BR 381 - Rodovia Fernão Dias	km 90,4m - Guarulhos / SP a km 478,2m - Contagem / MG	562 Km	25 anos	Autopista Fernão Dias (ARTERIS S/A)	14/02/2008 15/02/2008 19/12/2008
BR-116/PR ; BR-116/SC	Curitiba - PR até a divisa de Santa Catarina com o Rio Grande do Sul	413 km	25 anos	Autopista Planalto Sul (ARTERIS S/A)	14/02/2008 18/02/2008 19/12/2008
BR-153/SP	BR-153/SP – Divisa MG/SP – Divisa SP/PR	321 km	25 anos	Rodovia Transbrasiliana (Triunfo)	14/02/2008 18/02/2008
BR-116 - Rodovia Régis Bittencourt	BR-116/SP/PR – São Paulo – Curitiba	402 km	25 anos	Autopista Régis Bittencourt (ARTERIS S/A)	14/02/2008 15/02/2008 29/12/2008
BR-101/RJ Norte - Rodovia Governador Mário Covas	BR-101/RJ – Divisa RJ/ES – Ponte Presidente Costa e Silva	322 km	25 anos	Autopista Fluminense (ARTERIS S/A)	14/02/2008 18/02/2008 02/02/2009
BR-116/376/PR e BR-101/SC	BR 116/PR, km 71,1 até km 115,1; BR 376/PR, km 614 até km 682,20; BR 101/SC, km 0,00 até km 244,680	405,94 km	25 anos	Autopista Litoral Sul (ARTERIS S/A)	14/02/2008 18/02/2008 22/02/2009
Rodovia Lúcio Meira - BR 393	Divisa MG/RJ – Entroncamento BR-116 (DUTRA)	200 km	25 anos	Rodovia do Aço	26/03/2008 27/03/2008 05/03/2009
BR-324; BR-116; BA-526 e BA-528	BR-324/BA-Salvador à Feira de Santana; BR-116/BA- Feira de Santana à Divisa BA/MG; BA-526 - Entroncamento BR-324 ao Entroncamento BA-528; BA-528 - Entroncamento BA-526 ao Acesso Base Naval de Aratus)	680 km	25 anos	Via Bahia	03/09/2009 20/10/2009 07/12/2010

Fonte: ANTT (2018).

Na 3ª etapa, ocorrida entre 2013 e 2014, foram concedidos ao todo oito trechos rodoviários por meio de leilões, e o critério de seleção continuou o de menor tarifa. O resultado foi um total de 5.372 km 65 de vias concedidas, desta vez distribuídas por

outras regiões do País, como o centro-oeste, onde o intuito era atender à nova fronteira de produção agrícola.

Identificamos as principais inovações trazidas neste contrato como a substituição da taxa de remuneração baseada e na inflação por uma taxa baseada na metodologia de WACC (custo médio ponderado de capital) no caso da utilização do fluxo de caixa marginal, Inclusão do Fator X, que é um redutor do reajuste da tarifa de pedágio, que trata do compartilhamento, com os usuários da rodovia, dos ganhos de produtividade obtidos pela concessionária e da Tarifa diferente por praça de pedágio em função do trecho de cobertura da praça.

Quadro 13: 3ª Etapa de Concessões PROCOFE

Rodovia	Trecho sob Concessão	Extensão (km)	Prazo de concessão (ano)	Concessionária	Assinatura do Contrato / Início da concessão / cobrança
<b>3ª Etapa</b>					
BR 050	Desde o entroncamento com a BR-040 no município de Cristalina, em Goiás, até o município de Delta, na divisa de Minas Gerais com o estado de São Paulo.	436,6 km	30 anos	ECO050	05/12/2013 08/01/2014 12/04/2015
BR 101/ES/BA	BR 101/ES/BA - Entroncamento BA-698 (acesso a Mucuri) - Divisa ES/RJ	475,9 km	25 anos	ECO101	17/04/2013 10/05/2013 18/05/2014
BR-040/DF/GO/MG	BR-040/DF/GO/MG - Trecho Brasília-DF - Juiz de Fora-MG	936,8 km	30 anos	VIA 040 (INVEPAR)	12/03/2014 22/04/2014
BR-060/153/262 (DF/GO/MG)	BR-060/153/262 (DF/GO/MG)	1176,5 km	30 anos	CONCEBRA (Triunfo)	31/01/2014 05/03/2014
BR-163/MS	Início em Mundo Novo, na divisa com o estado do Paraná, e término em Sonora, na divisa com o estado de Mato Grosso.	847,2 km	30 anos	CCR MS VIA	12/03/2014 11/04/2014 14/09/2015
BR-163/MT - BR-163 e MT-407 do MS até o entroncamento com a MT-220	BR163 / MT km 0 ao km 119,9 e km 507,1 ao km 855 BR364 / MT km 201 ao km 401,4 e km 434,6 ao km 588,2 BR070 / MT km 495,9 ao km 524	850,9 km	30 anos	Rota do Oeste	12/03/2014 21/03/2014 06/09/2015
BR 101/RJ	BR 101/RJ – Trecho Rio – Niterói	13,2 km	30 anos	Ecoponte	18/05/2015 01/06/2015 01/06/2015
BR 070	Trecho Anápolis/GO (BR-060) até Aliança do Tocantins/TO (TO-070)	624,8 km	30 anos	Galvão BR-153	12/09/2014 31/10/2014 Caducidade Declarada

Fonte: ANTT (2018).

Por fim, a 4ª etapa, a “ANTT administra atualmente 21 concessões de rodovias, totalizando aproximadamente 10.134 km”. Em 2019 foi dando início à quarta etapa de concessões. Nesta etapa, o foco é intensificar a administração de rodovias com fluxo intenso de veículos e, conseqüentemente, com desgaste rápido do pavimento, que nem sempre consegue ser recuperado com recursos públicos.

Esta nova fase de concessão é utilizada para explorar infraestrutura e prestar serviços públicos para restaurar, operar, manter, monitorar, manter, implementar melhorias, expandir a capacidade e manter o nível de serviço do sistema viário composto inicialmente pelas concessionárias Ecovias do Cerrado, CCR ViaSul e CCR ViaCosteira são inovações nas regras de licitação. As regras de licitação preveem capital social adicional pago pela concessionária. O capital é calculado com base no percentual de desconto em relação à taxa básica de pedágio (TBP), quando o desconto for superior a 10%.

Quadro 14: 4ª Etapa de Concessões PROCOFE

Rodovia	Trecho sob Concessão	Extensão (km)	Prazo de concessão (ano)	Concessionária	Assinatura do Contrato / Início da concessão / cobrança
<b>4ª Etapa</b>					
BR 364/365 MG/GO	BR-364/365/MG/GO	437 km	30 anos	Ecovias do Cerrado	19/12/2019 20/01/2020
BR-324/BA-Salvador à Feira de Santana; BR-116/BA- Feira de Santana à Divisa BA/MG; BA-526 - Entroncamento BR-324 ao Entroncamento BA-528; BA-528 - Entroncamento BA-526 ao Acesso Base Naval de Aratus)	BR/101: entre a divisa SC/RS até o entroncamento com BR-290; BR/290: no entroncamento com BR-101 até o km 98,1; BR/386: no entroncamento BR-285/377 até entroncamento com BR-470/116; BR/448: entroncamento com BR-116/RS-118 até o entroncamento BR-290/116.	472 km	30 anos	CCR ViaSul	11/01/2019 15/02/2019
BR-101/SC	BR-101/SC	220,42 km	30 anos	CCR ViaCosteira	06/07/2020

Fonte: ANTT (2018)

Ademais, as concessionárias também prestam serviços de atendimento aos usuários, em especial, o atendimento médico de emergência em acidentes e o serviço de guincho para veículos avariados na rodovia.

Durante esse processo de evolução nas etapas distintas do programa de concessões de rodovias federais, buscou-se preencher lacunas identificadas na operacionalização de cada concessão, seja por questões políticas, econômicas ou estruturais. Abaixo se apresenta um quadro em que são apresentados os principais aspectos dessa evolução.

Quadro 15: Evolução nas Etapas do PROCOFE

1ª Etapa	2ª Etapa – F1	2ª Etapa – F2 e 3ª Etapa – F1	3ª Etapa – F2	4ª Etapa
Prazo de concessão, VDM alto, Manutenção do equilíbrio econômico-financeiro	Utilização do IPCA, Flexibilização das condições de habilitação para o processo de licitação, Obras obrigatórias e não obrigatórias e parâmetros de desempenho	Utilização do gatilho do nível de serviço para obras ampliação de capacidade, Desconto de reequilíbrio, Fluxo de Caixa Marginal	Flexibilidade nos trabalhos iniciais, Incorporação do WACC no Fluxo de Caixa Marginal, Taxa de desconto para Receitas extraordinárias	Capital social adicional, Regras de governança corporativa, Regras mais rígidas para alterações contratuais, Estoque de melhorias, Obas de manutenção de nível de serviço, Contornos com trechos urbanos

Fonte: O próprio autor.

Para além da última etapa das concessões rodoviárias que está em andamento desde 2019, o atual governo indica que pretende adotar um modelo ainda mais amplo para intensificar as concessões das rodovias brasileira. Segundo ministro da Infraestrutura, Tarcísio de Freitas, afirmou que o governo pretende ampliar a extensão da malha rodoviária concedida, bem como, sinaliza que o governo estuda a viabilidade de conceder ao setor privado 16 mil quilômetros de estradas no País.

## 2.4 AGÊNCIA REGULADORA - A AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES

As agências reguladoras no Brasil surgiram com importância significativa, pois são estabelecidas com a finalidade de regular serviços públicos, a partir da implementação

de regras acerca da exploração de determinada atividade, garantindo o funcionamento de acordo com os objetivos públicos.

Neste contexto, a Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), é órgão imprescindível na regulação das concessões em âmbito nacional, tendo em vista que, é a agência responsável por regular as atividades de exploração da infraestrutura rodoviária federal e fiscaliza a execução dos contratos de concessão das rodovias federais entregues a iniciativa privada. Importa registrar que, apenas as rodovias em regime de concessão são de atribuição da fiscalização à agência, uma vez que, as rodovias federais não pedagiadas são de atribuição do Departamento Nacional de Infraestrutura em Transporte (DNIT).

Diante disso, para exercer suas atribuições a agência deve dispor de recursos logísticos, de pessoal e tecnológicos para conseguir acompanhar todas as demandas da extensa malha rodoviária do país. Quanto ao exercício em si das atribuições da respectiva agência, a fiscalização é a que mais se destaca, uma vez que, é de sua competência avaliar a qualidade das concessões a partir de critérios técnicos que dizem respeito não só ao cumprimento do contrato, como também do melhoramento da estrutura das rodovias, regulação do transporte de passageiros e de carga.

O método adotado pelas agências brasileiras para avaliação da qualidade das concessões nas rodovias brasileiras é realizado através do ranking de polos, pesquisa de opinião, entrevista com usuários e visitas de técnicos. Neste contexto, é necessário destacar a posição da agência reguladora como intermediadora dos interesses da Administração Pública quando realiza a concessão, que notadamente diz respeito a ter o serviço prestado com qualidade e satisfazendo a necessidade de suprir as deficiências de infraestrutura das estradas brasileiras.

Ao passo que, atua ainda, na órbita da avaliação da eficiência, a agência fiscaliza o ente privado, acompanhando o atendimento das disposições contratuais que regem a concessão, bem como a obediências as suas próprias disposições quando regulamenta o serviço. Por fim, é seu papel, ainda, avaliar a concessão sob a ótica dos usuários, isso corresponde a investigar o custo-benefício do serviço prestado por delegação, condicionando o pagamento da taxa pelo indivíduo, diante do serviço prestado, logo a avaliação é de qualidade do uso da rodovia em essência, ou seja, a condição física da estrada, os serviços de assistência, socorro e de critérios como segurança.

## 2.5 ANÁLISE GERAL SOBRE A EFICIÊNCIA DAS CONCESSÕES PÚBLICAS

O exame da eficiência das concessões públicas passa necessariamente por considerar o Poder Público, o prestado do serviço e o usuário. A política de concessão tem melhorado as condições das rodovias pedagiadas, principalmente nas Regiões Sudeste e Sul, todavia, segundo Oliveira e Sposito (2007) indicam que importa avaliar o modelo de concessão adotado para as rodovias federais, uma vez que, este tem provocado contestações por parte dos usuários, inclusive pelo elevado preço das tarifas.

Considerando que a malha ferroviária é entendida pelo poder público, cada vez mais, sob o significado de serviço público e não mais como bem público (as estradas), importa destacar que, a eficiência é concebida como uma forte tendência do modelo gerencial dentro da Administração pública, prezando assim pelo atingimento dos objetivos estatais a bem do interesse coletivo.

Todavia, a avaliação de qualidade é amplamente discutida, sobretudo pela perspectiva da produtividade, tendo em vista o processo de industrialização do país, uma vez que, é no setor econômico que as técnicas de avaliação se destacam. Diante disso, a empresa contratada, será fiscalizada, está submetida ao controle e regulamentação das agências pertinentes e, no regime de concessões, tem a avaliação da eficiência, como produtividade, desempenho e gestão dos resultados.

Pertinente destacar brevemente que, na órbita jurídica, a contratada se submete a um contrato cujas cláusulas conservam a posição de supremacia do interesse público. Reck (2020) afirma que estes contratos possuem regramentos limitadores que estabelecem tempo determinado para a prestação do serviço pela contratada, bem como, estabelece parâmetros para a prestação do serviço e estabelece sanção pelo descumprimento do ajuste.

Ao passo que, a análise da eficiência da concessão, considera, de forma ampla, na execução do contrato como os ganhos de eficiência e de produtividade da concessionária e as mudanças implementadas nos processos de trabalho, não são consideradas no valor da tarifa cobrada dos usuários. Neste sentido, a lógica da tomada de decisão do investidor privado está baseada em alguns critérios financeiros que permitem medir o mérito ou a rentabilidade privada de um projeto de investimento.

No caso da exploração das rodovias, o Estado não espera diretamente transformá-la em atividade econômica, o cunho de serviço público prevalece inclusive para

estabelecer a contraprestação recebida pela empresa contratada. Logo, a regulação da concessão tem função de gerar concorrência, por consequência aumentar a eficiência econômica do contrato, em que pese a escolha da proposta incide sobre a menor oferta.

Na fase de monitoração do desempenho, o poder público utiliza estímulos para que o concessionário alcance, e quando possível, ultrapasse o padrão de qualidade que a prestação do serviço exige. Por outro lado, Schumacher (2003) diz que o contrato estabelece a possibilidade em que, a Administração Pública fiscalizando, poderá aplicar sanções pelo descumprimento das cláusulas contratuais, entre elas o desempenho inferior ao estabelecido no ajuste.

Na realidade em que estabelecem os contratos públicos, a ausência de fiscalização por parte do poder público, faz com que a avaliação de desempenho seja feita pela própria empresa. Diante da necessidade de assegurar não só a avaliação de desempenho das concessionárias, ainda é necessário cobrar que o serviço seja entregue com segurança, conforto, economicidade e respeitando a previsibilidade de preços módicos, ou seja, tarifa justa.

Neste prisma, consolida-se as funções das agências reguladoras em mediar os interesses dos usuários, os objetivos do poder público e as obrigações das concessionárias.

Dentre a aplicação destas ferramentas, ocorre a avaliação integrada sob a perspectiva do usuário, poder público e da empresa. A eficiência ganha amplitude no serviço público, por ser princípio constitucional aplicado a toda atividade desenvolvida pelo setor público. A responsabilidade do Estado em prestar o serviço ou fiscalizar sua prestação decorre da relação entre este o particular. O interesse público figura com força suprema nas relações e vínculos jurídicos estabelecidos pelo poder público. Logo, a Administração deve, observando a lei, oferecer serviços ao indivíduo assumindo a responsabilidade e risco que acompanham a prestação do serviço.

Nesta perspectiva, o usuário deve ter segurança ao utilizar o serviço público, sob responsabilidade do Estado pelos danos causados decorrente da má prestação do serviço. Tal responsabilidade prevalece mesmo nas concessões, pois entende-se que o particular presta o serviço sob a fiscalização do poder público. A eficiência em relação ao usuário então traduz no benefício ou comodidade que ele espera desfrutar do serviço prestado pelo Estado, que decorre de um direito fundamental.

No caso das rodovias, a preocupação não só com o uso para fins de fortalecimento da indústria, agropecuária, como também para uso de qualquer indivíduo, pois é traço comum nos serviços, que estes sejam disponibilizados de maneira geral para a coletividade. Esta, portanto, é uma vertente que comporta análise da eficiência do serviço público na relação entre o Estado e o usuário. Por outro lado, a análise da eficiência da concessão em relação a concessionária para com o Estado, decorre do vínculo contratual.

Por fim, entre o usuário e a concessionária, esta é encarada como o próprio ente público prestando o serviço, inclusive para fins de responsabilidade, em que prevalece a natureza pública da prestação.

## 2.6 INDICADORES DE DESEMPENHO

Quando se trata de produtividade, é necessário se atentar aos indicadores de desempenho, eles serão os critérios capazes de mensurar o serviço. O desempenho, de acordo com Shinohara (2006), pode ser definido como a relação entre esforços e resultados. O processo de quantificar a eficiência e a efetividade, através de registro de ações ou atividades já realizadas.

A gestão do desempenho não envolve apenas o controle das ações, como também exige um ciclo de informações para dimensionar os resultados, numa espécie de retorno do que foi feito frente aos objetivos propostos. Neste sentido, a avaliação de desempenho visa identificar quanto, quando e onde o processo necessita de mudança para otimizar os resultados, proporcionando assim a revisão da política de gestão e superar a ineficiência.

Trazendo para o contexto da relação entre a concessionária e o poder público, sobretudo pelo vínculo contratual para administração das rodovias federais, importa destacar a regulação econômica. Esta tem o condão de simular o mercado competitivo e prever ganhos. Souza Júnior (2007) afirma que a avaliação de desempenho necessita do estabelecimento de objetivos e indicadores, pois a partir das informações coletadas, devem ser tomadas as medidas para realinhar a empresa.

As técnicas paramétricas para medir a eficiência são descritas pela função de custos ou de produção. De acordo com Serman (2008), a função de produção é baseada no máximo de produto que resulta da combinação de insumos em determinado período.

Ao passo que, a função de custo, está ligado ao preço dos insumos e suas quantidades. Rosa (2010) apresenta que existem as técnicas não-paramétricas, é utilizada para definir a relação de função de produto e superfície de produção eficiente, tendo em vista que as relações são empiricamente avaliadas.

No caso das concessões de rodovias no Brasil, o que se observa, é aplicação da abordagem DEA tanto para o caso de retornos constantes à escala (CCR) quanto para retornos variáveis (BCC) e orientação por *inputs*.

Essa abordagem avalia tipos de variáveis disponíveis, quantitativos quando se avalia a eficiência técnica e qualidade de preços, quando se avalia a eficiência econômica.

Segundo Rosa (2009), a técnica da Análise Envoltória de Dados é construída empiricamente a partir das melhores práticas, através das relações observadas nos insumos e produtos.

Ademais, o processo de fronteira não se baseia em tendências centrais, definida por uma superfície linear por partes e se apoia nas observações que ficam no topo do conjunto de dados.

O modo complexo como ocorre a avaliação dos resultados, que passa por analisar fatores de desempenho e produtividade, não se distancia da consideração das relações da concessionária com o poder público e com o usuário.

Notadamente que, cada critério e metodologia de avaliação pode sofrer alterações, considerando os objetivos da avaliação. Tanto é verdade que, se a análise quer considerar a relação entre o poder público e a concessionária, irá medir critérios de eficiência baseado na técnica, principalmente. Dessa forma, ganhará corpo a avaliação de que a concessionária prestará o serviço com vistas na qualidade do serviço público, cumprindo assim a finalidade mediata do contrato.

Todavia, se a análise diz respeito à relação da concessionária com o usuário, critérios como preço e qualidade serão conjugados, utilizando a opinião do destinatário do serviço para apurar as condições da prestação do serviço. Para a empresa, a análise de desempenho passa necessariamente por considerar a teoria da produtividade, uma vez que, a competitividade será um forte indicador para os objetivos da concessionária. Como mencionado, neste regime os preços devem remunerar os custos totais e conter uma margem que proporcione uma taxa interna de retorno atrativa ao investidor.

O equilíbrio financeiro do contrato de concessão é um ponto a se destacar, sobretudo na análise do desempenho uma vez que, no que diz respeito às diferentes regras adotadas nas concessões rodoviárias, dependendo do Poder Concedente, a duração do contrato se modifica, os indexadores utilizados para a correção monetária se alteram e o critério para a escolha do vencedor também. Tais diferenças, obviamente, implicam em diferenças nos valores das tarifas básicas de pedágio e nos padrões de qualidade do serviço prestado, e conseqüentemente, nos níveis de eficiência de cada modelo.

Para o caso dos modelos de concessões de rodovias no Brasil, o sucesso está condicionado à existência de marco regulatório (leis, contratos e agências) forte, devido, principalmente, à característica de incompletude dos contratos de concessão de serviço público. Dessa forma, no Brasil, é necessário considerar as deficiências existentes no processo de concessão de rodovias, seja ele federal ou estadual, e que estas ocorrem devido a imprecisão no sistema de concessões.

Neste sentido, pode se destacar, a falta de critérios quanto aos padrões de qualidade dos serviços prestados, pois o contrato, que é o documento que dispõe as normas que regem a concessão, traz a qualidade como critério amplo, dificultando uma análise precisa. Não obstante, merece destaque o fato de que, as agências reguladoras surgiram diante da necessidade da existência de um órgão competente para fiscalização e controle das atividades desenvolvidas no regime de concessão.

Diante disso, no caso da agência reguladora dos transportes ANTT, há pouca transparência quanto à composição do órgão gestor da agência reguladora e da origem dos recursos que compõem o orçamento das agências. Assim, o que a iniciativa privada questiona é a eficiência da própria agência em desempenhar suas funções, haja vista estar acostada junto à Administração Pública.

Devido a este ponto, faz-se necessário que as agências de fato sejam dotadas de autonomia administrativa e financeira para que os problemas da captura regulatória e assimetria de informação sejam suavizados e, conseqüentemente, aumente-se a eficiência dos modelos de concessões no Brasil. Ainda assim, a participação das agências reguladoras é fator importante para explicar os níveis de eficiência do setor. Ademais, há que se considerar que, a ineficiência no processo de concessão implica em prejuízo para o usuário e pode representar sérios obstáculos ao desenvolvimento econômico.

### 3 WEBIBLIOMINING

A bibliometria de acordo com Marconi e Lakatos (2003), é o ajuntamento de forma sistemática relacionada à produção bibliográfica disponível sobre um determinado tema ou área de estudo. Ainda segundo os Marconi e Lakatos (2003), as fontes primárias pesquisadas são livros, revistas, periódicos, cujo objetivo é ajudar o pesquisador na escolha de material já publicado.

Segundo Helder (2006), a pesquisa em documentos é realizada em documentos originais, que em muitas vezes, não foram tratadas de forma analítica. Em consonância com a afirmação de Helder (2006), Marconi e Lakatos (2003) acrescentam que as pesquisas documentais são fontes primárias da pesquisa. De acordo com Gil (2002), a pesquisa bibliográfica permite ao pesquisador ampliar seus conhecimentos sobre determinada área de conhecimento.

Na *Webibliomining* proposta por Costa (2010), o objetivo é a seleção de produções acadêmicas, que possibilitem ao pesquisador encontrar mais informações que poderão ser utilizadas na pesquisa em curso, criando assim um referencial teórico inicial a ser utilizado. Para Junior e Freitas (2017), *webibliomining* consiste em um modelo de mineração bibliográfica que junta bibliometria, *webmetria* e *infometria* apoiada em ferramentas computacionais.

A *Webibliomining* é uma metodologia de bibliometria para a compilação de trabalhos acadêmicos proposta por Costa (2010). Na proposta são definidas seis etapas apresentadas abaixo:

- Definição da amostra de pesquisa;
- Pesquisa da amostra por meio de palavras-chave;
- Identificação dos periódicos com maior número de publicações relacionadas ao tema;
- Identificação dos autores com maior número de publicações;
- Levantamento da cronologia da produção;
- Seleção dos artigos para compor o “ponto de partida” do referencial teórico, que deverá conter:

- Artigos mais relevantes;
- Identificação dos primeiros autores a escrever sobre o tema;
- Identificação dos textos mais relevantes em cada ciclo de maior produção.

### 3.1 AMOSTRA DA PESQUISA

Na metodologia proposta de Costa (2010), na etapa da amostra da pesquisa serão definidas as bases de dados onde serão realizadas as pesquisas. Podemos citar como exemplos de bases de produção acadêmica a *Web of Science*, *Scielo* e *Scopus*. Para a execução desta *webibliomining*, a base escolhida foi a *Scopus*. Para justificar a escolha, pode-se afirmar que atualmente ela congrega o maior acervo de artigos, resumos e citações de literatura científica. Online desde novembro de 2004, esta base conta com mais de 21.800 títulos e mais de 5.000 editoras internacionais cadastradas (SCOPUS, 2020). Para o acesso a esta base foi utilizado o portal da Capes; a consulta foi restringida à *Scopus* para validação da metodologia proposta por Costa (2010).

### 3.2 PALAVRAS-CHAVE

Após a escolha da base, a próxima etapa da metodologia *webibliomining* é a definição das palavras-chave que irão compor a *string* de busca a ser executada na base. Abaixo, as palavras-chave selecionadas para a execução:

- *Road concessionaires*;
- *Data envelopment analysis*;
- *Relative Efficiency*

Com a definição das palavras chaves, foi criada a *string* de consulta, onde foi considerado os campos “Título do Artigo”, “Palavras-Chave” e “Resumo”, que, na base *Scopus*, a escolhida para a consulta, é identificada por *TITLE-ABS-KEY*. A consulta foi realizada em 21 de novembro de 2020 e descrita assim: (*TITLE-ABS-KEY*

(concessions OR "road concessionaires" OR road) AND TITLE-ABS-KEY ("Data envelopment analysis" OR "Data Analysis") AND TITLE-ABS-KEY (efficiency OR "relative efficiency")) AND PUBYEAR < 2019. A pesquisa retornou 237 trabalhos (Figura 5).

Figura 10: Resultado de Busca de Artigos

The screenshot shows the Scopus search results interface. At the top, the Scopus logo and navigation links (Search, Sources, Lists, SciVal) are visible. The search query is displayed as: (TITLE-ABS-KEY (concessions OR "road concessionaires" OR road) AND TITLE-ABS-KEY ("Data envelopment analysis" OR "Data Analysis") AND TITLE-ABS-KEY (efficiency OR "relative efficiency")) AND PUBYEAR < 2019. Below the query, there are options to edit, save, set alerts, and set a feed. The main results area shows 237 document results. A table of results is displayed, with columns for Document title, Authors, Year, Source, and Cited by. The first result is: 1 Measuring eco-efficiency of production with data envelopment analysis, by Kuosmanen, T., and Kortelainen, M., published in 2005 in the Journal of Industrial Ecology, volume 9(4), pages 59-72, with 297 citations.

Fonte: O próprio autor.

### 3.3 RESULTADOS DA AMOSTRA

Na Tabela 1, é mostrado o resultado da amostra da pesquisa, onde fica evidenciado o tipo de publicação e a quantidade encontrada. Em uma rápida análise temos: 65% são revistas; anais de referências 26%; capítulo de livro 6%, livro 2% e revista de indústria 1%.

Tabela 1: Tipo de Publicação

<b>Tipo de Publicação</b>	<b>Quantidade</b>
<b>Revista</b>	156
<b>Anais de Conferência</b>	61
<b>Capítulo de Livro</b>	14
<b>Livro</b>	4
<b>Revista Indústria</b>	2
<b>Total</b>	<b>237</b>

Fonte: Próprio Autor

Na distribuição por país, a China está em 1º lugar com 58 publicações, seguida por Estados Unidos com 30 publicações; neste cenário o Brasil figura apenas na 13ª posição, com apenas 6 publicações.

Tabela 2: Países que mais publicam sobre o tema

<b>País</b>	<b>Quantidade</b>
<b>China</b>	58
<b>EUA</b>	30
<b>Índia</b>	21
<b>Itália</b>	18
<b>Canadá</b>	11
<b>Irã</b>	11
<b>Espanha</b>	10
<b>Taiwan</b>	9
<b>Austrália</b>	8
<b>Bélgica</b>	8
<b>Alemanha</b>	7
<b>Noruega</b>	7
<b>Brasil</b>	6

Fonte: Próprio Autor.

### 3.3.1 Autores por número de publicação

Na Tabela 3 abaixo são apresentados os o número de publicação por autores, onde temos Odeck, J. Em primeiro lugar com 7 publicações, no resultado que atende aos requisitos definidos na *string* de busca.

Tabela 3: Autores com maiores números de publicações

<b>Autores</b>	<b>Número de Publicações</b>
<b>Odeck, J.</b>	7
<b>Brijs, T.</b>	6
<b>Hermans, E.</b>	6
<b>Shen, Y.</b>	6
<b>Wets, G.</b>	5
<b>Gitto, S.</b>	4
<b>Mancuso, P.</b>	4
<b>Triantis, K.</b>	4
<b>Vanhoof, K.</b>	4
<b>Agarwal, S.</b>	3

Fonte: Próprio Autor

### 3.3.2 Cronologias das publicações

Nesta etapa da metodologia apresenta-se uma linha do tempo com a cronologia das publicações, em que temos o ano de 2018 o pico de publicações (32). Entre 2011 e 2014, a quantidade estabilizou-se entre 17 e 23 publicações.

Tabela 4: Cronologia das Publicações

<b>Ano</b>	<b>Quantidade de Publicações</b>
<b>2009</b>	10
<b>2010</b>	12
<b>2011</b>	17
<b>2012</b>	23
<b>2013</b>	17
<b>2014</b>	23
<b>2015</b>	18
<b>2016</b>	28
<b>2017</b>	24
<b>2018</b>	32

Fonte: Próprio Autor

### 3.3.3 Definindo o ponto de partida

Na proposta de Costa (2010), após a definição dos critérios e a efetiva realização da busca na Base Scopus, chega o momento da definição do ponto de partida do referencial teórico utilizado na pesquisa:

- 1) Seleção dos 5 artigos mais antigas da base (Quadro 16);
- 2) Seleção dos 15 artigos mais recentes (Quadro 17);
- 3) Seleção dos 15 artigos mais relevantes da base (Quadro 18). Neste item em especial na base Scopus utilizamos como parâmetro para medir a relevância do trabalho é considerado o maior número de citações.

O objetivo deste artifício proposta por Costa (2010) é compilar publicações com autores com linhas de pensamento diferentes de maneira a enriquecer a coletânea de trabalhos.

a) Os 5 artigos mais antigos da base

**Quadro 16: Os 5 artigos mais antigos da base**

<b>Título documento</b>	<b>Autor (es)</b>	<b>Ano de Publicação</b>	<b>Origem (Periódico)</b>
RETRACTED ARTICLE: Road freight enterprise management efficiency evaluation based on the data envelopment analysis	Yong, L., Guo, X.	2009	Proceedings - 2009 International Conference on Industrial and Information Systems, IIS 2009
Public financing, private provision: The measure of comparative efficiency   [Financiación pública, provisión privada: La medida de la eficiencia comparada]	Tarazona, M.C., Consuelo, D.V., Clemente, I.M.	2009	Revista de Administracion Sanitaria
Evaluation of highway maintenance performance using Data Envelopment Analysis (DEA) in Taiwan	Wang, L.-C., Tsai, H.-Y.	2009	Journal of Marine Science and Technology
Eurofot: European large-scale field operational test on active safety systems	Alessandretti, G., Amditis, A., Etemad, A., Kessler, C.	2009	16th ITS World Congress
Benchmarking global railway freight transportation efficiency during the period of 1980-2004	Hilmola, O.-P.	2009	International Journal of Shipping and Transport Logistics

Fonte: Webibliomining Scopus pelo próprio autor.

## b) Os 15 artigos mais recentes da base.

Quadro 17: Os 15 artigos mais recentes da base (continua)

<b>Título documento</b>	<b>Autor (es)</b>	<b>Ano de Publicação</b>	<b>Origem (Periódico)</b>
Energy efficiency measurement of Chinese Yangtze River Delta's cities transportation: a DEA window analysis approach	Chen, X., Gao, Y., An, Q., Wang, Z., Neralić, L.	2018	Energy Efficiency 11(8), pp. 1941-1953
Managerial performance of airports in Brazil before and after concessions	Fernandes, E., Pacheco, R.R.	2018	Transportation Research Part A: Policy and Practice 118, pp. 245-257
Solar Highway in Bangladesh Using Bifacial PV	Mahmud, M.S., Wazedurrahman, Md., Hossain Lipu, M.S., (...), Mahbubur Rahman, M., Islam, M.A.	2018	2018 IEEE International Conference on System, Computation, Automation and Networking, ICSCA 2018 8541253
Is transportation infrastructure important to the One Belt One Road (OBOR) initiative? Empirical evidence from the selected Asian countries	Yii, K.-J., Bee, K.-Y., Cheam, W.-Y., Chong, Y.-L., Lee, C.-M.	2018	Sustainability (Switzerland) 10(11),4131
DeepSTCL: A Deep Spatio-temporal ConvLSTM for Travel Demand Prediction	Wang, D., Yang, Y., Ning, S.	2018	Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks 2018-July,8489530
Patterns of change: The dynamics of medicinal plant trade in far-western Nepal	Pyakurel, D., Bhattarai Sharma, I., Smith-Hall, C.	2018	Journal of Ethnopharmacology 224, pp. 323-334
Evaluation of road safety policies performance across Europe: Results from benchmark analysis for a decade	Nikolaou, P., Dimitriou, L.	2018	Transportation Research Part A: Policy and Practice 116, pp. 232-246

Quadro 17: Os 15 artigos mais recentes da base (conclusão)

Novel Bench-Based Inspection Approach for Automobile Ant-Lock Braking System	Zhao, X., Hao, R., Zhou, Z., Ashour, A., Dey, N.	2018	International Journal of Automotive Technology 19(5), pp. 825-836
Determining the influential factors of dry port operations: worldwide experiences and empirical evidence from Malaysia	Jeevan, J., Chen, S.-L., Cahoon, S.	2018	Maritime Economics and Logistics 20(3), pp. 476-494
Detection and Analysis Algorithms of punctual road events from vehicular data in the search for the optimal route An Overview of the AMNAM platform	Rezgui, J., Dally-Bélanger, P., Rivest, P.	2018	2018 14th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference, IWCMC 2018 8450535, pp. 328-333
Research on model of road traffic data based on large data of video	Guo, Y., Li, X., Wang, X., Yin, X.	2018	2017 International Conference on Computer Systems, Electronics and Control, ICCSEC 2017 8446832, pp. 96-99
Side-slip Angle Estimation of Autonomous Road Vehicles Based on Big Data Analysis	Fenyés, D., Nemeth, B., Asszonyi, M., Gaspar, P.	2018	MED 2018 - 26th Mediterranean Conference on Control and Automation 8443010, pp. 849-854
Data analysis of expressway under single point accident based on dynamic speed control	Chen, D.-S., Wang, K.	2018	ACM International Conference Proceeding Series pp. 159-164
Examining travel patterns and characteristics in a bikesharing network and implications for data-driven decision supports: Case study in the Washington DC area	Xie, X.-F., Wang, Z.J.	2018	Journal of Transport Geography 71, pp. 84-102
Multimodal data modeling for efficiency assessment of social priority based urban bus route transportation system using GIS and data envelopment analysis	Singh, P., Singh, A.K., Singh, P., Kumari, S., Sangaiah, A.K.	2018	Multimedia Tools and Applications pp. 1-19

Fonte: Webibliomining Scopus pelo próprio autor.

c) Os 18 artigos de maior relevância da base (aqui é usado como referência o número de citação)

Quadro 18: Os 18 artigos de maior relevância da base (aqui é usado como referência o número de citação)

<b>Título documento</b>	<b>Autor (es)</b>	<b>Ano Publicação</b>	<b>Origem (Periódico)</b>	<b>Citações</b>
Measuring eco-efficiency of production with data envelopment analysis	Kuosmanen, T., Kortelainen, M.	2005	Journal of Industrial Ecology 9(4), pp. 59-72	298
Vehicular social networks: Enabling smart mobility	Ning, Z., Xia, F., Ullah, N., Kong, X., Hu, X.	2017	IEEE Communications Magazine 55(5), 7926916, pp. 49-55	175
A holistic approach to compare energy efficiencies of different transport modes	Ramanathan, R.	2000	Energy Policy 28(11), pp. 743-747	89
Potential crash risks of expressway on-ramps and off-ramps: A case study in Beijing, China	Qu, X., Yang, Y., Liu, Z., Jin, S., Weng, J.	2014	Safety Science 70, pp. 58-62	62
New evidence on the efficiency of Italian airports: A bootstrapped DEA analysis	Curi, C., Gitto, S., Mancuso, P.	2011	Socio-Economic Planning Sciences 45(2), pp. 84-93	59
Road safety risk evaluation and target setting using data envelopment analysis and its extensions	Shen, Y., Hermans, E., Brijs, T., Wets, G., Vanhoof, K.	2012	Accident Analysis and Prevention 48, pp. 430-441	54
Bootstrapping the Malmquist indexes for Italian airports	Gitto, S., Mancuso, P.	2012	International Journal of Production Economics 135(1), pp. 403-411	51

The Italian airport industry in transition: A performance analysis	Curi, C., Gitto, S., Mancuso, P.	2010	Journal of Air Transport Management 16(4), pp. 218-221	50
Benchmarking road safety of U.S. states: A DEA-based Malmquist productivity index approach	Egilmez, G., McAvoy, D.	2013	Accident Analysis and Prevention 53, pp. 55-64	48
Identifying traffic safety best practice: An application of DEA and Malmquist indices	Odeck, J.	2006	Omega 34(1), pp. 28-40	44
A generalized multiple layer data envelopment analysis model for hierarchical structure assessment: A case study in road safety performance evaluation	Shen, Y., Hermans, E., Ruan, D., (...), Brijs, T., Vanhoof, K.	2011	Expert Systems with Applications 38(12), pp. 15262-15272	43
Estimating energy consumption of transport modes in India using DEA and application to energy and environmental policy	Ramanathan, R.	2005	Journal of the Operational Research Society 56(6), pp. 732-737	43
On balancing supply chain efficiency and environmental impacts: An eco-DEA model applied to the dry port sector of India	Haralambides, H., Gujar, G.	2012	Maritime Economics and Logistics 14(1), pp. 122-137	38
Evaluating public sector efficiency with data envelopment analysis (DEA): A case study in	Husain, N., Abdullah, M., Kuman, S.	2000	Total Quality Management 11(4-6), pp. 830-836	36

Road Transport Department, Selangor, Malaysia				
State road transport undertakings in India: technical efficiency and its determinants	Kumar, S.	2011	Benchmarking: An International Journal 18(5), pp. 616-643	29
Public road transport efficiency: A literature review via the classification scheme	Jarboui, S., Forget, P., Boujelbene, Y.	2012	Public Transport 4(2), pp. 101-128	29
Benchmarking operational efficiency in the integrated water service provision: Does contract type matter?	Storto, C.L.	2014	Benchmarking 21(6), pp. 917-943	20

Fonte: Webibliomining Scopus pelo próprio autor.

Quadro 19: Compilação dos tópicos a, b e c.

<b>Título documento</b>	<b>Autor (es)</b>	<b>Ano Publicação</b>	<b>Origem (Periódico)</b>
RETRACTED ARTICLE: Road freight enterprise management efficiency evaluation based on the data envelopment analysis	Yong, L., Guo, X.	2009	Proceedings - 2009 International Conference on Industrial and Information Systems, IIS 2009
Public financing, private provision: The measure of comparative efficiency   [Financiación pública, provisión privada: La medida de la eficiencia comparada]	Tarazona, M.C., Consuelo, D.V., Clemente, I.M.	2009	Revista de Administracion Sanitaria
Evaluation of highway maintenance performance using Data Envelopment Analysis (DEA) in Taiwan	Wang, L.-C., Tsai, H.-Y.	2009	Journal of Marine Science and Technology
Eurofot: European large-scale field operational test on active safety systems	Alessandretti, G., Amditis, A., Etemad, A., Kessler, C.	2009	16th ITS World Congress

Benchmarking global railway freight transportation efficiency during the period of 1980-2004	Hilmola, O.-P.	2009	International Journal of Shipping and Transport Logistics
Energy efficiency measurement of Chinese Yangtze River Delta's cities transportation: a DEA window analysis approach	Chen, X., Gao, Y., An, Q., Wang, Z., Neralić, L.	2018	Energy Efficiency 11(8), pp. 1941-1953
Managerial performance of airports in Brazil before and after concessions	Fernandes, E., Pacheco, R.R.	2018	Transportation Research Part A: Policy and Practice 118, pp. 245-257
Solar Highway in Bangladesh Using Bifacial PV	Mahmud, M.S., Wazedurrahman, Md., Hossain Lipu, M.S., (...), Mahbubur Rahman, M., Islam, M.A.	2018	2018 IEEE International Conference on System, Computation, Automation and Networking, ICSCA 2018 8541253
Is transportation infrastructure important to the One Belt One Road (OBOR) initiative? Empirical evidence from the selected Asian countries	Yii, K.-J., Bee, K.-Y., Cheam, W.-Y., Chong, Y.-L., Lee, C.-M.	2018	Sustainability (Switzerland) 10(11),4131
DeepSTCL: A Deep Spatio-temporal ConvLSTM for Travel Demand Prediction	Wang, D., Yang, Y., Ning, S.	2018	Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks 2018-July,8489530
Patterns of change: The dynamics of medicinal plant trade in far-western Nepal	Pyakurel, D., Bhattarai Sharma, I., Smith-Hall, C.	2018	Journal of Ethnopharmacology 224, pp. 323-334
Evaluation of road safety policies performance across Europe: Results from benchmark analysis for a decade	Nikolaou, P., Dimitriou, L.	2018	Transportation Research Part A: Policy and Practice 116, pp. 232-246

Novel Bench-Based Inspection Approach for Automobile Ant-Lock Braking System	Zhao, X., Hao, R., Zhou, Z., Ashour, A., Dey, N.	2018	International Journal of Automotive Technology 19(5), pp. 825-836
Determining the influential factors of dry port operations: worldwide experiences and empirical evidence from Malaysia	Jeevan, J., Chen, S.-L., Cahoon, S.	2018	Maritime Economics and Logistics 20(3), pp. 476-494
Detection and Analysis Algorithms of punctual road events from vehicular data in the search for the optimal route An Overview of the AMNAM platform	Rezgui, J., Dally-Bélanger, P., Rivest, P.	2018	2018 14th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference, IWCMC 2018 8450535, pp. 328-333
Research on model of road traffic data based on large data of video	Guo, Y., Li, X., Wang, X., Yin, X.	2018	2017 International Conference on Computer Systems, Electronics and Control, ICCSEC 2017 8446832, pp. 96-99
Side-slip Angle Estimation of Autonomous Road Vehicles Based on Big Data Analysis	Fenyés, D., Nemeth, B., Asszonyi, M., Gaspar, P.	2018	MED 2018 - 26th Mediterranean Conference on Control and Automation 8443010, pp. 849-854
Data analysis of expressway under single point accident based on dynamic speed control	Chen, D.-S., Wang, K.	2018	ACM International Conference Proceeding Series pp. 159-164
Examining travel patterns and characteristics in a bikesharing network and implications for data-driven decision supports: Case study in the Washington DC area	Xie, X.-F., Wang, Z.J.	2018	Journal of Transport Geography 71, pp. 84-102
Multimodal data modeling for efficiency assessment of social priority based urban bus route transportation	Singh, P., Singh, A.K., Singh, P., Kumari, S., Sangaiah, A.K.	2018	Multimedia Tools and Applications pp. 1-19

system using GIS and data envelopment analysis			
Measuring eco-efficiency of production with data envelopment analysis	Kuosmanen, T., Kortelainen, M.	2005	Journal of Industrial Ecology 9(4), pp. 59-72
Vehicular social networks: Enabling smart mobility	Ning, Z., Xia, F., Ullah, N., Kong, X., Hu, X.	2017	IEEE Communications Magazine 55(5), 7926916, pp. 49-55
A holistic approach to compare energy efficiencies of different transport modes	Ramanathan, R.	2000	Energy Policy 28(11), pp. 743-747
Potential crash risks of expressway on-ramps and off-ramps: A case study in Beijing, China	Qu, X., Yang, Y., Liu, Z., Jin, S., Weng, J.	2014	Safety Science 70, pp. 58-62
New evidence on the efficiency of Italian airports: A bootstrapped DEA analysis	Curi, C., Gitto, S., Mancuso, P.	2011	Socio-Economic Planning Sciences 45(2), pp. 84-93
Road safety risk evaluation and target setting using data envelopment analysis and its extensions	Shen, Y., Hermans, E., Brijs, T., Wets, G., Vanhoof, K.	2012	Accident Analysis and Prevention 48, pp. 430-441
Bootstrapping the Malmquist indexes for Italian airports	Gitto, S., Mancuso, P.	2012	International Journal of Production Economics 135(1), pp. 403-411
The Italian airport industry in transition: A performance analysis	Curi, C., Gitto, S., Mancuso, P.	2010	Journal of Air Transport Management 16(4), pp. 218-221
Benchmarking road safety of U.S. states: A DEA-based Malmquist productivity index approach	Egilmez, G., McAvoy, D.	2013	Accident Analysis and Prevention 53, pp. 55-64

Identifying traffic safety best practice: An application of DEA and Malmquist indices	Odeck, J.	2006	Omega 34(1), pp. 28-40
A generalized multiple layer data envelopment analysis model for hierarchical structure assessment: A case study in road safety performance evaluation	Shen, Y., Hermans, E., Ruan, D., (...), Brijs, T., Vanhoof, K.	2011	Expert Systems with Applications 38(12), pp. 15262-15272
Estimating energy consumption of transport modes in India using DEA and application to energy and environmental policy	Ramanathan, R.	2005	Journal of the Operational Research Society 56(6), pp. 732-737
On balancing supply chain efficiency and environmental impacts: An eco-DEA model applied to the dry port sector of India	Haralambides, H., Gujar, G.	2012	Maritime Economics and Logistics 14(1), pp. 122-137
Evaluating public sector efficiency with data envelopment analysis (DEA): A case study in Road Transport Department, Selangor, Malaysia	Husain, N., Abdullah, M., Kuman, S.	2000	Total Quality Management 11(4-6), pp. 830-836
Two faces of airport business: A non-parametric analysis of the Italian airport industry	Gitto, S., Mancuso, P.	2012	Journal of Air Transport Management 20, pp. 39-42
State road transport undertakings in India: technical efficiency and its determinants	Kumar, S.	2011	Benchmarking: An International Journal 18(5), pp. 616-643
Public road transport efficiency: A literature review via the classification scheme	Jarboui, S., Forget, P., Boujelbene, Y.	2012	Public Transport 4(2), pp. 101-128

Fonte: Webibliomining Scopus pelo próprio autor.

### 3.3.4 Discussão da bibliometria

Nesta sessão de discussão é realizada uma análise sucinta sobre uma porção da amostra dos arquivos selecionados nesta pesquisa e que constam dentro das listas compiladas, seguindo a proposta de Costa (2010).

Kumar (2011) no artigo *State road transport undertakings in India: technical efficiency and its determinants*, abordou três modelos clássicos de análise envoltória de dados, a constar CCR, BCC e Andersen and Petersen's super-efficiency. Utiliza ainda Regressão Tobit que foi conduzida para ver quais fatores explicam significativamente as variações de eficiência entre as empresas públicas de transporte rodoviário. Esse estudo procurou particularmente analisar as diferenças de eficiência técnicas entre essas empresas e os significativos determinantes que explicar as diferenças de eficiência observadas.

Shen, Hermans, Da Ruan, Wets, Brijs e Vanhool (2011) em *A generalized multiple layer data envelopment analysis model for hierarchical structure assessment: A case study in road safety performance evaluation*, realizaram um estudo em que apresentam a análise envoltória de dados (DEA) como uma ferramenta de pesquisa analítica poderosa para medir a eficiência relativa de um conjunto homogêneo de unidade de tomada de decisão (DMUs) pela obtenção de estimativas empíricas de relações entre várias entradas e várias saídas relacionadas a essas DMUs. Eles ainda propõem incorporar mais multicamadas de estruturas hierárquicas dessas entradas e saídas na estrutura DEA, introduzindo um modelo DEA de multicamadas generalizado (MLDEA) onde apresenta grande eficácia em lidar com muitas atividades de avaliação.

Storto (2014) em seu artigo *Benchmarking operational efficiency in the integrated water service provision*, investiga se existe alguma associação com taxa de eficiência operacional (ATO) na indústria de gestão integrada de água na Itália, também tipos de prestadores de serviços, e a natureza dos contratos de concessão desses serviços. Usando o método (DEA) para calcular a taxa de eficiência operacional (ATO) em um procedimento de regressão buscando realizar a investigação de efeito no tipo de contrato ofertado. Os resultados mostram que as tipologias do provedor de serviços de água e de contrato de trabalho estão associadas à eficiência. Mostra que a eficiência operacional é maior naqueles ATOs onde a concessão de abastecimento de água contratos que se enquadram nos esquemas do novo quadro legislativo

prevalecem ou onde os serviços são maioritariamente fornecidos por um capital privado ou por empresas público-privadas/mistas.

Jarboui, Forget e Boujelbene (2012) em *Public road transport efficiency: a literature review via the classification scheme*, realizaram uma revisão da literatura sobre a eficiência do transporte público rodoviário. Com base em periódicos, data de publicação, a natureza dos artigos, foram classificados 24 artigos publicados entre 2000 e 2011, o contexto do estudo, a abordagem adotada pelo qual a eficiência é medida e as saídas e entradas adotadas. Esses resultados são apresentados, discutidos e então geradas direções futuras. A técnica que mostra a aplicação da abordagem mista de dados Análise de envoltória (DEA) e análise estocástica de fronteira (SFA), com operadores de diferentes nacionalidades, sendo mais robusto para a análise da eficiência do transporte público, e para identificar fontes de ineficiência. Variáveis financeiras são entradas e saídas importantes propostas para estudos de eficiência. Embora a literatura de fronteira tenha substancialmente contribuído para o conhecimento das tecnologias de transporte público e seus determinantes de desempenho, descobriu-se que muitas questões importantes permanecem sem uma devida solução.

### **3.3.5 Resultados da bibliometria**

Este trabalho de pesquisa tem como objetivo principal a compilação de um referencial teórico inicial a ser usado no desenvolvimento de pesquisas relativas à concessão de rodovias, sobretudo as federais, e realizar a análise de eficiência dessas concessões, para isso lançou-se mão da técnica de *webibliomining* desenvolvida por Costa (2010). Na aplicação da metodologia e ao se realizar a análise dos resultados da *webibliomining* pode-se identificar de maneira eficaz a listagem dos 10 autores que possuem maior número de trabalhos publicados na base Scopus, também pode-se identificar o número de publicações por ano de publicação para a comunidade acadêmica. O fato de aplicar a metodologia em somente a Base Scopus não afetou de maneira significativa os resultados obtidos e nos permite a validação da metodologia, que pode ser aplicada em outras bases.

## 4 ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS

A técnica Análise Envoltória de Dados, do inglês "*Data Envelopment Analysis*" (DEA), é uma abordagem não paramétrica, apoiada no trabalho seminal de Farrell (1957) e introduzido formalmente por Charnes, Cooper e Rhodes (1978), para definir a produtividade total dos fatores de produção com uso de programação linear (AHN; CHARNES; COOPER, 1988).

Antes de entrar em detalhes sobre a própria, é conveniente revisar as noções de eficiência propostas por Farrell (1957). A proposta de Farrell é visualizar a eficiência de uma perspectiva real não ideal, onde cada unidade tomadora de decisão, do inglês "Decision Making Units" (DMU), é avaliada em relação a outras retiradas de um grupo representativo e comparável (MACEDO; JAMIL, 2019). Assim, as medidas de eficiência seriam relativas e não absolutas, onde o valor atingido por uma determinada DMU corresponde a uma expressão do desvio observado em relação aos considerados mais eficientes, dadas as informações disponíveis. Nesse sentido, a metodologia proposta por Farrell é uma técnica baseada no conceito de "benchmark" ou referenciamento (SOUZA, 2018).

O conceito de "benchmark" é um conjunto mais ou menos extenso de DMU comparáveis entre si, com a particularidade de que utilizam o mesmo tipo de recursos ou fatores para produzir um conjunto de produtos similares ou equivalentes.

A partir da hipótese de que a fronteira de eficiência seja conhecida, então seria possível calcular índices que quantificam esses três tipos de eficiência. Primeiro, estudam-se medidas de eficiência a partir de uma orientação baseada no uso de recursos; em outras palavras, com base na premissa de analisar quanto o uso de recursos pode ser reduzido proporcionalmente sem alterar as quantidades produzidas (CHARNES; COOPER; RHODES, 1978). Para fazer uma representação diagramática, pode-se considerar o caso em que um único produto é produzido com dois recursos ou fatores (ALVES, 2018).

A curva de oferta ou curva supply (SS) é uma representação gráfica da correlação entre o custo de um bem ou serviço e a quantidade fornecida por um determinado período (BANKER; CHARNES; COOPER, 1984). Em uma ilustração típica, o preço aparecerá no eixo vertical esquerdo, enquanto a quantidade fornecida aparecerá no eixo horizontal (POSSAMAI, 2006).

A curva SS 'quantifica as combinações de recursos  $x_1$  e  $x_2$  necessárias para produzir uma unidade de produto, sob condições de eficiência máxima. Portanto, qualquer DMU que use combinações de recursos acima da curva, por exemplo, ponto P, teria que ser considerada menos eficiente (ENGLERT, 2007). Por outro lado, o ponto Q corresponderia a uma DMU eficiente, pois, comparado a P, o uso de ambos os recursos é reduzido, de maneira equiproporcional e produz a mesma quantidade. Portanto, se medir a distância entre P e Q, ter-se-ia uma medida de quanto o uso de recursos pode ser reduzido, sem alterar a produção e calcular o índice de eficiência técnica (POSSAMAI, 2006).

A história da DEA começa em 1978, na conferência de Edward Rhodes, em que trata sobre as “Análise e Abordagens de Envelope de Dados para Medir a Eficiência da Decisão-Educação” (AHN; CHARNES; COOPER, 1988). O problema consistia em avaliar a eficiência relativa de uma série de escolas que envolviam o gerenciamento de múltiplos parâmetros de entrada e saída, sem usar as técnicas tradicionais baseadas essencialmente em modelos econômicos de estudos de preços. A resposta para esse problema representou a primeira formulação matemática do DEA, na sua variante CCR (modelo desenvolvido por Charnes, Cooper e Rhodes) (SOUZA, 2018).

A metodologia DEA requer um primeiro passo importante que consiste em identificar o conjunto de possibilidades de produção do problema, ou seja, definir os possíveis pontos operacionais. As duas alternativas mais comuns são as tecnologias chamadas Constant Return to Scale (CRS) e Variable Return to Scale (VRS) (LEAL *et al.*, 2019). A abordagem CRS considera qualquer combinação linear das DMUs observadas como uma unidade admissível dentro do problema, enquanto na tecnologia VRS apenas as combinações lineares convexas são consideradas admissíveis (DE OLIVEIRA; OTT; ALVES, 2018).

Uma segunda etapa é selecionar o modelo DEA apropriado para o problema a ser resolvido. Existem muitos modelos de DEA, todos com o mesmo objetivo: encontrar um ponto admissível de maior produtividade com o qual as diferentes DMUs do problema possam ser comparadas. Dessa forma, dado um determinado DMU0 (DMU zero), é formulado um modelo de programação linear que procura uma combinação linear das DMUs existentes, definindo assim um conjunto de pontos tecnologicamente aceitável que use menos entradas que DMU0 e / ou produza mais saídas que DMU0 (CHARNES; COOPER; RHODES, 1978).

Se nenhum ponto dominar o DMU0, será chamado de unidade eficiente (global no caso do CRS e tecnicamente eficiente no caso do VRS). Quando uma unidade domina outra, é porque a tecnologia considerada possui menos entradas e / ou mais saídas. Se, por outro lado, o DMU0 não for eficiente, o modelo o projeta na fronteira eficiente e mede a eficiência do DMU0 em termos de redução do consumo de insumos e aumento da produção (POSSAMAI, 2006).

Existem diferentes maneiras de projetar e medir a distância entre o DMU0 e o ponto em que ele é projetado. Assim, a orientação de entrada consiste em reduzir o máximo possível de todos os recursos de maneira equitativa, sem reduzir os resultados. Por outro lado, a orientação da saída consiste em aumentar os produtos da forma mais proporcional possível, sem aumentar as entradas (BANKER; CHARNES; COOPER, 1984). Existem modelos não radiais com orientação de entrada ou saída, bem como modelos com orientação de entrada e saída que tentam obter redução de recursos e aumento de produtos (DE OLIVEIRA; OTT; ALVES, 2018).

As vantagens e desvantagens da técnica DEA para avaliar eficiência.

Quadro 20: Vantagens e Desvantagens DEA

<b>Técnica</b>	<b>Vantagem</b>	<b>Desvantagem</b>
Análise por Envoltória de Dados	Analisa múltiplos produtos e múltiplos insumos sem a especificação de nenhuma forma funcional. Determinar uma fronteira linear por partes compreendidas pelo conjunto de DMU's. Apresenta uma flexibilidade nos pesos.	Amostra não pode ser muito grande, pois pode causar distorções no resultado.

Fonte: Pelo próprio autor.

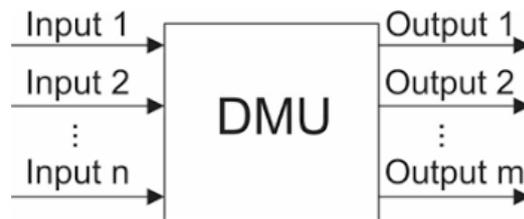
Devido a desenvolvimentos nos últimos anos, o objetivo, as aplicações e as perspectivas futuras da DEA se estenderam além desse conceito inicial (LEAL *et al.*, 2019). O DEA e seus aplicativos (softwares) facilitam uma nova abordagem para analisar e organizar dados. Assim, tornou-se uma alternativa e um complemento às análises tradicionais paramétricas, fornecendo também um novo ponto de vista para análises de custo-benefício, estimativa de fronteiras, desenho de estratégia, uso de características dos principais elementos e indução de teorias a partir de observações

externas (ALVES, 2018). Com isso, optou-se pela utilização de DEA para que este seja distribuído de maneira justa entre todas as unidades de uma corporação (AHN; CHARNES; COOPER, 1988).

Antes de apresentar os modelos básicos de DEA, explica-se os conceitos básicos nos quais esses modelos serão baseados. Deve-se ter em mente que a Análise de dados é usada para avaliar a eficiência relativa das unidades de produção que fabricam de maneira semelhante. Portanto, pode-se primeiro examinar um dos conceitos que definem a DEA: unidade produtiva, para desenvolver posteriormente o restante (ENGLERT, 2007).

Qualquer organização que produz determinados recursos, com a capacidade de modificar o nível de recursos consumidos (entradas) e o nível de produção criado (saídas). Devido a essa capacidade de tomada de decisão, outro nome também é usado para esse conceito, na nomenclatura anglo-saxônica, DMU (D unidade de tomada de decisão).

Figura 11: Fluxo variáveis de uma DMU



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

A produtividade, segundo Farrel (1957), de uma determinada unidade produtiva é definida como a relação entre os resultados obtidos e os recursos utilizados em sua produção. É uma maneira de medir como esses recursos estão sendo usados. No caso de uma única saída e uma única entrada:

Figura 12: Fórmula Produtividade

$$\text{Produtividade} = \frac{\text{Produção criada}}{\text{Recurso consumido}} = \frac{\text{Saída}}{\text{Entrada}}$$

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Na mensuração da produtividade, é necessário determinar os fatores que são realmente relevantes em relação à produção dos produtos da unidade produtiva (AHN;

CHARNES; COOPER, 1988). Em alguns casos, também há dificuldade em medir o nível de entradas e saídas, pois os recursos ou produtos podem não ser facilmente mensuráveis. Finalmente, uma vez que as medições foram feitas, é necessário ter um critério para adicionar entradas e saídas que possuem unidades de medida diferentes (POSSAMAI, 2006).

No caso de várias entradas e saídas, a expressão matemática proposta é:

Figura 13: Fórmula Eficiência

$$\text{Eficiência} = \frac{\sum \text{pesos} \times \text{Produtos}}{\sum \text{pesos} \times \text{Insumos}} = \frac{\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i X_{ij}}$$

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Onde  $u_r$  e  $v_i$  são pesos que refletem a importância relativa dos  $R$  *outputs* ( $Y$ ) e  $I$  *inputs* ( $X$ ), onde  $S$  e  $M$  são usualmente maiores que uma unidade.

Denotando como  $x_{ij}$  a quantidade de entrada ou recurso 'i' usado pela unidade 'j' e como  $y_{kj}$  a quantidade de saída ou resultado 'k' que a mesma unidade produz, obtemos as expressões:

Figura 14: Entrada e Saída Virtual

$$\text{Entrada virtual}_j = \sum_{i=1}^m u_{ij} x_{ij}$$

$$\text{Saída virtual}_j = \sum_{k=1}^s v_{kj} y_{kj}$$

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Onde os termos  $u_{ij}$  e  $v_{kj}$  são, respectivamente, os pesos correspondentes a cada entrada e saída, que não dimensionam as expressões virtuais de entrada e saída,  $m$  o número total de entradas consideradas e  $s$  o número de unidades de saída (NEVES;

BERTUSSI, 2019). Com esses novos conceitos, a produtividade pode ser definida como:

Figura 15: Fórmula Produtividade

$$\text{Produtividade}_i = \frac{\sum_{k=1}^s v_{kj} y_{kj}}{\sum_{i=1}^m u_{ij} x_{ij}}$$

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Com essa expressão, a produtividade de uma unidade produtiva pode ser determinada. No entanto, o interessante é ter um índice que permita comparar algumas unidades com outras similares. Portanto, devemos usar um novo conceito: eficiência relativa (BANKER; CHARNES; COOPER, 1984).

A expressão que define eficiência relativa é:

Figura 16: Eficiência Relativa

$$\text{Eficiência}_j = \frac{\text{Produtividade}_j}{\text{Produtividade}_{Max}} = \frac{\text{Saída virtual}_j / \text{Entrada virtual}_j}{\text{Saída virtual}_{Max} / \text{Entrada virtual}_{Max}}$$

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Onde o índice 'j' indica a unidade a ser estudada e o índice 'Max' a unidade de produtividade máxima. Vários tipos de eficiência relativa podem ser distinguidos dependendo da unidade de referência usada:

Fala-se em eficiência global quando é escolhida como unidade de referência aquela com maior produtividade entre os estudados. Eficiência técnica é utilizada quando é escolhida a unidade de maior produtividade entre as unidades de seu tamanho como unidade de referência (SERRANO *et al.*, 2017).

A eficiência da escala é definida como a razão entre eficiência geral e eficiência técnica (POSSAMAI, 2006). Todos esses conceitos introduzidos até agora serão vistos abaixo com um exemplo prático.

#### 4.1 MODELOS DEA

Nesta seção, os modelos básicos de DEA serão desenvolvidos, tanto para o retorno constante da escala quanto para o retorno variável da escala, a partir do modelo mais básico: modelo de razão (CHARNES; COOPER; RHODES, 1978). Nos modelos apresentados nesta seção, as unidades tomam como referência a DMU aquela com maior produtividade entre as observadas no cálculo de sua eficiência relativa (SERRANO *et al.*, 2017).

Ao calcular a eficiência de cada unidade, se tem a liberdade de escolher os pesos que convertem a entrada e a saída agregadas em valores sem dimensão (CHARNES; COOPER; RHODES, 1978). Com a metodologia DEA, cada unidade escolherá os valores dos pesos que otimizam sua eficiência, considerando que, uma vez escolhidos, serão utilizados pelas outras unidades (DOS SANTOS LEAL *et al.*, 2019). Portanto, cada unidade comparará sua produtividade com as demais estudadas, utilizando em cada comparação os pesos com os quais sua eficiência é melhor.

Antes de começar a propor os modelos, deve-se levar em consideração o que cada subscrito indica (NEVES; BERTUSSI, 2019):

- a)  $j = 1, 2, \dots, n$  subscrito para DMU  $i = 1, 2, \dots, m$  subscrito para entradas  $k = 1, 2, \dots, s$  subscrito para saídas;
- b)  $x_{ij}$  quantidade de entrada consumida pela DMU  $j$ ;
- c)  $y_{kj}$  quantidade de produção  $k$  produzida por DMU  $j$ .

Propõe-se um modelo que maximize a eficiência, com liberdade para escolher pesos. Analiticamente, é expresso da seguinte maneira:

**Figura 17: Eficiência Maximizada**

$$\text{MAX} = \left[ h_j = \frac{\sum_{k=1}^s v_{kj} y_{kj}}{\sum_{i=1}^m u_{ij} x_{ij}} \right] \quad \begin{array}{l} \frac{\sum_{k=1}^s v_{kj} y_{kj}}{\sum_{i=1}^m u_{ij} x_{ij}} < 1; \quad j = 1, 2, \dots, n \\ v_{kj} \geq \varepsilon; \quad k = 1, 2, \dots, s \\ u_{ij} \geq \varepsilon; \quad i = 1, 2, \dots, m \end{array}$$

\*s.a.: restrições.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Onde  $\varepsilon$  é um número real estritamente positivo. Este valor representa uma constante não-arquimediana (menor que qualquer número real positivo) e, portanto, nas restrições em que aparece, os pesos são forçados a nunca serem nulos. O DMU em estudo é indicado com o índice  $J$  (DE OLIVEIRA; OTT; ALVES, 2018).

O modelo consiste na solução de  $n$  problemas de maximização, como o apresentado acima, correspondentes a cada uma das unidades cuja eficiência deve ser avaliada. A função objetivo seleciona os pesos que maximizam a eficiência  $h_J$  da DMU em estudo (NEVES; BERTUSSI, 2019).

Há uma restrição para cada unidade existente no problema, o que força que nenhuma DMU possa ter uma eficiência maior que um. Essa é a limitação que os pesos têm quando cada unidade tenta fazê-los obter o valor máximo possível. Ou seja, toda vez que você tenta impor pesos que garantem alta eficiência, se deve garantir ao mesmo tempo que nenhuma DMU no problema tenha uma eficiência inaceitável (maior que um) (ALVES, 2018). Devido à construção do modelo, se a unidade não conseguir ser eficiente, mesmo escolhendo os melhores pesos possíveis, existe outro que já está com esses pesos (CHARNES; COOPER; RHODES, 1978).

Dessa forma, uma vez que os  $n$  problemas apresentados sejam resolvidos, um subconjunto  $K$  será obtido, consistindo nas unidades DMU que possuem. O resultado é eficiente na resolução do modelo, correspondendo a um valor  $h_J = 1$ . Ou seja, eles cumprirão a restrição com um sinal de igual:

Figura 18: Restrições ao Modelo de Eficiência

$$\frac{\sum_{k=1}^s v_{kr} y_{kr}}{\sum_{i=1}^m u_{ir} x_{ir}} = 1; \quad r \in k$$

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

E, portanto, se o DMU  $J$  que não atender a essa condição, eles serão considerados ineficientes em relação ao subconjunto definido  $K$ , e terão um valor de eficiência  $h_J < 1$  e uma ineficiência  $(1 - h_J)$  (NEVES; BERTUSSI, 2019).

Este é um modelo que opera com retornos constantes de escala, pois a análise de uma determinada unidade consiste em compará-la com as DMUs que apresentam a

maior eficiência observada (AHN; CHARNES; COOPER, 1988). Isto é devido à forma do modelo. Portanto, todos os DMUJs analisados consideram as mesmas unidades eficazes. O nome do “modelo razão” deriva do fato de que a função objetivo é um quociente. Isso complica sua resolução, pois não é um problema linear (PÉRICO; SANTANA; REBELATTO, 2017).

As siglas CCR correspondem às iniciais dos autores Charnes, Cooper e Rhodes. Para resolver a complexidade do modelo anterior, decidiu-se transformar o modelo razão em um problema linear equivalente. Dessa maneira, os quocientes que aparecem no modelo são substituídos por expressões lineares (BANKER; CHARNES; COOPER, 1984).

Maximizar um quociente é equivalente a maximizar seu numerador se seu denominador permanecer constante e, quando um quociente é menor que a unidade, é porque o numerador é menor que o denominador (SERRANO *et al.*, 2017). Com essas considerações, o modelo anterior seria o seguinte:

Figura 19: Considerações no modelo de Eficiência Relativa

$$\text{MAX} \quad \sum_{k=1}^s v_{kj} y_{kj}$$

$$\sum_{k=1}^s v_{kj} y_{kj} - \sum_{i=1}^m u_{ij} x_{ij} \leq 0; \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$\sum_{i=1}^m u_{ij} x_{ij} = 1$$

$$\begin{aligned} v_{kj} &\geq \varepsilon; & k = 1, 2, \dots, s \\ u_{ij} &\geq \varepsilon; & i = 1, 2, \dots, m \end{aligned}$$

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Isso é conhecido como um formulário multiplicador. Como pode ser visto, um modelo de programação linear é obtido com restrições  $n + 1$  e dimensões  $s + m$ . As primeiras  $n$  restrições vêm da linearização da condição de que todas as unidades devem ter uma eficiência menor ou igual a uma (ALVES, 2018).

A restrição adicional define uma medida de referência da entrada virtual. Isso garante que a eficiência seja maximizada quando as saídas são maximizadas. Dessa forma, não apenas o valor da função objetivo, quando o problema é resolvido, a eficiência da unidade DMUJ, mas também o número de soluções é reduzido em pesos alternativos, com a restrição (CHARNES; COOPER; RHODES, 1978):

Figura 20: DMUj

$$\sum_{i=1}^m u_{ij}x_{ij} = 1$$

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

No entanto, é mais frequente o uso das variáveis duplas desse modelo para analisar os resultados obtidos com a aplicação dessa metodologia (PÉRICO; SANTANA; REBELATTO, 2017). Por esse motivo, o modelo duplo é explicado abaixo:

Figura 21: Modelo Variáveis Duplas

$$\text{MIN: } \theta_j - \varepsilon \left[ \sum_{k=1}^s h_k + \sum_{i=1}^m h_i \right]$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij}\lambda_j = \theta_j x_{ij} - h_i^-; \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{j=1}^n y_{kj}\lambda_j = y_{kj} + h_k^+; \quad k = 1, 2, \dots, s$$

$$\lambda_j, h_i^-, h_k^+ \geq 0$$

$$\theta_j \text{ livre}$$

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Essa forma do modelo é conhecida como forma de envelope. As  $n$  variáveis  $\lambda_j$  são aquelas correspondentes às primeiras  $n$  restrições do problema primal,  $\theta_j$  a variável correspondente à restrição restante e  $h^+$  e  $h^-$ , chamadas variáveis de folga, são as correspondentes às dimensões  $s + m$  existentes (NEVES; BERTUSSI, 2019).

Se optar por linearizar a função objetivo do modelo RATIO, minimizando o denominador da expressão e mantendo o numerador constante, obteríamos um modelo linear semelhante ao anterior (BANKER; CHARNES; COOPER, 1984):

Figura 22: Função Objetivo RATIO

$$\text{MIN} \quad \sum_{i=1}^m u_{ij} x_{ij}$$

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^s v_{kj} y_{kj} - \sum_{i=1}^m u_{ij} x_{ij} &\leq 0; & j = 1, 2, \dots, n \\ \sum_{k=1}^r v_{kj} y_{kj} &= 1 \\ v_{kj} &\geq \varepsilon; & k = 1, 2, \dots, s \\ u_{ij} &\geq \varepsilon; & i = 1, 2, \dots, m \end{aligned}$$

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Onde a função objetivo agora representa o inverso da eficiência relativa da unidade J e, portanto, sempre será maior ou igual a um. É um problema com retornos constantes de escala, pelo motivo já indicado (SOUZA; SCATENA; KEHRIG, 2016).

As considerações deste modelo são análogas às feitas com o CCR-INPUT. Mas, novamente, é no problema expresso em sua forma dupla que considerações gráficas são notadas (ALVES, 2018). Assim, a construção do problema duplo é obtida de maneira semelhante ao caso anterior (CHARNES; COOPER; RHODES, 1978):

Figura 23: Função Objetivo RATIO com Variáveis Duplas

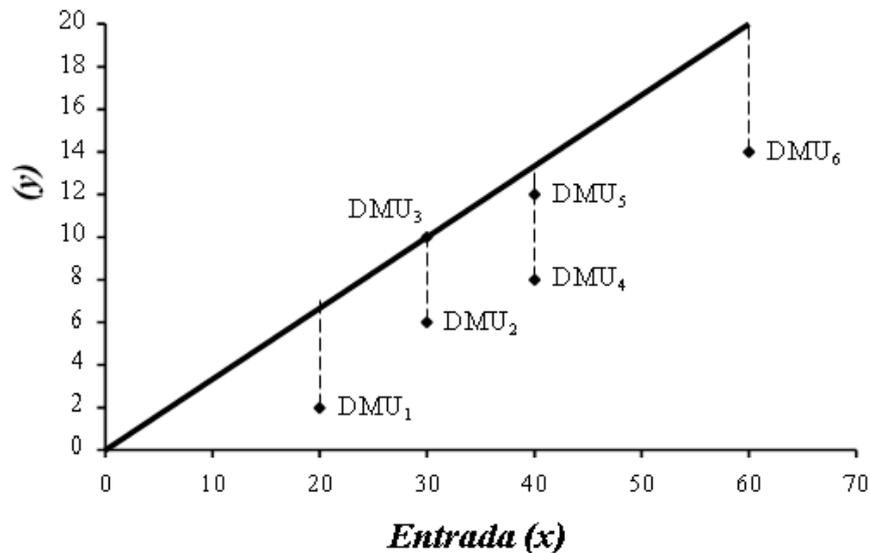
$$\text{MAX} \quad \gamma_j - \varepsilon \left[ \sum_{k=1}^s h_k + \sum_{i=1}^m h_i \right]$$

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j &= x_{ij} - h_i^-; & i = 1, 2, \dots, m \\ \sum_{j=1}^n y_{kj} \lambda_j &= \gamma_j y_{kj} - h_k^+; & k = 1, 2, \dots, s \\ \lambda_j, h_i^-, h_k^+ &\geq 0 \\ \gamma_j &\text{ livre} \end{aligned}$$

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Uma nova variável aparece neste modelo, que nada mais é do que a amplificação radial que deve ser produzida nas saídas para projetar na fronteira eficiente (DE OLIVEIRA; OTT; ALVES, 2018). Observando o mesmo exemplo de uma única entrada e uma única saída, mas resolvido com este novo modelo, seria obtido graficamente:

Figura 24: Fronteira de Eficiência



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Agora, uma solução sempre admissível para o problema é:

Figura 25: Solução Admissível

$$\begin{aligned} \gamma_J &= 1 \\ \lambda_J &= 1 \\ \gamma_j &= 0; \quad \forall j \neq J \\ h_i^- &= h_k^+ = 0; \quad \forall i, \forall k \end{aligned}$$

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

E, como no modelo anterior, eles correspondem aos valores que essas variáveis assumem no caso de unidades eficientes (PÉRICO; SANTANA; REBELATTO, 2017). Como no modelo anterior, as restrições estabelecem uma combinação linear entre o

ponto  $(x_{iJ}, y_{kJ})$  e os outros pontos em estudo  $(x_{ij}, y_{kj})$ , que resultam em unidade virtual  $(x_{iJ} - (h_i^-)^*, \gamma^* y_{kJ} + (h^+)^*)$  (SERRANO *et al.*, 2017).

A solução sempre admissível exposta corresponde a considerar que o ponto é uma combinação linear de si mesmo. Ao maximizar  $\gamma_J$ , os componentes das saídas aumentam até chegar ao ponto em que, com as mesmas entradas, possui a maior saída admissível com a combinação linear das unidades em estudo. Isso corresponde a projetar o ponto na fronteira eficiente do problema, aumentando radialmente os insumos. Portanto, este é um problema com a orientação de saída (SOUZA; SCATENA; KEHRIG, 2016).

## 5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Esta pesquisa descritiva (CRESWELL, 2010) tem por objetivo identificar a eficiência relativa de rodovias federais com trechos sob concessão no Brasil sob a perspectiva do usuário da rodovia. Para tanto foi utilizada a técnica DEA, com aplicação do modelo CCR orientado à entrada, e regressão Tobit como estratégia de validação do modelo DEA, como recomendado por Hoff (2007).

As DMU neste estudo são rodovias federais com trechos sob concessão no Brasil, conforme apresentado no Quadro 21. Explica-se que foram desconsideradas as concessões com contrato encerrado (CCR Ponte e CONCEPA); com caducidade declarada (Galvão); e iniciadas após 31 de dezembro de 2018 (ViaSul), uma vez que os dados utilizados refletem o ano de 2018.

Quadro 21: Amostras da pesquisa

DMU	Rodovia	Concessionária
1	BR-40	CONCER e Via 40
2	BR-50	ECO 050
3	BR-60	CONCEBRA
4	BR-101	Autopista Fluminense, ECO 101 e Ecoponte
5	BR-116	Nova Dutra, Autopista Régis Bittencourt, CRT, Via Bahia, Autopista Planalto Sul e ECOSUL
6	BR-153	Transbrasiliana, CONCEBRA e CRT
7	BR-163	MS Via e Rota do Oeste
8	BR-262	CONCEBRA
9	BR-293	ECOSUL
10	BR-324	Via Bahia
11	BR-376	Autopista Litoral Sul
12	BR-381	Autopista Fernão Dias
13	BR-393	Rodovia do Aço

Fonte: ANTT (2018).

Na pesquisa foram usados dados secundários produzidos pela Confederação Nacional de Transportes (CNT), Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT) e Polícia Rodoviária Federal (PRF). Acrescenta-se que foram usados os dados brutos da “Pesquisa CNT de Rodovias 2018”, fornecidos pela CNT. Confira Quadro 2:

Quadro 22: Operacionalização das variáveis

Tipo	Variável	Escala	Fonte	Operacionalização
Output	Pavimento	Ordinal (5 níveis)	CNT (2019)	$\sum_{i=1}^5 \left( \frac{Km_{ji}}{Km_j} \times Nível_i \right)$ Sendo: Km <sub>i</sub> : Extensão em Km da rodovia <i>j</i> com atribuição de nível <i>i</i> na escala de classificação Km <sub>j</sub> : Extensão total em Km da rodovia <i>j</i>
	Sinalização			
	Geometria da via			
	Acidentes fatais	Discreta	PRF (2020) <sup>a</sup>	$\frac{1}{\left( \frac{AF_j}{Km_j} \right)}$ Sendo: AF <sub>j</sub> : Número de acidentes fatais na rodovia <i>j</i> Km <sub>j</sub> : Extensão total em Km da rodovia <i>j</i>
Input	Pedágio	Contínua	ANTT (2020) <sup>b,c</sup>	$\frac{PED_j}{CONC_j}$ Sendo: PED <sub>j</sub> : Soma do valor do pedágio em todas as praças de pedágio da rodovia <i>j</i> em Reais CONC <sub>j</sub> : Extensão do trecho sob concessão em Km da rodovia <i>j</i>
Controle	Trecho sob concessão	Contínua	ANTT (2020) <sup>b</sup>	Extensão do trecho da rodovia sob concessão em Km
	Extensão da Rodovia			Extensão total da rodovia em Km

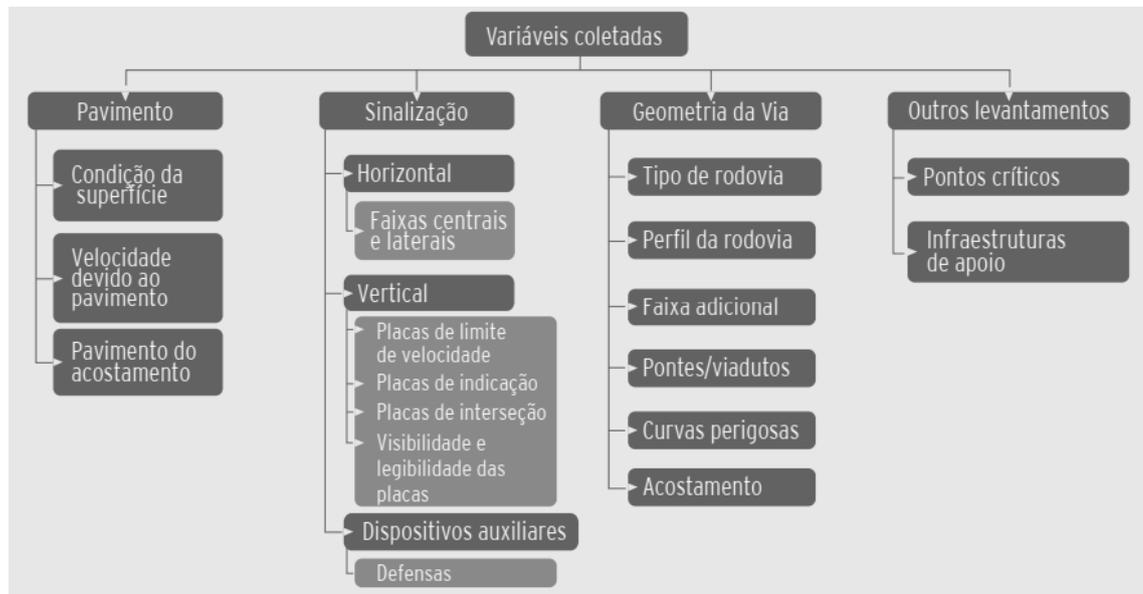
<sup>a</sup> Dados relativos ao ano 2018. <sup>b</sup> Dados relativos a 31 de dezembro de 2018. <sup>c</sup> Para o valor do pedágio foi considerado o “multiplicador da tarifa” = 1.

Fonte: Próprio Autor

Como se observa na Figura 22 foram considerados os indicadores de qualidade da malha rodoviária usados na pesquisa realizada pela CNT (geometria da via, pavimento e sinalização) e o indicador de acidentes fatais (*outputs*), em função do valor do pedágio do trecho sob concessão (*input*). A extensão do trecho sob concessão e a extensão total da rodovia, por sua vez, foram utilizados para

transformar os resultados das demais variáveis em unidades equiparáveis. Na Figura 1 mostram-se as variáveis relacionadas às características das rodovias utilizadas na Pesquisa CNT de Rodovias.

Figura 26: Grupo de variáveis coletadas na Pesquisa CNT de Rodovias



Fonte: CNT (2018, p. 36)

Cada característica avaliada, isto é Pavimento, Sinalização e Geometria da pista, é avaliada de acordo com a Metodologia CNT de Classificação de Rodovias, desenvolvida pela CNT, que adota uma escala ordinal de 5 pontos (Ótimo, Bom, Regular, Ruim ou Péssimo). Esclarece-se que o método de coleta de dados da Pesquisa CNT de Rodovias é baseado em normas do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), o Manual para Identificação de Defeitos de Revestimentos Asfálticos de Pavimentos (MID) e o Highway Capacity Manual (HCM).

Nesse encadeamento, explica-se que foi utilizado o recíproco do número de acidentes fatais por km de extensão para que os *outputs* tivessem a mesma direção do efeito. Especificamente, quanto maior o valor da variável, melhor a qualidade da rodovia.

Convém explicar que a opção por utilizar o cenário de 2018 se deve ao fato de se ter acesso aos dados brutos da “Pesquisa CNT de Rodovias 2018” (CNT, 2019). Lamentavelmente não foi possível acessar os dados brutos da pesquisa mais recente, publicada em 2020 com dados de 2019. Sem usar os dados brutos não seria possível

processar a operacionalização das variáveis Pavimento, Sinalização e Geometria da via (cf. Quadro 22).

Adiante, importa observar que o método DEA tem um viés ascendente relacionado à quantidade de variáveis utilizadas frente ao número de DMU (BANKER *et al.*, 1989); de forma que ao utilizar muitas variáveis em relação ao número de observações (DMU) pode haver perda do poder discricionário do modelo.

Como este estudo possui uma quantidade limitada de 13 DMU, que representa o recorte de um segmento de negócio específico, foi adotada a restrição da Golden Rule proposta por Banker *et al.* (1989), que determina que:

$$n \geq \text{MAX}\{p \times q, 3(p + q)\}$$

Sendo:

n: número de observações da amostra

p: *inputs*

q: *outputs*.

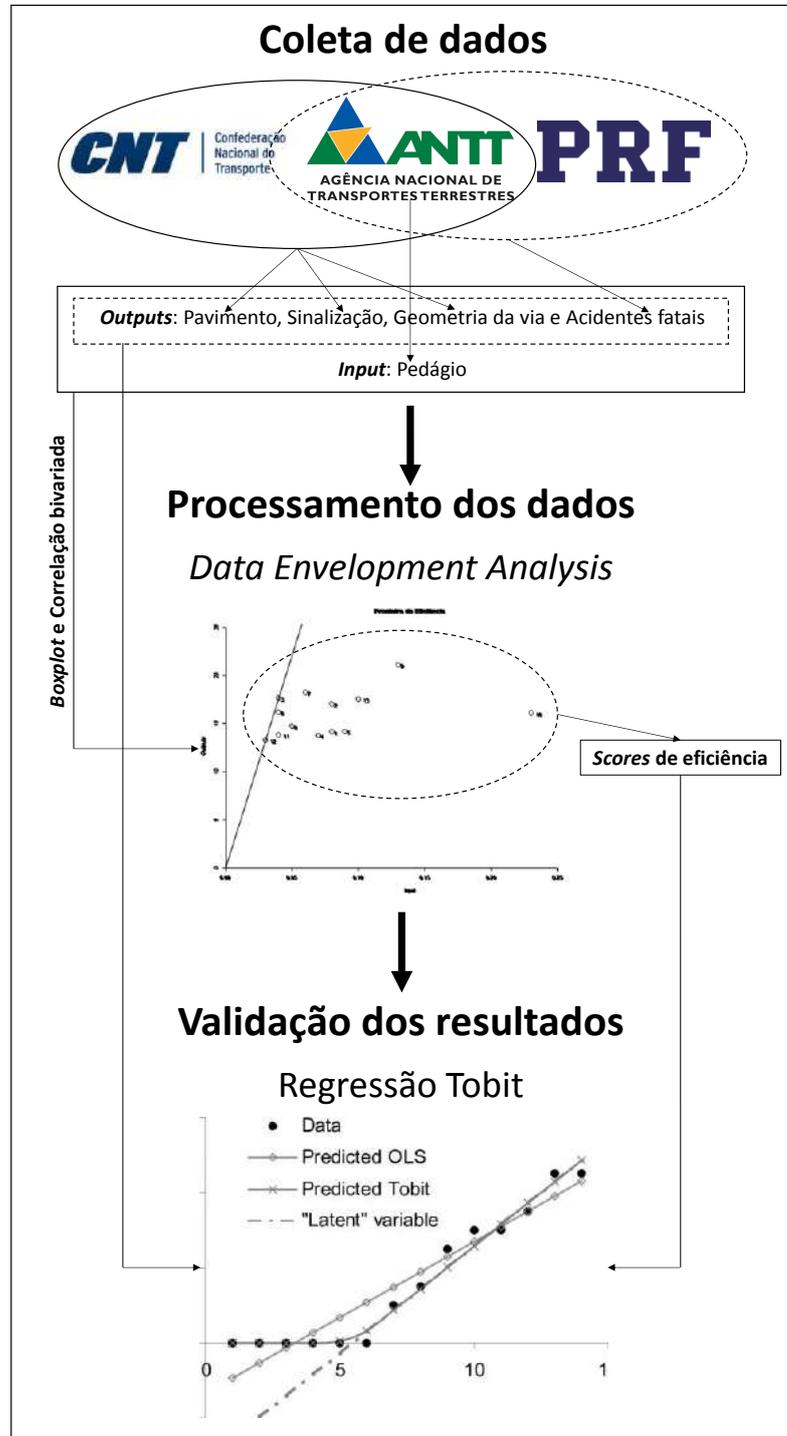
Nesse encadeamento, Simar e Wilson (1998) propõem a abordagem DEA Bootstrap para correção do viés ascendente do método DEA quando o tamanho da amostra é inadequado para o número de entradas e saídas. Por outro lado, Chernick (2008) adverte que o tamanho da amostra para estimar pontuações consistentes usando a abordagem DEA Bootstrap deve ser de no mínimo 50 observações. Portanto, a abordagem DEA Bootstrap não seria adequada para esta pesquisa.

Assim, o número máximo de variáveis (*outputs* e *input*) neste estudo é de 4 observações, sendo 1 *input* e 3 *outputs*. Como diferentes conjuntos de variáveis podem levar a diferentes análises usando DEA, a seleção das três variáveis, entre as quatro tomadas como *outputs* (Figura 22), foi feita adotando-se como métodos de seleção a análise do boxplots, da dispersão dos dados e da correlação bivariada. Assim, como se observará adiante, para o modelo DEA CCR *input* foram selecionados três variáveis de saída e uma variável de entrada. Como estratégia de validação do modelo DEA, foi processada regressão Tobit, que trata de variáveis dependentes censuradas; ou seja, que não estão livremente distribuídas entre  $-\infty$  e  $+\infty$  (GUJARATI, 2000), assim como o índice de eficiência que emerge de modelos DEA.

Para tanto foram utilizadas como variáveis independentes as mesmas variáveis do modelo DEA desenvolvido e como variável dependente os scores de eficiência que

emergiram do modelo DEA. Na Figura 23 mostra-se resumo esquemático dos procedimentos metodológicos.

Figura 27: Resumo esquemático dos procedimentos metodológicos



Fonte: Próprio Autor

Por fim, esclarece-se que os dados foram processados no software R 4.0 (R CORE TEAM, 2020), usando os pacotes “Benchmarking” (BOGETOFT. OTTO, 2019) para DEA; “AER” (KLEIBER; ZEILEIS, 2008) para regressão Tobit; “psych” (REVELLE, 2019) para correlação; “readxl” (WICKHAM; BRYAN, 2019) para importação dos dados; e funções nativas (e.g. shapiro.test) para os demais procedimentos. Confira o script no Apêndice A e os resultados completos no Apêndice B.

## 6 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Antes de iniciar os procedimentos de extração de medidas da eficiência das rodovias com trechos sob concessão no Brasil faz-se a caracterização das variáveis (Tabela 5). Destaca-se que do total de 65.615km de rodovias federais no Brasil, 10.336km são trechos sob concessão.

Tabela 5: Caracterização das variáveis

Variáveis	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão
Pedágio	0,03	0,23	0,08	0,53
Pavimento	3,86	4,74	4,30	0,27
Sinalização	3,34	4,35	3,86	0,33
Geometria da via	2,48	3,38	3,08	0,24
Acidentes fatais <sup>a</sup>	52	1.730	535	568,03
Extensão da rodovia	286	4.609	1.782	1.437,14
Trecho sob concessão	68	2.217,4	708,5	667,03

<sup>a</sup> Para favorecer a compreensão dos dados optou-se por apresentar os resultados do número de acidentes fatais e não do seu recíproco.

Fonte: Próprio Autor

Como se observa pela análise do desvio padrão em comparação com a média, além da Amplitude total dos dados (Max – Min), há indícios de outliers nas variáveis Pedágio, Geometria da via e Acidentes fatais. Buscando ampliar essa compreensão foram elaborados boxplots das variáveis (Figura 24).

Figura 28: Boxplots Análise de Variáveis

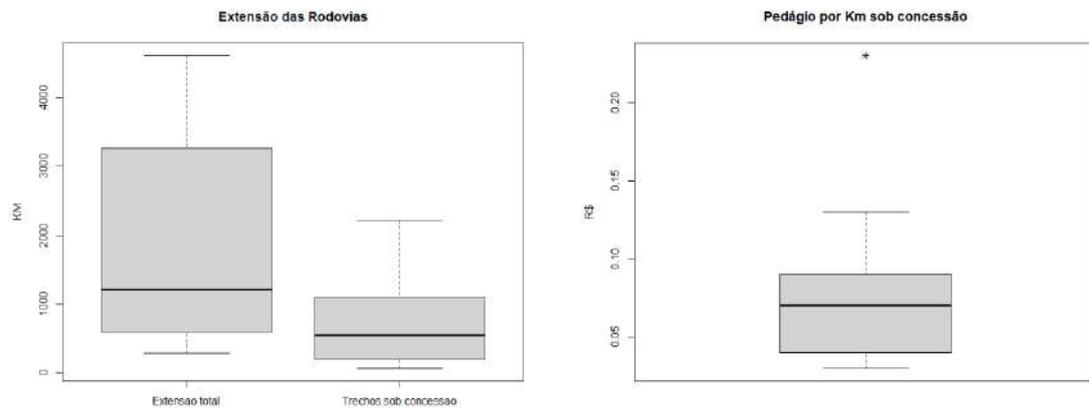


Figura 3-A

Figura 3-B

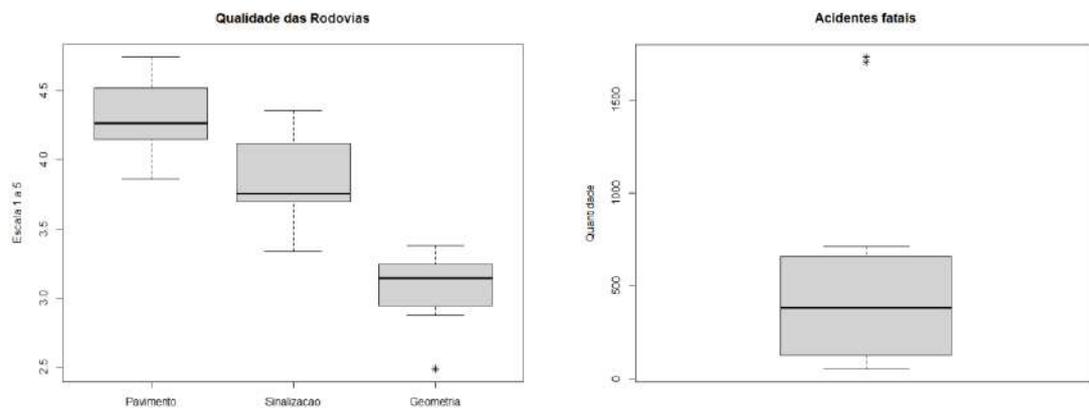


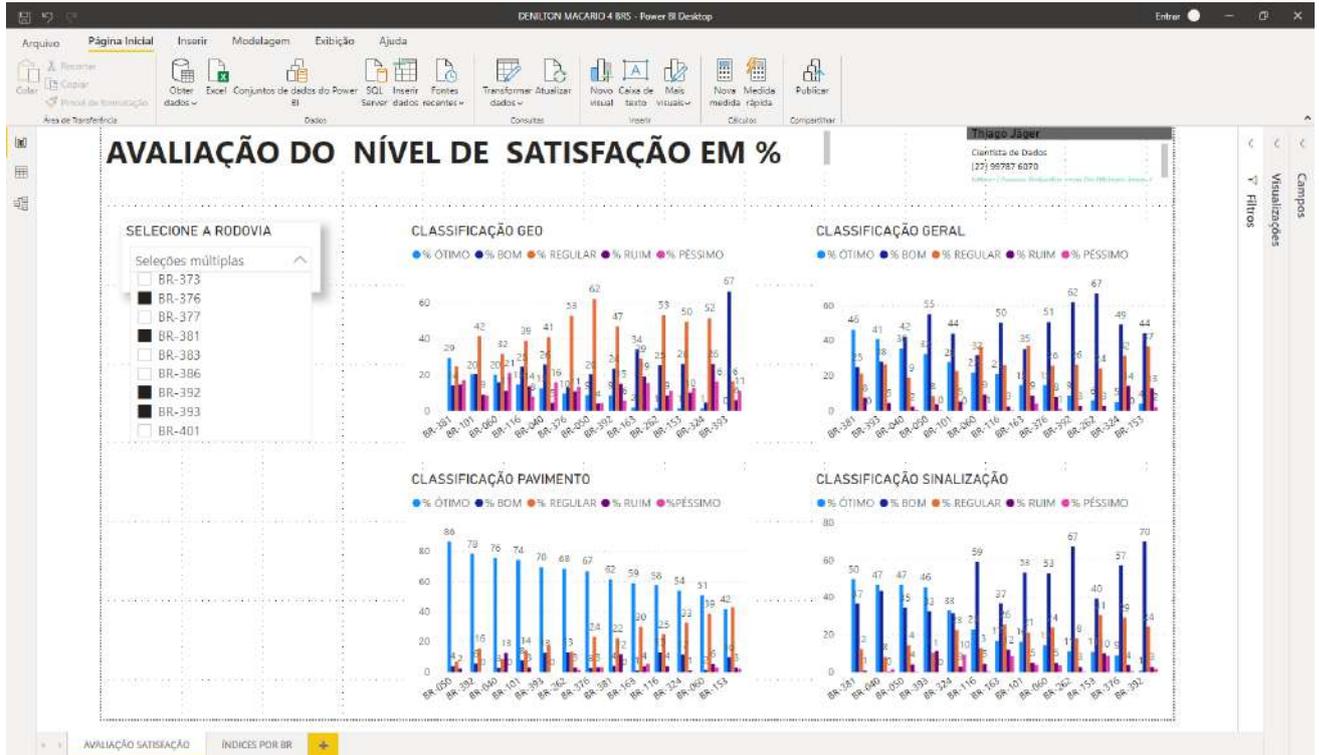
Figura 3-C

Figura 3-D

A análise dos boxplots confirma a presença de outliers nas variáveis Pedágio (BR-324), Geometria da via (BR-324) e Acidentes fatais (BR-101 e BR-116). A presença de outliers na amostra pode distorcer o resultado da aplicação do método DEA. No entanto, como advertem Marchetti e Wanke (2017), DMU com valores extremos podem representar as melhores ou piores práticas adotadas que expandem/retraem a fronteira de eficiência. Assim, o tratamento destes outliers requer cautela.

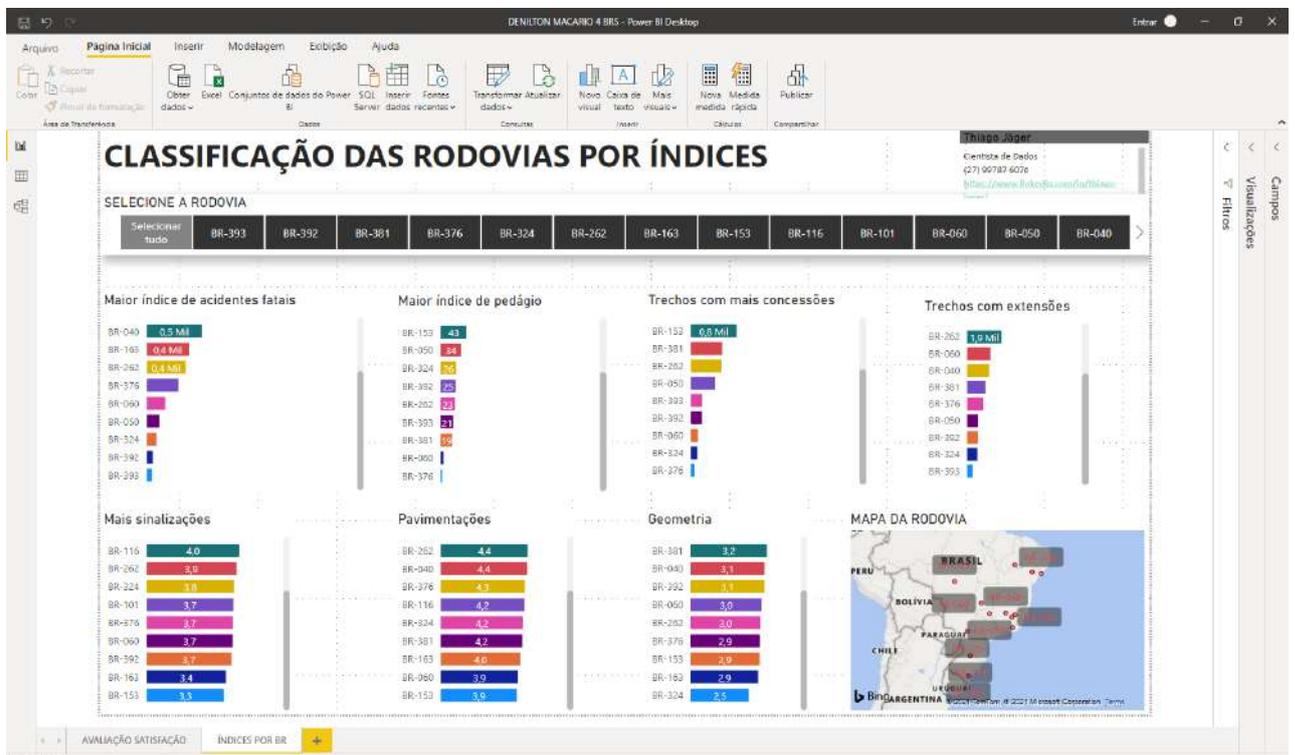
Para tornar as informações mais apresentáveis, intuitivas e objetivas, decidiu-se construir um dashboard com todos os dados das variáveis trabalhadas, no entanto ainda assim, podemos incorrer em erros de interpretação quando analisamos as variáveis de forma isolada, seja verificando uma rodovia com o menor índice de acidentes fatais, outra com a melhor geometria da pista, o maior índice de pedágio por extensão total da via, ou ainda por extensão do trecho sob concessão.

Figura 29: Avaliação do Nível de Satisfação em % - Tela do Dashboard



Fonte: Dashboard Elaborado pelo próprio autor a partir de dados CNT 2018

Figura 30: Classificação das Rodovias por Índices - Tela do Dashboard



Fonte: Dashboard Elaborado pelo próprio autor a partir de dados CNT 2018

Conforme apresentado na análise dos boxplots, identificou-se os outliers que são representados na cor vermelha nas figuras abaixo:

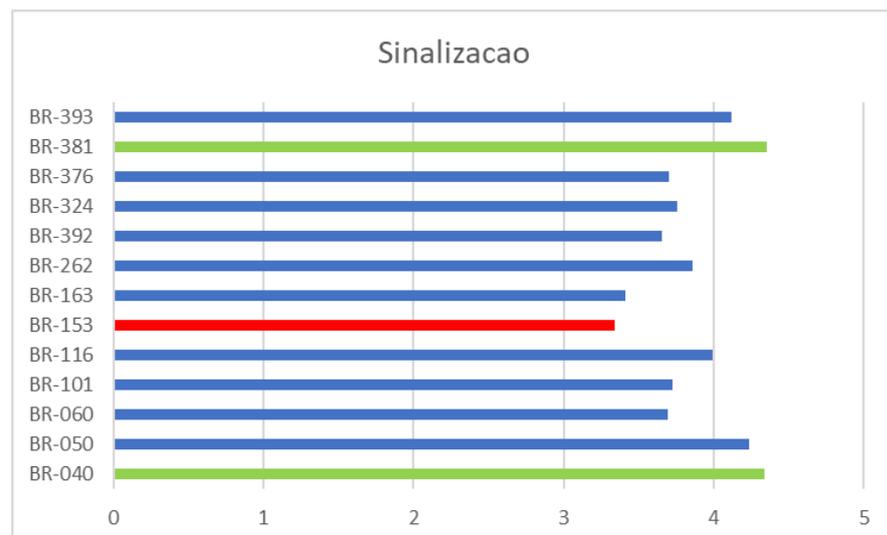
Figura 31: Pavimento BRs Sob Análise



Fonte: Próprio Autor Elaborado a partir de dados CNT 2018

A rodovia BR-050 possui o melhor índice relativo à qualidade do pavimento da via, já a rodovia BR-153 detém o pior índice.

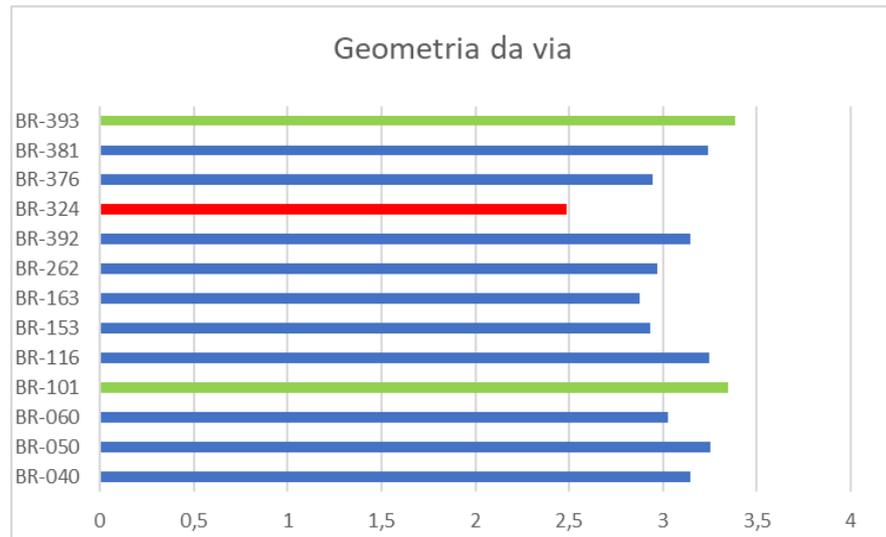
Figura 32: Sinalização BRs Sob Análise



Fonte: Próprio Autor Elaborado a partir de dados CNT 2018

As rodovias BR-381 e BR-040 possuem ambas o melhor índice relativo à sinalização, a rodovia BR-153 possui o pior índice.

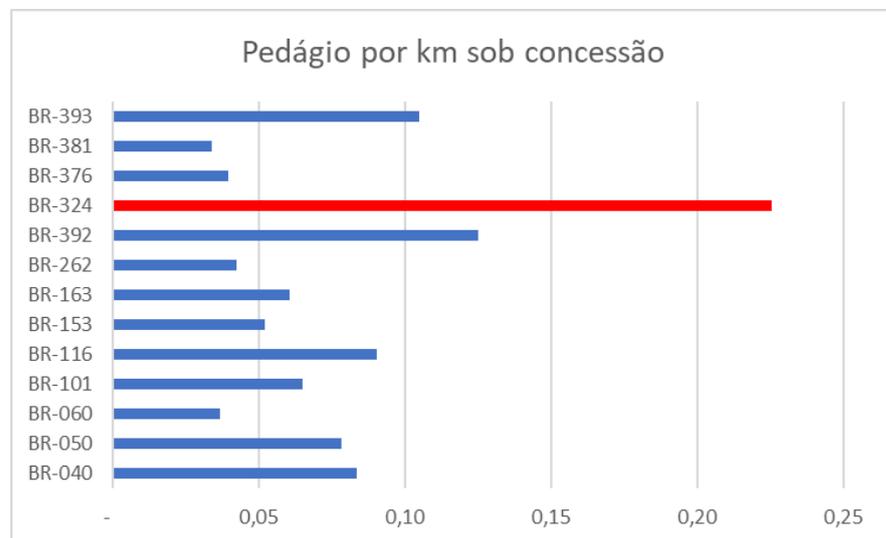
Figura 33: Geometria da Via BRs Sob Análise



Fonte: Próprio Autor Elaborado a partir de dados CNT 2018

As rodovias BR-393 e BR-101 possuem ambas os melhores índices relativos à qualidade de sua geometria, a rodovia BR-324 possui o menor índice entre as pesquisadas.

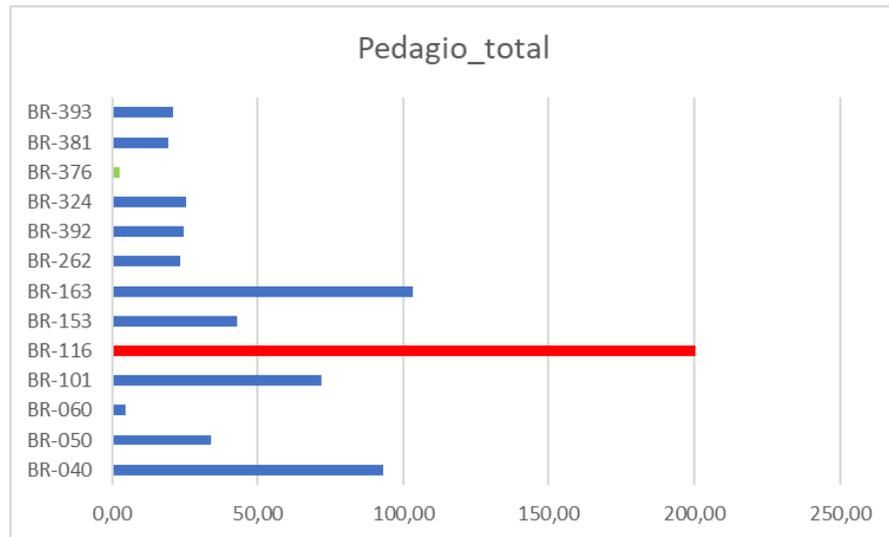
Figura 34: Pedágio por km sob concessão BRs Sob Análise



Fonte: Próprio Autor Elaborado a partir de dados CNT 2018

A rodovia BR-324 possui o maior custo de pedágio por km sob concessão.

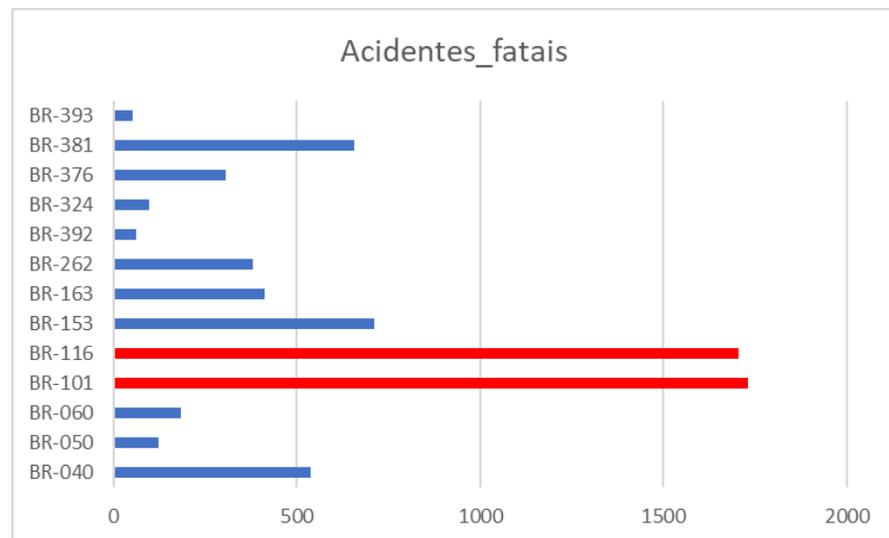
Figura 35: Fonte: Pedágio Total BRs Sob Análise



Fonte: Próprio Autor Elaborado a partir de dados CNT 2018

A rodovia BR-116 possui o maior custo de pedágio para se transitar, já a rodovia BR-376 possui o menor valor.

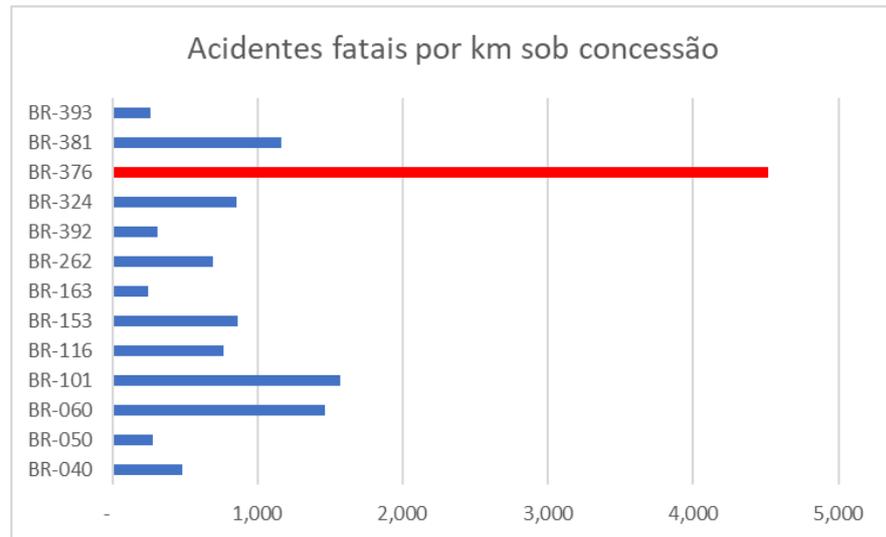
Figura 36: Acidentes Fatais BRs Sob Análise



Fonte: Próprio Autor Elaborado a partir de dados CNT 2018

As rodovias BR-101 e BR-116 lideram com a pesquisa como as mais perigosas rodovias brasileiras.

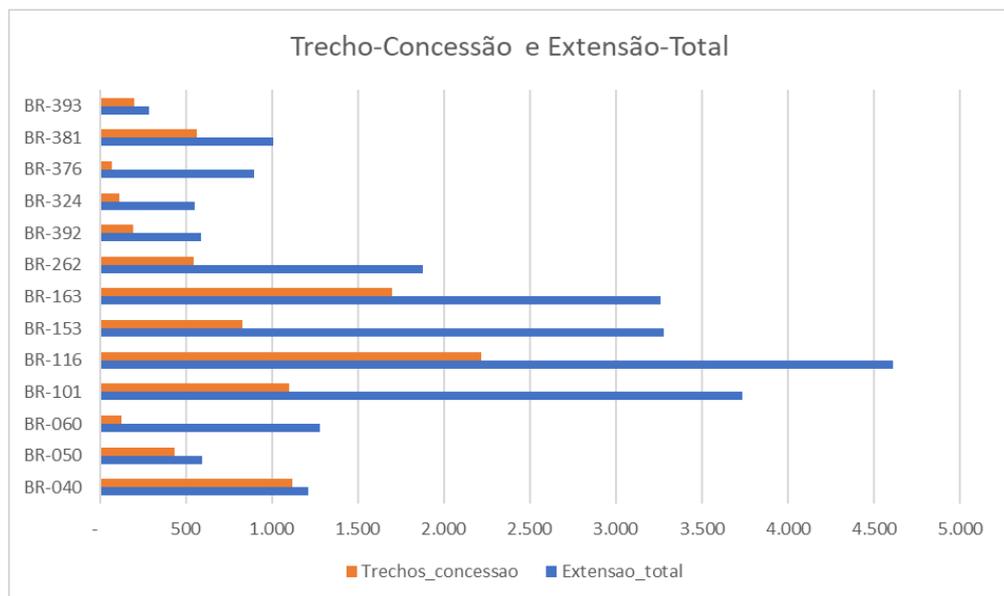
Figura 37: Acidentes Fatais Por Km Sob Concessão BRs Sob Análise



Fonte: Próprio Autor Elaborado a partir de dados CNT 2018

A rodovia BR-376 possui o maior índice de acidentes fatais por km sob concessão.

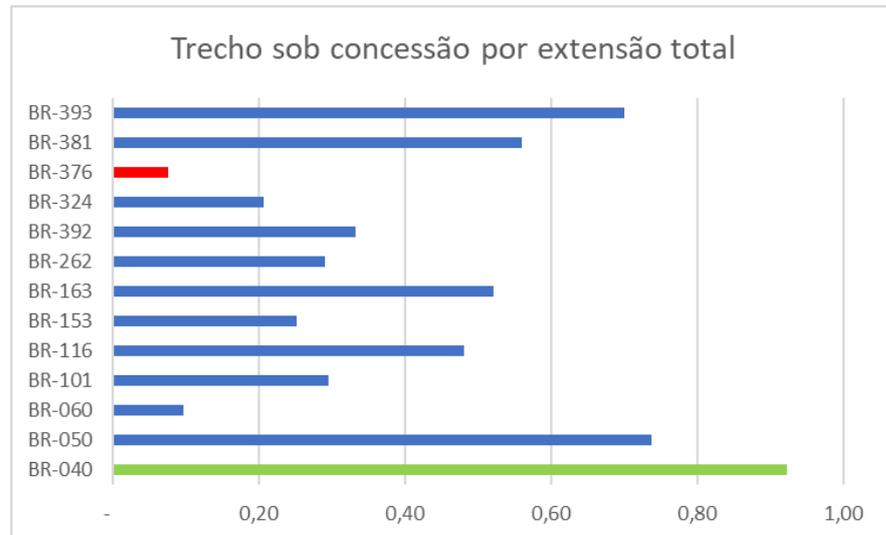
Figura 38: Trecho sob Concessão X Extensão Total



Fonte: Próprio Autor Elaborado a partir de dados CNT 2018

A rodovia BR-040 possui praticamente toda sua extensão sob concessão.

Figura 39: Trecho sob concessão por extensão total BRs Sob Análise



Fonte: Próprio Autor Elaborado a partir de dados CNT 2018

Como já demonstrado, a rodovia BR-040 possui a maior extensão sob concessão de todas as rodovias pesquisadas, já a rodovia BR-376 possui o menor índice de sua extensão sob concessão.

Diante de tais apresentações, retorna-se para Esbensen (2000), em que diz “a natureza é multivariada”. Ele faz essa afirmação para exemplificar que qualquer sistema ou fenômeno, quando estudado em detalhes, geralmente ou na grande maioria das vezes, depende de vários fatores, logo, uma resposta raramente depende de uma única variável.

Seguindo a diante, como destacado nos Procedimentos Metodológicos, em razão no pequeno número de DMU, será necessário definir 3 dos 4 *outputs* para compor o modelo DEA. A análise do boxplots, da amplitude total e do coeficiente de variação (Desvio padrão dividido pelo média) sinaliza para exclusão da variável Pavimento, pois é a que tem os dados mais homogêneos, de forma que pode não ter boa capacidade discriminante. A análise da correlação pode ampliar essa compreensão (Tabela 6). Explica-se que foi processada a correlação não paramétrica de Spearman por que se pode rejeitar a hipótese de normalidade do Pedágio por km sob concessão e no recíproco dos Acidentes fatais, pelo teste Shapiro-Wilk (p-value < 0,05).

Tabela 6: Correlação de Spearman

	Pedágio	Pavimento	Sinalização	Geometria da via	Acidentes fatais <sup>a</sup>
Pedágio	1	0,43	0,05	0,16	0,34
Pavimento		1	0,37	0,61*	-0,03
Sinalização			1	0,59*	-0,55*
Geometria da via				1	-0,42
Acidentes fatais <sup>a</sup>					1

<sup>a</sup> Recíproco dos acidentes fatais.

\* Significante e 0,05.

Fonte: Próprio Autor

Pela gradação de Miles e Shevlin (2001), as correlações estatisticamente significativas ( $p\text{-value} < 0,05$ ) podem ser consideradas elevadas ( $r > 0,5$ ). A análise da correlação (Tabela 6) em conjunto com a análise da estatística descritiva (Tabela 5) e dos boxplots (Figura 18) permite determinar a retenção dos *outputs* Sinalização, Geometria da via e recíproco dos Acidentes fatais no processamento do modelo DEA.

A eficiência calculada no modelo CCR é representada por uma reta partindo da origem, ou seja, a razão *output/input* (orientado aos *outputs*) ou *input/output* (orientado aos *inputs*) é sempre a mesma para todas as unidades eficientes, logo, o modelo CCR é invariante quanto a orientação, portanto, neste modelo a relação entre *outputs* e *inputs* é equiproporcional. Uma unidade eficiente só pode reduzir *outputs* e manter-se eficiente se reduzir seus *inputs* na mesma proporção.

Em um modelo CCR as restrições significam que a proporção de “output virtual” e “input virtual” não deve exceder a unidade para cada DMU. O objetivo é obter pesos que maximizam a eficiência da DMU em análise (DMU0). Por virtude das restrições, o valor objetivo ótimo é no máximo 1.

O modelo DEA CCR com orientação à entrada revelou média de eficiência de 0,5957 e amplitude total de 0,8428 (1,00 – 0,1572) entre as 13 DMU observadas. Duas DMU emergiram como benchmark (índice de eficiência igual a 1). Confira Tabela 7.

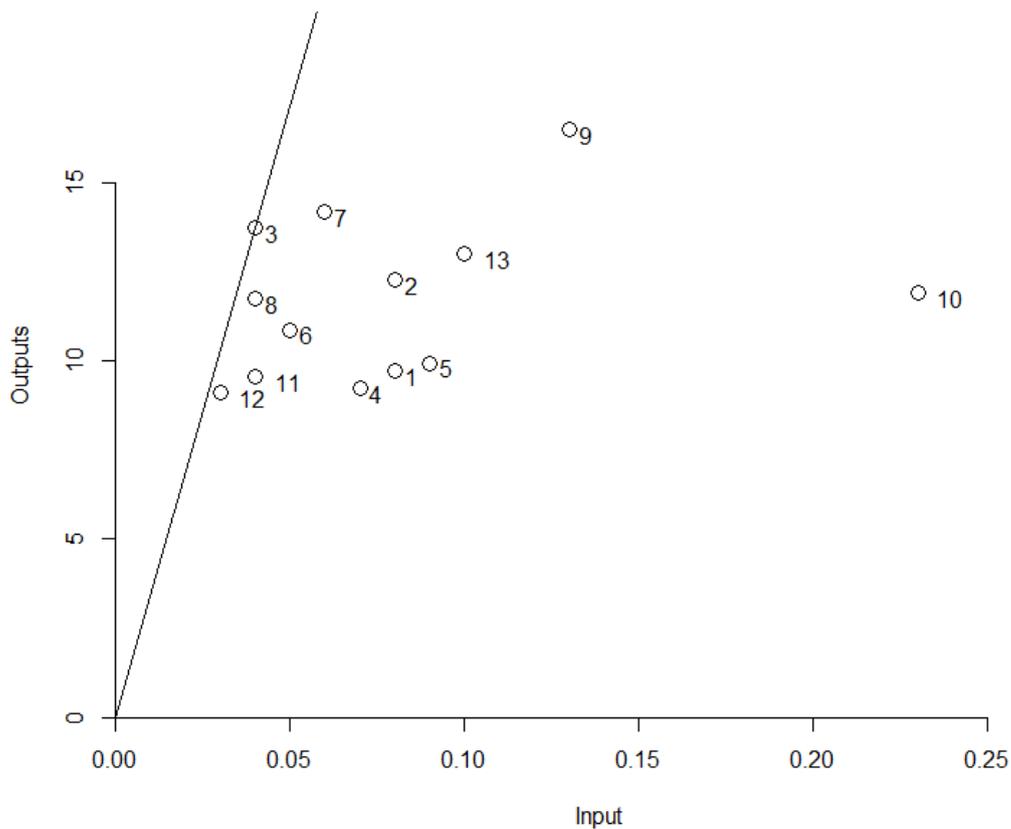
Tabela 7: Descrição do índice de eficiência

Amplitude	Frequência	Frequência relativa
$0,1 \leq \text{Eficiência} < 0,2$	1	7,7
$0,2 \leq \text{Eficiência} < 0,3$	0	0,0
$0,3 \leq \text{Eficiência} < 0,4$	2	15,4
$0,4 \leq \text{Eficiência} < 0,5$	3	23,1
$0,5 \leq \text{Eficiência} < 0,6$	1	7,7
$0,6 \leq \text{Eficiência} < 0,7$	2	15,4
$0,7 \leq \text{Eficiência} < 0,8$	0	0,0
$0,8 \leq \text{Eficiência} < 0,9$	2	15,4
$0,9 \leq \text{Eficiência} < 1$	0	0,0
Eficiência = 1	2	15,4

Fonte: Próprio Autor

Como estratégia de validação do método DEA, foi processada regressão Tobit. Como variáveis independentes foram usadas as mesmas variáveis do modelo DEA desenvolvido (Sinalização, Geometria da via, recíproco dos Acidentes fatais e Pedágio) e como variável dependente os scores de eficiência do modelo DEA. Foi feito espelhamento do banco de dados em razão de o número de observações ser pequeno (13 DMU) para processamento da regressão Tobit (CHEN; DIXON, 1972). Os resultados revelaram a significância estatística das variáveis utilizadas no modelo DEA ao nível 0,05 para todas as variáveis, a não ser do recíproco dos Acidentes fatais, cujo p-value foi de 0,0984. Assim, foi possível validar o modelo DEA aplicado pelo critério de significância estatística, ao nível mais brando de 0,10. Nesse encadeamento, mostra-se na Figura 36 a fronteira de eficiência do modelo DEA CCR orientado à entrada.

Figura 40: Fronteira de eficiência



Fonte: Próprio Autor

As BR-060 (DMU 3) e BR-381 (DMU 12) emergiram como benchmark no modelo desenvolvido. A BR-324 (DMU 10), por outro lado, é a que obteve o menor índice de eficiência. Na Tabela 8 mostram-se os valores da eficiência de cada DMU. Explorando os resultados, é possível identificar alvos dos *outputs* Sinalização e Geometria da via para as DMU não eficientes pelos valores das folgas, mantendo-se constante o valor do input (valor do pedágio por Km sob concessão). Ou seja, o quanto (folga) e até quanto (alvo) os valores deveriam ser alterados. Confira Tabela 4. Esclarece-se que para o recíproco dos acidentes fatais o valor da folga de cada DMU foi zero – razão pela qual a variável não foi incluída nessa tabela.

Tabela 8: Folgas dos *outputs*

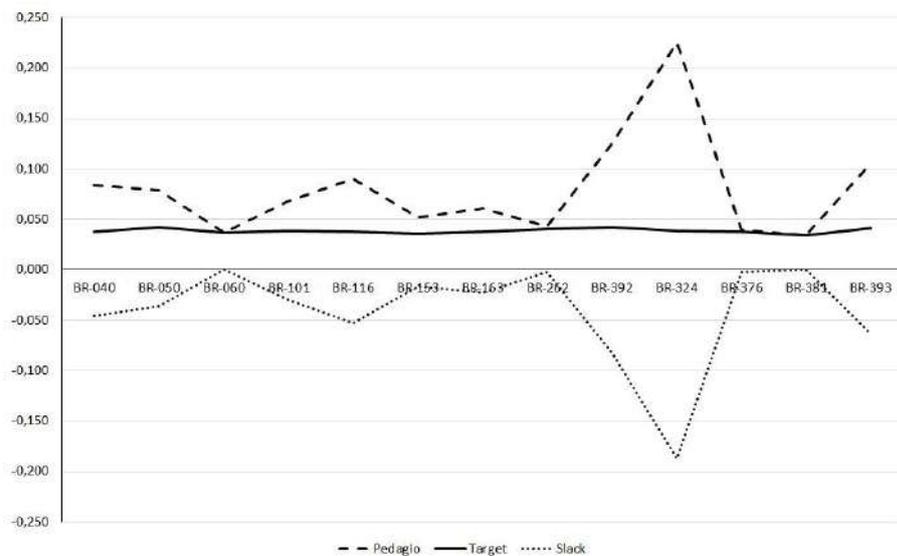
DMU	Rodovia	Eficiência	Sinalização			Geometria da via		
			Original	Folga	Alvo	Original	Folga	Alvo
1	BR-40	0,42	4,34	0,00	4,34	3,15	0,12	3,26
2	BR-50	0,48	4,23	0,00	4,23	3,25	0,06	3,31
3	BR-60	1,00	3,70	0,00	3,70	3,03	0,00	3,03
4	BR-101	0,55	3,73	0,73	4,46	3,35	0,00	3,35
5	BR-116	0,39	3,99	0,29	4,28	3,25	0,00	3,25
6	BR-153	0,65	3,34	0,39	3,73	2,93	0,00	2,93
7	BR-163	0,68	3,41	0,75	4,16	2,88	0,53	3,41
8	BR-262	0,82	3,86	0,00	3,86	2,97	0,07	3,04
9	BR-293	0,41	3,66	1,45	5,11	3,14	1,04	4,19
10	BR-324	0,16	3,76	0,00	3,76	2,49	0,52	3,01
11	BR-376	0,82	3,70	0,16	3,86	2,94	0,00	2,94
12	BR-381	1,00	4,36	0,00	4,36	3,24	0,00	3,24
13	BR-393	0,37	4,12	0,16	4,28	3,38	0,00	3,38

Fonte: Próprio Autor

Como se nota no destaque (realce vermelho) na Tabela 8, o alvo para a nota no atributo Sinalização da BR-293 é inalcançável, uma vez que a escala adotada pela CNT varia de 1 a 5.

Uma outra análise sobre o Pedágio, as BRs nas quais a linha Pedágio encosta na linha Alvo são as benchmark. Veja que fica fácil ver a eficiência relativa.

Figura 41: Valor, alvo e folga do pedágio por km sob concessão das rodovias federais



Fonte: Próprio Autor

Na Figura 37, em resumo, se mostra o valor do pedágio para que a BR seja eficiente. Ou seja, as que não são eficientes devem reduzir o valor do pedágio. Neste gráfico o valor do pedágio alvo considera que os *outputs* ficam constantes. Ou seja, mantendo constante os *outputs*, o valor do pedágio que leva as BR à eficiência seria o que mostra a linha Alvo.

Desejosos em compreender os motivos pelos quais as rodovias BR-381 e BR-060 foram identificadas como benchmark e por fim, o resultado de pior eficiência apresentado pela BR-234, encontramos algumas questões que podem auxiliar nesta análise.

A 1ª Etapa da concessão do PROCOTE teve início em 1993 e definiu cinco trechos rodoviários, já cobrados pelo próprio órgão estatal. Esses projetos de concessão incluíam rodovias anteriormente construídas pelo governo e que se encontravam em estado crítico, cabendo à concessionária a recuperação, reforço, monitoração, melhoramento, manutenção, conservação, operação e exploração dos trechos rodoviários.

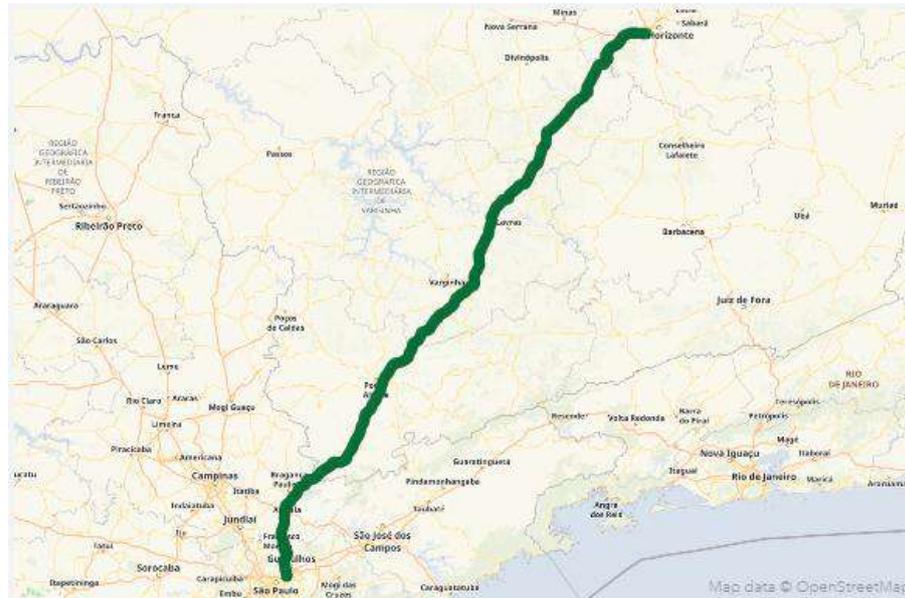
Dito isso, a 2ª Etapa /Fase 1 inova no fato de que o contrato passa a ter a seguinte escrita:

“Este Contrato tem por objeto a concessão para exploração da infraestrutura e da prestação de serviços públicos e obras, abrangendo a execução dos serviços de recuperação, manutenção, monitoração, conservação, operação, ampliação, melhorias e exploração, conforme apresentado no Programa de Exploração da Rodovia - PER, mediante pedágio, do Lote Rodoviário”.

Identificou-se agora a concessionária não mais como uma empreiteira contratada apenas para executar um programa de manutenção e melhoria previamente estipulado, mas um parceiro privado para investir e explorar a infraestrutura rodoviária.

Apresenta-se a Rodovia BR – 381, rodovia de classificação diagonal com extensão total de 1.005 km e desses 565 km sob concessão da empresa Autopista Fernão Dias S/A. Teve a assinatura do contrato em 14/02/2008, ou seja, 2ª etapa / Fase 1 dos processos de concessões rodoviárias. O início de suas operações se deu em 15/02/2008 e início de cobrança em 19/12/2008 e tem prazo previsto de encerramento do referido contrato em 15/02/2033.

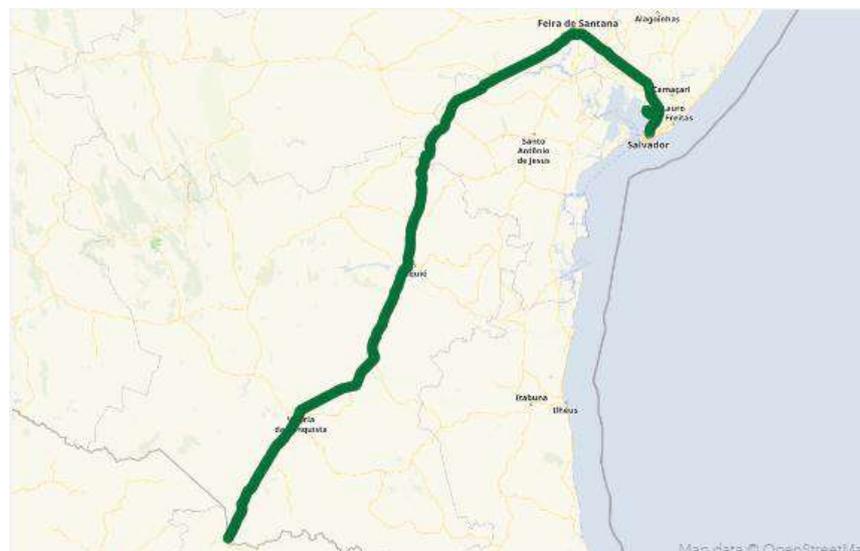
Figura 42: Trecho sob concessão da rodovia RB-381



Fonte: Censo Estratégico ANTT 2019

A 2ª Etapa / Fase 2 contempla apenas um projeto de concessão da Rodovia BR – 324, rodovia de classificação diagonal com extensão total de 549 km e desses 113 km sob concessão da empresa VIABAHIA Concessionária de Rodovias S/A. Teve a assinatura do contrato em 03/09/2009, ou seja, 2ª etapa / Fase 2 dos processos de concessões rodoviárias. O início de suas operações se deu em 20/10/2009 e início de cobrança em 07/12/2010, tem prazo previsto de encerramento do referido contrato em 19/10/2034.

Figura 43: Trecho sob concessão da rodovia BR-324



Fonte: Censo Estratégico ANTT 2019

Correia (2011) destacou que esse processo ocorreu durante uma crise econômica mundial e pode ser considerado o principal motivo da baixa taxa de participação em leilões. Além disso, a proposta surgiu após a 2ª Etapa / Fase 1 da disputa e do processo de concessão do Plano do Estado de São Paulo, que concedeu cinco trechos à iniciativa privada com cobrança de outorga. Destacou ainda que devido aos dois leilões anteriores, alguns investidores com conhecimento do mercado de concessões de rodovias já com real endividamento impossibilitou a busca de novos empreendimentos.

O modelo de contrato adotado nessa fase 2 trouxe o desenho de parâmetros de desempenho para o monitoramento dos planos de exploração das rodovias. A concessionária assume qualquer falha na avaliação quantitativa ou nas oportunidades de investimento, portanto, o valor da alíquota básica do pedágio só é modificado por meio da modificação do conteúdo de melhorias a ser incorporado na infraestrutura rodoviária, e não por simples mudanças nos serviços diários e manutenção.

No entanto, o uso a longo prazo desses parâmetros para verificação pode permitir que o executor do contrato estabeleça uma política de serviço centralizado na fase final de um determinado período. A vantagem é que ele pode utilizar a grande quantidade de recursos no próprio levantamento rodoviário e no posterior atraso das medidas de intervenção.

Existe uma situação especial no contrato com a VIABAHIA. Com a implantação do desconto de equilíbrio, além das eventuais multas por não implantação, os pedágios cobrados nas praças de toda a rodovia serão reduzidos em função da manutenção das condições de infraestrutura e do andamento das melhorias. funciona. Como resultado, as contas da própria concessionária são reduzidas. Embora o contrato não considere essa prática como punição, a redução do sistema tributário e a aplicação de multas elevadas podem gerar um círculo vicioso que pode expor o contrato ao risco de caducidade.

Por fim, o modelo de contrato utilizado na 3ª Etapa é a continuidade do modelo utilizado na 2ª Etapa / Fase 2, que inclui ajustes devido a mudanças no pensamento dominante na gestão de contratos anteriores ou concessão de permissões e adoção do Fator X. O contrato também incorpora um compromisso de política de investimentos passado pelo governo brasileiro, e muito trabalho foi feito na concessionária nos primeiros anos do contrato.

Apresenta-se então a Rodovia BR – 060, rodovia de classificação radial com extensão total de 1.282 km e desses 125 km sob concessão da empresa CONCEBRA (TPI – Triunfo Participações e Investimentos S. A.). Teve a assinatura do contrato em 31/01/2014, ou seja, 3ª etapa / Fase 1 dos processos de concessões rodoviárias. O início de suas operações se deu em 05/03/2014 e início de cobrança em 27/06/2015, tem prazo previsto de encerramento do referido contrato em 15/02/2033.

Figura 44: Trecho sob concessão da rodovia BR-060



Fonte: Censo Estratégico ANTT 2019

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

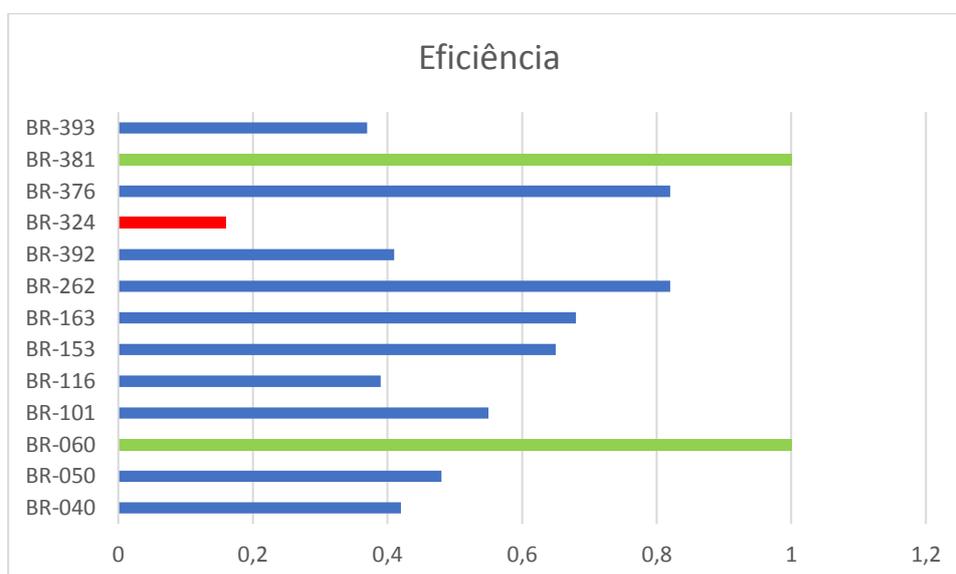
### 7.1 CONCLUSÕES

O referido trabalho se iniciou com uma pesquisa bibliográfica em que envolveu artigos científicos nos seguintes tópicos: Rodovias federais brasileiras, eficiência relativa e análise envoltória de dados dentre outros. O objetivo principal era o de identificar a eficiência relativa das rodovias federais brasileiras com trecho sob concessão até o ano de 2018 sob a ótica do usuário e para tal, selecionamos a variável de input pedágio, as variáveis de output pavimento, sinalização, geometria da via e acidentes fatais e por fim as variáveis de controle trecho sob concessão e extensão da rodovia, assim criamos o modelo de eficiência.

Processou-se a eficiência relativa por meio de análise envoltória de dados com o modelo CCR, ou seja, busca por retornos constantes de escala e dessa forma por se tratar de uma técnica não-paramétrica de mensuração da eficiência calculando-a de forma comparativa, mantivemos os *outputs* constantes. O grande diferencial desta técnica é calcular os pesos de cada variável por maximização. Por fim, validamos o modelo de eficiência por meio da regressão tobit.

Portanto, ao fim deste trabalho, obteve-se uma análise multivariada clara entre as variáveis propostas e a expectativa do usuário, demonstrando a eficiência duas rodovias benchmark BR – 060 e BR – 381, bem como identificada a rodovia com a pior eficiência, a rodovia BR – 324.

Figura 45: Benchmark BR-060 e BR-381, Pior Eficiência BR-234



Fonte: Próprio Autor Elaborado a partir de resultados DEA

Após uma análise dos contratos das diversas etapas do PROCOFE, foram identificados alguns pontos que podem justificar o resultado da BR-234 com o pior índice de eficiência, como por exemplo a política de serviço centralizado na fase final de um determinado período, deixando para se fazer as devidas melhorias nesse período, impactando na análise multivariada dos indicadores pavimento, sinalização, geometria, pedágio e acidentes fatais.

## 7.2 TRABALHOS FUTUROS

Como propostas para trabalhos futuros identificamos a necessidade de:

Com o advento da 4ª etapa do PROCOFE, refazer os estudos com dados mais atualizados, o que envolveria uma atualização das rodovias com trechos sob concessão, haja vista que novas características nos contratos podem indicar novos parâmetros de eficiência;

Uma segunda análise com foco não mais nas rodovias e sim nas próprias concessionárias e então identificar quais dentre elas são as mais eficientes e por qual motivo. Os dados utilizados nesse trabalho de pesquisa foram devidamente autorizados e disponibilizados pela CNT, ANTT e PRF, no entanto, esses dados não tratam das concessionárias e para tal deseja-se contactá-las diretamente ou em parceria formalizada com a Associação Brasileira de Concessionárias de Rodovias – ABCR;

Expandir ainda o referido estudo para rodovias estaduais com trecho sob concessão;

E ainda um estudo final sobre as concessionárias de rodovias estaduais.

## REFERÊNCIAS

Administração de Suprimentos. **Revista de Administração e Inovação**, São Paulo, v. 7, n. 2, p. 171-192, abr./jun. 2010.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. **Relatório Anual 2013 - Rodovias Federais Concedidas**. 2014. Disponível em: <https://portal.antt.gov.br/documents/359170/1026017/doc.pdf/3384edbd-66e8-2c46-0153-7c4256297e5d?t=1593204999060>. Acesso em: 14 set. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CONCESSIONÁRIAS DE RODOVIAS. **Novos caminhos para concessões de rodovias no Brasil**. São Paulo: ABCR, 2018.

AHN, T.; CHARNES, A.; COOPER, W. W. Efficiency characterizations in different DEA models. **Socio-Economic Planning Sciences**, [s.l.], v. 22, n. 6, p. 253-257, 1988.

ALVES, A. L. V. **Eficiência relativa das empresas de concessões rodoviárias listadas na Associação Brasileira de Concessionárias de Rodovias**. São Paulo: ABCR, 2018.

ARAÚJO, J. L. R. H. Brasil em desenvolvimento: expansão da infraestrutura. *In*: CASTRO, A. C.; LICHA, A.; PINTO JÚNIOR, H. Q.; SABOIA, J. (org.). **Brasil em desenvolvimento: economia, tecnologia e competitividade**. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 2005. v.1, p. 145-170.

BANKER, R. D. *et al.* An introduction to data envelopment analysis with some of its models and their uses. **Research in governmental and nonprofit accounting**, [s.l.], v. 5, n. 1, p. 125-163, 1989.

BANKER, R. D.; CHARNES, A.; COOPER, W. W. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. **Management science**, United States, v. 30, n. 9, p. 1078-1092, 1984.

BOGETOFT, P.; OTTO, L. **Benchmarking with DEA and SFA**. R package, version 0.29, 2020.

BRASIL. Tribunal de Contas da União. **Concessão rodoviária**. Disponível em: <https://portal.tcu.gov.br/lumis/portal/file/fileDownload.jsp?inline=1&fileId=8A8182A14E1CA3E4014E1CCF3370572B>. Acesso em: 28 de abril de 2020.

BUENO, E. **Náufragos, traficantes e degredados 2 – As primeiras expedições do Brasil**. Rio de Janeiro: Sextante, 2016.

CHARNES, Abraham; COOPER, William W.; RHODES, Edwardo. Measuring the efficiency of decision making units. **European 104 journal of operational research**, [s.l.], v. 2, n. 6, p. 429-444, 1978.

CHEN, E.; DIXON, W. Estimates of Parameters of a Censored Regression Sample. **Journal of the American Statistical Association**, [s.l.], v. 67, n. 339, p. 664-671, 1972.

CHERNICK, M. R. **Bootstrap Methods: a guide for practitioners and researchers**. New Jersey, NJ: Wiley, 2008.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Pesquisa CNT de Rodovias 2018 – dados brutos** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida da Diretoria Executiva da CNT <jeffersoncristiano@cnt.org.br> pela Coordenação do DATA Lab do Ifes Viana <adonai.lacruz@ifes.edu.br>. Acesso em 22 de maio de 2019.

COSTA, H. G. **Modelo para webibliomining**: proposta e caso de Aplicação.: Revista da FAE, Curitiba, v. 13, n. 1, p. 115-126, jun. 2010.

CRESWELL, J. W. **Projeto de pesquisa**: métodos qualitativo, quantitativo e misto. Tradução de Magda Lopes. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.

DERANI, C. **Privatização e serviços públicos**: as ações do Estado na produção econômica. São Paulo: Max Limonad, 2002.

ENGLERT, R. **Estudo de aplicação da análise envoltória de dados na avaliação da eficiência relativa de estações rodoviárias no Rio Grande do Sul**. 2007. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Regulação de Serviços Públicos) – Programa de Pós-Graduação em Administração, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

ESBENSEN, K.H. **Multivariate data analysis – In practice**. 4. ed. [s.l.]: CAMO, 2000.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GUJARATI, D. N. **Econometria básica**. São Paulo, SP: Makron Books, 2000.

HADLEY, W.; BRYAN, J. **Readxl**: read excel files. R package, version 1.3.1, 2019.

HELDER, R. R. **Como fazer análise documental**. Porto: Universidade de Algarve, 2006.

HOFF, A. Second stage DEA: comparison of approaches for modelling the DEA score. **European Journal of Operational Research**, [s.l.], v. 181, n. 1, p. 425-435, 2007.

IPEA. Rodovias brasileiras, gargalos, investimentos, preocupações com o futuro. **Comunicado do IPEA**, Brasília, n. 52, 2010.

KLEIBER, C.; ZEILEIS, A. **AER: applied econometrics with R**. R package, version 1.2.9, 2008.

LEAL, G. dos S. *et al.* Análise envoltória de dados e sua sensibilidade quanto a seleção de variáveis na análise de eficiência de unidades acadêmicas da Universidade Federal de Juiz de Fora. **Horizontes Interdisciplinares da Gestão**, Belo Horizonte, v. 2, n. 2, p. 104-128, 2019.

MACEDO, E. L.; JAMIL, G. L. Application of Data Envelopment Analysis for Evaluation of Final Business Process of same Segment/Aplicação da Análise Envoltória de Dados para Avaliação de Processos Finalísticos de Empresas de um mesmo Segmento. **Brazilian Journal of Development**, São José dos Pinhais, v. 5, n. 4, p. 2692-2713, 2019.

MARCHETTI, D.; WANKE, P. Brazil's rail freight transport: Efficiency analysis using two-stage DEA and cluster-driven public policies. *Socio-Economic Planning Sciences*, [s. l.], v. 59, n. C, p. 26-42, 2017.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos da Metodologia Científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

MILES, J.; SHEVLIN, M. **Applying regression and correlation: A guide for students and researchers**. London: Sage, 2001.

NEVES, C. E. V.; BERTUSSI, G. L. Eficiência em concessões de rodovias federais brasileiras. **Revista de Economia e Agronegócio**, Viçosa, v. 17, n. 2, 2019.

OLIVEIRA, C. A.; SPOSITO, E. S. Estado de São Paulo: Dinâmica econômica, concessões rodoviárias e análise dos indicadores PIB E IDH. *Geografia em Atos*, Presidente Prudente, v. 07, p. 44-59, 2007.

OLIVEIRA, C. A. **Consolidação de eixos de desenvolvimento econômico no Estado de São Paulo: dinâmica industrial, transporte e logística**. 2011. 359 f. Dissertação (Mestrado em). Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2011.

OLIVEIRA, R. A. de; OTT, E.; ALVES, T. W. Desempenho operacional e sustentabilidade de companhias listadas na bm&fbovespa: uma aplicação da análise envoltória de dados. **Anuário Pesquisa e Extensão Unoesc**, Joaçaba, v. 3, p. e17377-e17377, 2018.

PEREIRA, V. B. O subsetor de infraestrutura rodoviária. *In*: REZENDE, F.; PAULA, B. **Infraestrutura: Perspectivas de reorganização**. Brasília: IPEA, 1998.

PÉRICO, A. E.; SANTANA, N. B.; REBELATTO, D. A. N. Eficiência dos aeroportos internacionais brasileiros: uma análise envoltória de dados com bootstrap. **Gestão & Produção**, São Carlos, v. 24, n. 2, p. 370-381, 2017.

POLÍCIA RODOVIÁRIA FEDERAL. **Dados abertos – Acidentes – 2018**. Disponível em: <https://arquivos.prp.gov.br/arquivos/index.php/s/MaC6cieXSFACNWT>. Acesso em: 14 set. 2020.

POSSAMAI, R. P. **Avaliação de Eficiência Técnica em Concessionárias de Rodoviárias utilizando Análise de Envoltória de Dados**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria: [s.n.], 2020.

RECK, D. C. S. **O estado como regulador econômico: uma avaliação da experiência gaúcha de concessão de rodovias**. 2012. Dissertação (Mestrado em Economia). Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2012. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/162/texto%20completo.pdf?sequence=1>. Acesso em: 14 de maio de 2020.

REVELLE, W. **psych: procedures for personality and psychological research**. R package, version 1.9.12, 2019.

ROSA, M. V. F. ; SENNA, L. A. S. ; LINDAU, L. A. Concessão de Rodovias - Cenário Brasileiro. *In*: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, 23., 2009. Vitória/ES. **Anais** [...].

ROSA, M. V. F. cenários regulatórios e econômico-financeiros na participação de investidores: O caso dos leilões de concessões rodoviárias da 2ª Etapa do Programa Federal. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção e Transportes) - Laboratório de Sistemas de Transportes – Lastran, UFRGS, 2010.

SCHUMAHER, L. M. **Manutenção e reposição do equilíbrio econômico-financeiro dos contratos de concessões de rodovias: avaliação das revisões e reajustes de tarifas no Brasil**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

SERMAN, C. **Análise dos aspectos críticos em processos de concessão de rodovias**. 2008. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

SERRANO, A. L. M. *et al.* Eficiência das Concessionárias Ferroviárias no Brasil: Uma Aplicação por meio da Análise Envoltória de Dados. **Perspectivas Contemporâneas**, Campo Mourão, v. 12, n. 2, p. 55-72, 2017.

SHINOHARA, D. Y. **Parcerias Público-Privadas: um estudo de casos no Brasil**. 2006. Dissertação (Mestrado em Administração) – Faculdade de Economia e Contabilidade da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

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

SILVA, P. P. C. e. **Aleixo Garcia**, o homem e o mito. Cuiabá: Carlini & Caniato Editorial, 2012.

SOUZA JUNIOR, H.; F. C., ARAÚJO, G. A de. Webibliomining e sua proposta para pesquisas científicas mais eficientes. *In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA*, 36., 2017, [s./l.]. **Anais [...]**.

SOUZA JÚNIOR, R. T. **As Concessões Rodoviárias Gaúchas à Luz do Sistema de Franchise Bidding: 1996/2007. Dissertação (Mestrado)** – Programa de Pós graduação em Administração, Escola de Administração, universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2007.

SOUZA, P. C.; SCATENA, J. G.; KEHRIG, R. T. Aplicação da Análise Envoltória de Dados para avaliar a eficiência de hospitais do SUS em Mato Grosso. **Physis: Revista de Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 26, p. 289-308, 2016.

SOUZA, P. H. Y. **Análise de eficiência no setor de distribuição de energia elétrica: uma abordagem combinando clusterização e retornos constantes a escala.** 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) – Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2018.

## APÊNDICE A – SCRIPT PARA O SOFTWARE R

```

#DATASET
ifelse(!require(readxl),install.packages("readxl", dependencies=TRUE),1)
require(readxl)
dataset <- read_excel("dataset.xlsx")

#CRIAR VARIÁVEL DO PEDAGIO POR KM SOB CONCESSAO
dataset$Pedagio<-(dataset$Pedagio_total/dataset$Trechos_concessao)

#CRIAR VARIÁVEL DO RECÍPROCO DOS ACIDENTES FATAIS POR KM DE EXTENSAO
dataset$Reciproco_Acidente_Fatal<-(1/(dataset$Acidentes_fatais/dataset$Extensao_total))

#PERCENTUAL DE Km SOB CONCESSAO
dataset$Trechos_concessao/dataset$Extensao_total

#BOXPLOT
boxplot.default(dataset[5:6], main="Extensão das Rodovias", ylab="KM", pch = 8)
boxplot(dataset[2:4], main="Qualidade das Rodovias", ylab="Escala 1 a 5", pch = 8)
boxplot.default(dataset$Pedagio, main="Pedágio por Km sob concessão", ylab="R$", pch = 8)
boxplot.default(dataset$Acidentes_fatais, main="Acidentes fatais", ylab="Quantidade", pch = 8)

#ESTATÍSTICA DESCRITIVA
summary(dataset[c(2:6,8:9)])

#SOMA
sum(dataset[5]) # Extensao
sum(dataset[6]) # Concessao
sum(dataset[7]) # Pedagio total
sum(dataset[8]) # Acidentes

#DESVIO PADRAO
sd(dataset$Pedagio)
sd(dataset$Pavimento)
sd(dataset$Sinalizacao)
sd(dataset$Geometria)
sd(dataset$Extensao_total)
sd(dataset$Trechos_concessao)
sd(dataset$Acidentes_fatais)

```

```

#TESTE DE NORMALIDADE
shapiro.test(dataset$Pedagio)
shapiro.test(dataset$Pavimento)
shapiro.test(dataset$Sinalizacao)
shapiro.test(dataset$Geometria)
shapiro.test(dataset$Reciproco_Acidente_Fatal)

#CORRELACAO
ifelse(!require(psych),install.packages("psych", dependencies=TRUE),1)
require(psych)
corr.test(dataset[c(2:4,9:10)], method = "spearman")

#DEA
ifelse(!require(Benchmarking),install.packages("Benchmarking", dependencies=TRUE),1)
require(Benchmarking)
input=as.data.frame(dataset$Pedagio)
outputs=as.data.frame(dataset[c(3,4,10)])
dataset$ID=as.factor(dataset$ID)
str(dataset)

DEA_BR<-dea(input, outputs, RTS="crs", ORIENTATION="in", XREF=NULL, YREF=NULL,
FRONT.IDX=NULL, SLACK=TRUE, DUAL=FALSE, DIRECT=NULL, param=NULL,
TRANSPOSE=FALSE, FAST=FALSE, LP=FALSE, CONTROL=NULL, LPK=NULL)
summary(DEA_BR)
DEA_BR$eff
DEA_BR$lambda
DEA_BR$objval
DEA_BR$sum
DEA_BR$sy
dea.plot.frontier(input, outputs, RTS="crs", main = "Fronteira de Eficiência", xlab = "Input", ylab =
"Outputs", labels(dataset$ID), cex = 1.5)

#ESPELHAR DATASET
dataset_espelhado<-rbind(dataset, dataset)

#REGRESSAO TOBIT
dataset$Eficiencia<-DEA_BR$objval # criar variavel Eficiencia no dataset
ifelse(!require(AER),install.packages("AER", dependencies=TRUE),1)
require(AER)

```

```
DEA_Tobit<-tobit(Eficiencia ~ Pedagio + Sinalizacao + Geometria + Reciproco_Acidente_Fatal, data
= dataset_espelhado, left = 0, right = 1)
summary(DEA_Tobit)
```

## APÊNDICE B – RESULTADO DO PROCESSAMENTO DOS DADOS NO SOFTWARE R

```

> #ESTATISTICA DESCRITIVA
> summary(dataset[c(2:6,8:9)])
  Pavimento   Sinalizacao   Geometria   Extensao_total Trechos_concessao
Min.   :3.863  Min.   :3.338  Min.   :2.487  Min.   :286   Min.   : 68.0
1st Qu.:4.153  1st Qu.:3.695  1st Qu.:2.944  1st Qu.: 592   1st Qu.: 196.8
Median :4.264  Median :3.758  Median :3.144  Median :1210   Median : 546.3
Mean   :4.303  Mean   :3.860  Mean   :3.076  Mean   :1782   Mean   : 708.5
3rd Qu.:4.521  3rd Qu.:4.120  3rd Qu.:3.245  3rd Qu.:3259   3rd Qu.:1103.2
Max.   :4.745  Max.   :4.355  Max.   :3.382  Max.   :4609   Max.   :2217.4

Acidentes_fatais   Pedagio
Min.   : 52   Min.   :0.03416
1st Qu.: 123   1st Qu.:0.04265
Median : 381   Median :0.06508
Mean   : 535   Mean   :0.07990
3rd Qu.: 656   3rd Qu.:0.09037
Max.   :1730   Max.   :0.22520

> #SOMA
> sum(dataset[5]) # Extensao
[1] 23165
> sum(dataset[6]) # Concessao
[1] 9210.665
> sum(dataset[7]) # Pedagio total
[1] 667
> sum(dataset[8]) # Acidentes
[1] 6955

> #DESVIO PADRAO
> sd(dataset$Pedagio)
[1] 0.05179775
> sd(dataset$Pavimento)
[1] 0.2719006
> sd(dataset$Sinalizacao)
[1] 0.328364
> sd(dataset$Geometria)
[1] 0.2414803
> sd(dataset$Extensao_total)

```

```

[1] 1437.143
> sd(dataset$Trechos_concessao)
[1] 667.0322
> sd(dataset$Acidentes_fatais)
[1] 568.0314

> #TESTE DE NORMALIDADE
> shapiro.test(dataset$Pedagio)
      Shapiro-Wilk normality test
data:  dataset$Pedagio
W = 0.7945, p-value = 0.005868

> shapiro.test(dataset$Pavimento)
      Shapiro-Wilk normality test
data:  dataset$Pavimento
W = 0.9723, p-value = 0.9201

> shapiro.test(dataset$Sinalizacao)
      Shapiro-Wilk normality test
data:  dataset$Sinalizacao
W = 0.94203, p-value = 0.4837

> shapiro.test(dataset$Geometria)
      Shapiro-Wilk normality test
data:  dataset$Geometria
W = 0.91344, p-value = 0.2043

> shapiro.test(dataset$Reciproco_Acidente_Fatal)
      Shapiro-Wilk normality test
data:  dataset$Reciproco_Acidente_Fatal
W = 0.94509, p-value = 0.526

> #CORRELACAO
> corr.test(dataset[c(2:4,9:10)], method = "spearman")
Call:corr.test(x = dataset[c(2:4, 9:10)], method = "spearman")
Correlation matrix
      Pavimento Sinalizacao Geometria Pedagio
Pavimento      1.00      0.37      0.61      0.46
Sinalizacao     0.37      1.00      0.59      0.07
Geometria       0.61      0.59      1.00      0.15

```

Pedagio	0.46	0.07	0.15	1.00
Reciproco_Acidente_Fatal	-0.03	-0.55	-0.42	0.31

	Reciproco_Acidente_Fatal
Pavimento	-0.03
Sinalizacao	-0.55
Geometria	-0.42
Pedagio	0.31
Reciproco_Acidente_Fatal	1.00
Sample Size	

[1] 13

Probability values (Entries above the diagonal are adjusted for multiple tests.)

	Pavimento	Sinalizacao	Geometria	Pedagio
Pavimento	0.00	1.00	0.27	0.82
Sinalizacao	0.22	0.00	0.29	1.00
Geometria	0.03	0.03	0.00	1.00
Pedagio	0.12	0.82	0.63	0.00
Reciproco_Acidente_Fatal	0.93	0.05	0.15	0.30

	Reciproco_Acidente_Fatal
Pavimento	1.00
Sinalizacao	0.39
Geometria	0.90
Pedagio	1.00
Reciproco_Acidente_Fatal	0.00

To see confidence intervals of the correlations, print with the short=FALSE option

```
> #DEA
```

```
> DEA_BR<-dea(input, outputs, RTS="crs", ORIENTATION="in", XREF=NULL, YREF=NULL,
FRONT.IDX=NULL, SLACK=TRUE, DUAL=FALSE, DIRECT=NULL, param=NULL,
TRANSPOSE=FALSE, FAST=FALSE, LP=FALSE, CONTROL=NULL, LPK=NULL)
```

```
> summary(DEA_BR)
```

Summary of efficiencies

CRS technology and input orientated efficiency

Number of firms with efficiency==1 are 2 out of 13

Mean efficiency: 0.596

---

```

Eff range  #  %
0.1<= E <0.2  1  7.7
0.2<= E <0.3  0  0.0
0.3<= E <0.4  2 15.4
0.4<= E <0.5  3 23.1
0.5<= E <0.6  1  7.7
0.6<= E <0.7  2 15.4
0.7<= E <0.8  0  0.0
0.8<= E <0.9  2 15.4
0.9<= E <1    0  0.0
      E ==1    2 15.4
      Min. 1st Qu.  Median   Mean 3rd Qu.   Max.
0.1572 0.4068 0.5500 0.5957 0.8152 1.0000
> DEA_BR$eff
[1] 0.4191368 0.4816810 1.0000000 0.5500176 0.3899321 0.6456859 0.6815245 0.8240694
[9] 0.4068284 0.1571820 0.8152074 1.0000000 0.3727309
> DEA_BR$lambda
      L1 L2   L3 L4 L5 L6 L7 L8 L9 L10 L11   L12 L13
[1,] 0 0 0.1266621 0 0 0 0 0 0 0 0 0.8888596 0
[2,] 0 0 0.5826291 0 0 0 0 0 0 0 0 0.4774249 0
[3,] 0 0 1.0000000 0 0 0 0 0 0 0 0 0.0000000 0
[4,] 0 0 0.1032140 0 0 0 0 0 0 0 0 0.9368852 0
[5,] 0 0 0.2101916 0 0 0 0 0 0 0 0 0.8054184 0
[6,] 0 0 0.5774302 0 0 0 0 0 0 0 0 0.3661990 0
[7,] 0 0 1.1264123 0 0 0 0 0 0 0 0 0.0000000 0
[8,] 0 0 0.6264394 0 0 0 0 0 0 0 0 0.3546054 0
[9,] 0 0 1.3829953 0 0 0 0 0 0 0 0 0.0000000 0
[10,] 0 0 0.7602660 0 0 0 0 0 0 0 0 0.2178684 0
[11,] 0 0 0.2726312 0 0 0 0 0 0 0 0 0.6541356 0
[12,] 0 0 0.0000000 0 0 0 0 0 0 0 0 1.0000000 0
[13,] 0 0 0.6997743 0 0 0 0 0 0 0 0 0.3901769 0
> DEA_BR$objval
[1] 0.4191368 0.4816810 1.0000000 0.5500176 0.3899321 0.6456859 0.6815245 0.8240694
[9] 0.4068284 0.1571820 0.8152074 1.0000000 0.3727309
> DEA_BR$sum
[1] 0.11642241 0.05999756 0.00000000 0.73251086 0.29325487 0.39040152 1.28474329
[8] 0.07479887 2.49549454 0.52000112 0.15513301 0.00000000 0.16488672
> DEA_BR$y
      sy1   sy2 sy3
[1,] 0.0000000 0.11642241 0

```

```
[2,] 0.0000000 0.05999756 0
[3,] 0.0000000 0.00000000 0
[4,] 0.7325109 0.00000000 0
[5,] 0.2932549 0.00000000 0
[6,] 0.3904015 0.00000000 0
[7,] 0.7520933 0.53264995 0
[8,] 0.0000000 0.07479887 0
[9,] 1.4531677 1.04232683 0
[10,] 0.0000000 0.52000112 0
[11,] 0.1551330 0.00000000 0
[12,] 0.0000000 0.00000000 0
[13,] 0.1648867 0.00000000 0
> dea.plot.frontier(input, outputs, RTS="crs", main = "Fronteira de Eficiência", xlab = "Input", ylab =
"Outputs", labels(dataset$ID), cex = 1.5)
```

```
> #REGRESSAO TOBIT
> DEA_Tobit<-tobit(Eficiencia ~ Pedagio + Sinalizacao + Geometria + Reciproco_Acidente_Fatal,
data = dataset_espelhado, left = 0, right = 1)
> summary(DEA_Tobit)
```

Call:

```
tobit(formula = Eficiencia ~ Pedagio + Sinalizacao + Geometria +
      Reciproco_Acidente_Fatal, left = 0, right = 1, data = dataset_espelhado)
```

Observations:

Total	Left-censored	Uncensored	Right-censored
26	0	22	4

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z )
(Intercept)	1.72186	0.41148	4.185	2.86e-05 ***
Pedagio	-5.72260	0.57857	-9.891	< 2e-16 ***
Sinalizacao	0.22015	0.10352	2.127	0.0334 *
Geometria	-0.52213	0.13309	-3.923	8.75e-05 ***
Reciproco_Acidente_Fatal	0.02022	0.01223	1.653	0.0984 .
Log(scale)	-2.16606	0.15868	-13.651	< 2e-16 ***

---

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Scale: 0.1146

Gaussian distribution

Number of Newton-Raphson Iterations: 7

Log-likelihood: 11.76 on 6 Df

Wald-statistic: 106.7 on 4 Df, p-value:  $< 2.22e-16$