

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA DE BAURU
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

CAROLINE SAKAMOTO BARDUCHI

**Segurança das Rodovias Federais Brasileiras: Uma Abordagem pela
Análise Envoltória de Dados**

Orientador: Prof. Dr. Enzo Barberio Mariano

Bauru
2018

CAROLINE SAKAMOTO BARDUCHI

**Segurança das Rodovias Federais Brasileiras: Uma Abordagem pela
Análise Envoltória de Dados**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Engenharia de Produção da Faculdade de
Engenharia de Bauru da Universidade Estadual Paulista,
para obtenção do título de Mestre em Engenharia de
Produção.

Orientador: Prof. Dr. Enzo Barberio Mariano

Bauru
2018

Barduchi, Caroline Sakamoto.

Segurança das rodovias federais brasileiras: uma abordagem pela análise envoltória de dados / Caroline Sakamoto Barduchi, 2018

104 f.: il., figs., gráfs., tabs.

Orientador: Enzo Barberio Mariano

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2018

1. Segurança rodoviária 2. Análise envoltória de dados. 3. Acidentes de trânsito. I. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia. II. Título.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE CAROLINE SAKAMOTO BARDUCHI, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, DA FACULDADE DE ENGENHARIA - CÂMPUS DE BAURU.

Aos 05 dias do mês de dezembro do ano de 2018, às 09:00 horas, no(a) Sala de Videoconferência 02

- DTI, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros:

Prof. Dr. ENZO BARBERIO MARIANO - Orientador(a) do(a) Departamento de Engenharia de

Produção / Faculdade de Engenharia de Bauru - UNESP, Prof. Dr. JOSE ALCIDES GOBBO JUNIOR

do(a) Departamento de Engenharia de Produção / Faculdade de Engenharia de Bauru - UNESP,

Professora Associada DAISY APARECIDA DO NASCIMENTO REBELATTO do(a) Departamento de

Engenharia de Produção / Universidade de São Paulo/São Carlos, sob a presidência do primeiro, a

fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de CAROLINE SAKAMOTO

BARDUCHI, intitulada **SEGURANÇA DAS RODOVIAS FEDERAIS BRASILEIRAS: UMA**

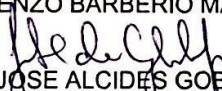
ABORDAGEM PELA ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS. Após a exposição, a discente foi arguida

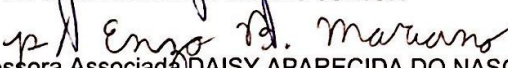
oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: aprovada

_____. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelos

membros da Comissão Examinadora.


Prof. Dr. ENZO BARBERIO MARIANO


Prof. Dr. JOSE ALCIDES GOBBO JUNIOR


Professora Associada DAISY APARECIDA DO NASCIMENTO REBELATTO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço à minha família, meus pais e meu irmão, por estarem ao meu lado durante esse percurso e por serem a minha base nos momentos difíceis. Sem a presença deles, não seria possível enfrentar todos os obstáculos.

Agradeço de modo muito especial, ao meu companheiro Raphael, pela imensa amizade e afeto, por ser um exemplo de ser humano com sua dedicação e bondade. Sua racionalidade, paciência e conselhos foram imprescindíveis em todo momento.

À minha família Sakamoto, em especial a tia Mary Stela, tio César e minha prima Mayara, por me apoiarem sempre. À família Barduchi, tia Fátima e tio Pio, pelas orações, pelos valores religiosos que sempre passam e pelo incentivo tanto à minha carreira profissional, quanto à minha educação.

Ao meu orientador Prof. Dr. Enzo por acreditar em mim, por compartilhar o seu conhecimento, bem como pela parceria nas inúmeras discussões para o desenvolvimento desse trabalho.

À todos os professores do Departamento de Engenharia de Produção por toda compreensão e apoio nos momentos de dificuldades.

RESUMO

A falta de segurança no trânsito é um problema de ordem mundial, ocasionando milhares de óbitos, além de perdas materiais muitas vezes irreparáveis para os indivíduos envolvidos nos acidentes. Na Europa, a gestão da segurança rodoviária promoveu a redução considerável do número de acidentes, por meio da aplicação de intervenções técnicas e rígida fiscalização. Considerando as estratégias de gerenciamento como um dos fatores determinantes para se garantir o progresso da segurança rodoviária, o presente estudo objetivou construir um índice de segurança das rodovias federais brasileiras por Estado. Nesse sentido, a técnica análise envoltória de dados (DEA) foi utilizada considerando as variáveis relacionadas aos investimentos e aos óbitos como *inputs* e as variáveis relacionadas ao comprimento da malha rodoviária e à população como *outputs*. A DEA foi aplicada em três diferentes formas e momentos: o método BCC orientado aos *inputs*, o método ERM orientado aos *inputs* e o modelo BCC orientado aos *inputs* com a variável “investimentos” fixado como *input* não discricionário. Com isso, foi possível obter três diferentes *rankings*, o que permitiu a sugestão de possíveis diretrizes gerais de prevenção e combate aos acidentes para cada caso específico. O estudo inova ao construir pela primeira vez para o Brasil um índice que considere diferentes componentes da segurança rodoviária. Além disso, o detalhamento da metodologia apresentada objetivou auxiliar as pesquisas futuras que visem utilizar a DEA como ferramenta para a avaliação da segurança de tráfego. Espera-se que essa pesquisa possa colaborar com as tomadas de decisões ideais para o desenvolvimento sustentável do país.

Palavras chaves: Segurança Rodoviária; Análise Envoltória de Dados; Acidentes de Trânsito.

ABSTRACT

The lack of traffic safety is a worldwide problem, causing thousands of deaths, as well as material losses that are often irreparable for individuals involved in accidents. In Europe, road safety management has led to a considerable reduction in the number of accidents, through the application of technical interventions and rigid supervision. Considering management strategies as one of the determining factors for ensuring road safety progress, the study aimed to build the safety index of Brazilian federal highways by State. In this sense, the data envelopment analysis technique (DEA) was used considering the variables related to investments and deaths as inputs and variables related to the length of the road network and to the population as outputs. The DEA was applied in three different forms and moments: the input-oriented BCC method, the input-oriented ERM method, and the input-oriented BCC model with the "investments" variable set as non-discretionary input. Therefore, it was possible to obtain three different rankings, which allowed the suggestion of possible general guidelines for prevention and combat of accidents for each specific case. The study innovates when constructing for the first time for Brazil an index that considers different components of road safety. In addition, the detailing of the methodology presented was intended to aid future research aimed at using the DEA as a tool for evaluating traffic safety. It is hoped that this research will contribute to the decision making process that is ideal for the sustainable development of the country.

Keywords: Road Safety; Data Envelopment Analysis; Traffic Accidents.

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Relação de Publicações e revistas.....	10
TABELA 2 – Número de citações por artigo	13
TABELA 3 – Dimensões analisadas	14
TABELA 4 – Estudos que incorporaram variáveis na forma de razão	16
TABELA 5 – Escopo das pesquisas sobre índices compostos.....	20
TABELA 6 – Estudos e variáveis sobre Unidades Administrativas	24
TABELA 7 – Estudos sobre eficiência de projetos	26
TABELA 8 – Estudos sobre eficiência de empresas de fiscalização	27
TABELA 9 – Variáveis da pesquisa	38
TABELA 10 – Matriz de correlação entre as variáveis.....	45
TABELA 11 – Regressão linear múltipla: teste 1	47
TABELA 12 – Regressão linear múltipla: testes 2 e 3.....	47
TABELA 13 – Dados do DEA	49
TABELA 14 – Índice de eficiência da segurança das rodovias federais por Estado	50
TABELA 15 – Folgas do modelo BCC – IC.....	54
TABELA 16 – Resultados DEA ERM	56
TABELA 17 – <i>Ranking</i> do BCC – IND e diferença dos resultados com o BCC – IC.....	58
TABELA 18 – Folgas do modelo BCC - IND	59
TABELA 19 – <i>Benchmarks</i> dos ineficientes.....	60
TABELA 20 – Frequência dos <i>benchmarks</i>	61
TABELA 21 – Posição dos Estados após aplicação do desempate pela análise de <i>benchmarks</i>	61

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1- Publicações por região.....	11
FIGURA 2 - Modelo conceitual DEA	29
FIGURA 3 - <i>Framework</i> do método de pesquisa.....	33
FIGURA 4 - <i>Framework</i> teórico da pesquisa.....	39
FIGURA 5 - Relação negativa esperada entre as variáveis de pesquisa	40
FIGURA 6 - Relação positiva esperada entre as variáveis de pesquisa	40
FIGURA 7 - <i>Framework</i> prático da pesquisa.....	41
FIGURA 8 - <i>Framework</i> adaptado de Golany e Holl (1989) para construção de índices de segurança dos transportes terrestres	43
FIGURA 9 - <i>Framework</i> para aplicação da DEA	48

SUMÁRIO

1. Introdução.....	1
1.1 Problema de pesquisa e Objetivo	5
1.2 Justificativa	6
1.3 Estrutura do trabalho.....	7
2. Estado da arte.....	9
2.1 Análise bibliométrica	9
2.2. Análise das variáveis e do escopo dos artigos.....	14
2.2.1. Índices compostos puros.....	17
2.2.2. Índices compostos relativizados	20
3. Método.....	29
3.1 Análise Envoltória de Dados	29
3.1.1. Modelos radiais e não radiais	29
3.1.2. Tipos de variáveis da DEA.....	32
3.2 Procedimentos de pesquisa	33
3.2.1 Seleção de DMUs, variáveis e coleta de dados	33
3.2.2 Aplicação do modelo e análise dos resultados	39
4. Resultados	45
4.1. Validação das variáveis de <i>input</i> e <i>output</i>	45
4.2. Índice de segurança das rodovias federais brasileiras.....	49
4.2.1. DEA BCC – IC	52
4.2.2. DEA ERM	54
4.2.3. DEA BCC – IND.....	57
4.2.4. Análise de <i>benchmarks</i>	59
5. Considerações finais.....	63
REFERÊNCIAS	67

APÊNDICE A..... 73

APÊNDICE B 79

APÊNDICE C 81

APÊNDICE D 83

APÊNDICE E 85

1. INTRODUÇÃO

A Organização Mundial da Saúde reconhece que a segurança no trânsito é um pré-requisito para assegurar vidas saudáveis, promovendo o desenvolvimento sustentável (WHO, 2017). Todavia, o gerenciamento da segurança é algo complexo e trabalhoso devido à diversidade de causas e de influências externas que contribuem para os acidentes (HUGHES et al., 2016). Para se estabelecer adequadamente a implementação de estratégias de gerenciamento da segurança do sistema de transportes, é importante identificar quais são os componentes envolvidos no contexto dos acidentes¹, bem como identificar interdependências entre eles, uma vez que a questão é multidisciplinar (HUGHES et al., 2016).

Os veículos são um dos componentes mais discutidos entre os gerenciadores de segurança de tráfego (HUGHES et al., 2016). Com o passar dos anos, as empresas de carros do mundo todo aperfeiçoaram seus projetos com a finalidade de tornar os veículos mais seguros, reduzindo, assim, a vulnerabilidade dos usuários (HUGHES et al., 2016). Porém, é evidente que os pedestres e os motociclistas estão mais expostos aos perigos quando comparados aos usuários de carros ou caminhões e, portanto, estão mais propensos a sofrerem acidentes de alto risco (TIGHT et al., 1998). Elvik (2010) cita também que os acidentes causados entre veículos com grandes diferenças de massa incorrem em danos materiais maiores e, na maioria das vezes, fatais.

O próprio usuário dos transportes é um componente considerado como um dos maiores problemas do sistema de segurança viária (ELVIK, 2010). Recentes estudos mostram que o número de acidentes provenientes das distrações dos indivíduos é crescente (ORTIZ et al., 2017). A principal fonte de distração está relacionada ao uso do celular enquanto o veículo é conduzido, o que foi um dos motivos para o aumentando considerável do número de acidentes e mortes no ano de 2015 nos Estados Unidos (ORTIZ et al., 2015). Adicionalmente, os condutores privados do sono ou com fadiga crônica decorrentes de excesso de trabalho, além daqueles que apresentam um comportamento exacerbado de raiva durante a condução, são um dos principais responsáveis pelo aumento do risco de acidentes graves² (BENER et al., 2017).

¹ O Apêndice A apresenta o levantamento realizado por Hughes et al. (2016) dos componentes envolvidos nas estratégias de segurança de trânsito.

² Pesquisa conduzida por Bener et al. (2017) em departamentos de emergência para acidentes na Turquia.

Ainda no contexto humano, há os acidentes motivados pelo excesso de velocidade, os quais são problemas persistentes e de difíceis soluções, porquanto envolvem a racionalidade e a sensatez humana (ELVIK, 2010). Elvik (2010) afirma que muitos indivíduos relacionam os limites de velocidade ao custo-benefício de uma viagem, desconhecendo que, na verdade, o fator limitante para a velocidade é estabelecido em função da percepção humana e o ambiente externo da própria via de tráfego. Dessa forma, os usuários acabam cometendo mais infrações relacionadas ao excesso de velocidade.

A infraestrutura das vias é o fator mais citado relativo às estratégias de segurança de tráfego (HUGHES et al., 2016). Alguns aspectos das rodovias são influenciadores diretos dos acidentes, tais como a qualidade da superfície de rolamento da via, o projeto geométrico da estrada e os dispositivos de segurança³. Além disso, há uma correlação positiva entre o comprimento das rodovias e o maior risco dos usuários, o que é frequentemente observada em países em desenvolvimento, locais onde as taxas de mortalidade relacionadas a acidentes de trânsito são significativamente mais acentuadas (PERSIA et al., 2016, GICHAGA, 2017). Tanto a crescente motorização quanto a alta densidade da malha são fatores que aumentam o risco de exposição nesses locais, exigindo uma maior percepção por parte dos usuários (BASTOS et al., 2015; PERSIA et al., 2016; GICHAGA, 2017).

Dentre os elementos mais afetados pela insegurança do trânsito encontra-se a saúde pública. A Organização mundial da Saúde aponta que acidentes de trânsito são uma das maiores causas de deficiência física em indivíduos e, a menos que medidas sejam tomadas, essas causalidades serão o quinto maior fator de mortes no mundo (WHO, 2018). O aumento da insegurança também está ocasionando uma mudança cultural e comportamental em longo prazo. O medo crescente pelo tráfego é referenciado como o principal motivo pelo qual os pais não deixam as crianças irem para a escola a pé (TIGHT et al., 1998). Consequentemente, Tight et al. (1998) menciona que essas crianças perdem a oportunidade de explorar outros ambientes, assim como desenvolver comportamentos de independência.

Dado a relevância do tema no contexto atual, é importante que estratégias e diretrizes preventivas sejam bem estabelecidas. Muitos estudos mostraram que medidas socioeducativas são estratégias eficazes, em longo prazo, para a redução de acidentes causados por fatores relacionados ao comportamento humano, sendo que os indivíduos ainda crianças devem ser

³ Os dispositivos de segurança mais comumente empregados são as lombadas, quebra-molas, defensas metálicas, barreiras, entre outros.

submetidos a educação para o trânsito para que a medida traga mais resultados (ASSAILLY, 2017). Os principais objetivos desse tipo de ensino consistem em: i) promover o conhecimento e entendimento das regras de trânsito e das situações de tráfego; ii) proporcionar aumento das habilidades dos envolvidos, principalmente condutores, por meio de treinamento e experiência; e iii) fortalecer e/ou mudar atitudes com a conscientização dos riscos, da segurança pessoal e da segurança dos demais envolvidos (ASSAILLY, 2017).

Mesmo que a educação sobre a segurança de tráfego mostre-se satisfatória, não se deve isolar essa medida como a única forma de prevenção de acidentes⁴. No que condiz com a segurança no trânsito, as intervenções mais adequadas são relacionadas às estratégias de engenharia (por ex. KANG e MOMTAZ, 2018) e a fiscalizações ostensivas (por ex. VRANES et al., 2018), pois se consegue traçar metas tangíveis e quantificáveis com elas, produzindo efeitos de segurança quase que imediatos (NOVOA et al., 2009; ASSAILLY, 2017; WHO, 2018). Um gerenciamento de sistema rodoviário em consonância com a segurança deve, primeiramente, focar nos pontos tidos como causas potenciais de risco e eliminá-los de maneira prioritária para que mudanças nos quadros estatísticos de acidentes sejam obtidas (JAMROZ et al., 2014; PERSIA et al., 2016; ASSAILLY, 2017).

Nas décadas de 80 e 90, a Europa passou a focar na aplicação desses tipos de intervenções no sistema rodoviário, de forma a não mais culpar o indivíduo envolvido como o principal responsável pelos acidentes (TISCA et al. 2016; PERSIA et al., 2016). Passou-se a reconhecer que os usuários cometem falhas e, por conta disso, faz-se fundamental projetar e operar um sistema de transporte que absorva parte dos erros humanos (PERSIA et al., 2016; TISCA et al., 2016). O gerenciamento da segurança da infraestrutura rodoviária passou a ser algo previsto legalmente, o que fez muitos países assumirem a responsabilidade de manter a ordem, a organização e a segurança do sistema de trânsito, reduzindo consideravelmente os acidentes (JAMROZ, et al., 2014).

Nesse contexto, diversos procedimentos tidos como elementos essenciais para a gestão da segurança rodoviária foram estabelecidos na Europa, tais como: i) avaliação do impacto da segurança rodoviária; ii) auditorias de segurança rodoviária; iii) ferramentas para avaliação da eficiência do gerenciamento do sistema de segurança; iv) desenvolvimento de indicadores de desempenho da segurança da infraestrutura rodoviária; dentre outros (JAMROZ, et al., 2014;

⁴ O Apêndice B apresenta todas as principais diretrizes adotadas como estratégias relacionadas ao gerenciamento da segurança de tráfego.

PERSIA et al., 2016). Esse dois últimos são importantes tanto para que os investimentos destinados ao transporte em geral e à segurança rodoviária sejam alocados da maneira mais eficiente possível quanto para que medidas estratégicas sejam eficientemente aplicadas (HUGHES et al., 2016; PERSI et al., 2016).

A utilização de ferramentas adequadas para a criação de índices de eficiência de segurança ou de indicadores de segurança é essencial para obtenção de resultados consistentes, os quais devem conduzir para decisões estratégicas apropriadas (JAMROZ, et al., 2014; HUGHES et al., 2016; PERSI et al., 2014). Atualmente, a Análise Envolvória de Dados (DEA) é uma técnica amplamente utilizada para analisar a eficiência de qualquer organização, podendo ainda ser utilizada para o desenvolvimento de índices compostos relativos a essas unidades (MARIANO et al., 2015).

No contexto da segurança de tráfego, a DEA foi aplicada para o gerenciamento de unidades operacionais da administração pública de rodovias da Noruega (ODECK, 2006). Quanto às publicações e estudos, a ferramenta é utilizada para construção de índices compostos de segurança (por exemplo, em BASTOS et al., 2015; HERMANS et al., 2008; SHEN et al., 2011a; TEŠIĆ, M. et al., 2018) e de índices de eficiência referentes: i) aos indicadores de segurança do trânsito (por exemplo HERMANS et al., 2009; SHEN et al., 2015), ii) ao planejamento urbano (CHEN et al., 2013; LORD e PERSAUD, 2004); iii) ao planejamento de rodovias (COOK et al., 2001), iv) à fiscalização policial (SANCHEZ, 2008), v) ao desenvolvimento sustentável do trânsito (ZHANG et al., 2013), entre outros.

No Brasil, as rodovias estão sob a responsabilidade: a) de empresas privadas, no caso das rodovias concedidas; b) dos municípios, Estados ou Distrito Federal, para o caso de rodovias delegadas; e c) dos órgãos federais diretamente ligados ao Poder Executivo, que são o caso das rodovias sob administração direta da União, designadas de rodovias federais⁵ ou, as popularmente ditas, BRs. Dentre os principais órgãos federais responsáveis pelas rodovias federais brasileiras encontram-se o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) e a Polícia Rodoviária Federal.

O DNIT é o responsável direto e específico, representante do Poder Executivo e ligado ao Ministério dos Transportes, pelas rodovias federais brasileiras (DNIT, 2007). As principais competências do órgão são i) desempenhar as funções relativas à construção, manutenção e

⁵ As rodovias federais brasileiras são as que constam na lei 5917/73 e suas alterações, a qual estabelece o Plano Nacional de Viação (PNV) do país.

operação da infraestrutura dos segmentos do Sistema Federal de Viação nos modais rodoviário, ferroviário e aquaviário; ii) o endereçamento dos investimentos em infraestrutura do transporte; e iii) o estabelecimento de normas técnicas para projetos e construções de infraestrutura de transporte (DNIT, 2001). Já a PRF é um órgão representante do Poder Executivo e ligado ao Ministério da Justiça, responsável pelo patrulhamento e fiscalização ostensiva das rodovias federais, além do desenvolvimento de ações voltadas para a educação no trânsito (PRF, 2018).

Em alguns países, há, além dos administradores usuais das rodovias, instituições sociais, que possuem a finalidade de promover a segurança dos transportes por meio de ações independentes (ODECK, 2006, por ex.). O Observatório Nacional de Segurança Viária é uma instituição brasileira que atua nesse sentido, promovendo a pesquisa e a informação da engenharia de transportes brasileira, com a disponibilização de dados estatísticos no que tange as mortes em acidentes de trânsito (ONSV, 2018). Embora sejam relevantes, esses dados não consideram a diversidade de componentes abrangidos pela segurança de tráfego em rodovias. Com isso, as decisões estratégicas para a prevenção de acidentes ficam comprometidas. Nesse sentido, a presente pesquisa propõe a construção de um índice de segurança para as rodovias federais brasileiras, considerando esses diferentes componentes.

1.1 Problema de pesquisa e Objetivo

Assim como apresentado por diversos autores (HUGHES et al., 2006; ELVICK, 2010, por ex.), os acidentes ocorrem por diversos componentes que se tangenciam de diversas formas. Nesse sentido, considerar um indicador de segurança que não relativize todos os fatores do sistema o qual se insere irá culminar em decisões estratégicas pouco eficientes. A partir do momento em que há a consideração de todos esses componentes, é possível avaliar de forma clara quais são as diretrizes realmente capazes de prevenir os acidentes, ganhando-se tempo e diminuindo-se erros. Para o Brasil, não há estudos que tenham feito essa consideração.

Desta forma, o objetivo geral dessa pesquisa é construir um índice de segurança por Estado brasileiro relativo às suas rodovias federais, que se baseie no número de mortes relativizado tanto pelos recursos que foram destinados às rodovias quanto por outros fatores ambientais. Ressalta-se que para isso, foi aplicada a ferramenta DEA.

1.2 Justificativa

Por meio do levantamento da literatura sobre pesquisas que avaliaram a segurança de rodovias utilizando a DEA, pode-se observar que existem falhas na seleção e avaliação dos tipos das variáveis a serem incorporadas à ferramenta. Dessa forma, não é possível garantir que os resultados obtidos por essas pesquisas sejam coerentes. A principal justificativa teórica para o presente trabalho recai sobre esse problema.

De fato, a maior dificuldade na aplicação da DEA no âmbito da segurança de trânsito está na seleção de variáveis que sejam relevantes para os resultados almejados (ALPER, et al., 2015; BASTOS et al., 2015; HERMANS et al., 2009). Além disso, várias combinações de variáveis resultam em diferentes índices, portanto a seleção dos fatores que indicam a segurança depende da ótica da estratégia de gerenciamento e deve-se considerar, também, a natureza multidisciplinar a qual envolve a causa de um acidente (HERMANS et al., 2009; TEŠIĆ et al., 2018). Com isso, a escolha, a verificação da correlação estatística e a correta incorporação das variáveis na ferramenta são partes fundamentais do procedimento, de forma a garantir os resultados ideais e esperados (GOLANY e HOLL, 1989).

Na literatura levantada, foi possível verificar que existem conclusões relevantes sobre a consideração de algumas variáveis relacionadas aos riscos de exposição de acidentes para os resultados concernentes à avaliação da segurança em rodovias (SHEN et al., 2013b). No entanto, essas pesquisas não consideram essas variáveis como sendo do tipo ambiental, além delas terem sido empregadas na forma de razões (por exemplo, mortes por 100.000 habitantes, mortes por 100.000 veículos), fato que pode distorcer os resultados da DEA (EMROUZNEJAD e AMIN, 2009). Esse trabalho visa corrigir esses problemas teóricos.

As variáveis ambientais (ou não controláveis) são aquelas relacionadas aos fatores que não podem ser controlados pelo tomador de decisão e são externas à função produção (RUGGIERO, 1998). A consideração desses fatores não controláveis na DEA é importante, pois as variáveis ambientais afetam a forma com que os *inputs* são transformados em *outputs*, apesar de elas não fazerem parte da função produção propriamente dita. Como essas variáveis são exógenas à produção, a matemática da DEA tradicional deve ser escrita de forma diferente (RUGGIERO, 1998), assim como ocorre para todos os outros tipos de variáveis a serem aplicadas à DEA. Daí a importância da categorização correta das variáveis ambientais envolvidas, posto que, com uma equação diferente, os resultados obtidos serão outros.

Por outro lado, essa pesquisa também trará contribuição prática, visto que faltam trabalhos no que tangem a avaliação de índices de segurança para as rodovias do Brasil. Bastos et al. (2015) já haviam citado a importância do desenvolvimento de estudos que objetivem a avaliação da segurança das rodovias brasileiras por meio do DEA, considerando tanto *inputs* quanto *outputs*. Com isso, será possível auxiliar o estabelecimento de diretrizes que favoreçam a gestão estratégica da segurança da infraestrutura rodoviária para o Brasil, seguindo o exemplo dos países da União Europeia.

1.3 Estrutura do trabalho

Após a apresentação do capítulo 1, intitulado como “Introdução”, o qual apresentou o contexto da pesquisa, a definição do objetivo e da justificativa, a estrutura da presente pesquisa segue descrita a seguir.

No capítulo 2, intitulado como “Estado da Arte”, são apresentados a análise bibliométrica e a análise do conteúdo dos artigos levantados que consideraram o âmbito da segurança rodoviária e a análise envoltória de dados.

O capítulo 3, intitulado como “Método”, descreve os métodos de pesquisas utilizados para o alcance dos objetivos propostos, bem como apresenta uma breve abordagem da ferramenta DEA e as variáveis envolvidas na pesquisa.

O capítulo 4, intitulado como “Resultados”, apresenta os resultados e discussões dos diferentes métodos aplicados para a obtenção de índices de segurança sob diferentes perspectivas de gestão estratégica.

Por fim, o capítulo 5, intitulado “conclusões”, aborda os principais avanços, as principais limitações e sugestões para trabalhos futuros.

2. ESTADO DA ARTE

Esse capítulo traz o levantamento de pesquisas publicadas na base de dados *Scopus*, as quais fundamentaram a parte teórica desse trabalho. Escolheu-se essa base de dados devido a abrangência de periódicos e publicações, aumentando, assim, a quantidade de estudos a serem incluídas no estado da arte. A pesquisa foi realizada no mês de setembro de 2017 e considerou somente artigos relacionados à segurança rodoviária e a técnica Análise Envoltória de Dados. Os resultados foram obtidos com a inserção das seguintes palavras chaves nos campos de busca: “*road*” (rodovia) e “*safety*” (segurança) ou “*security*” (segurança) e “*DEA*” ou “*data envelopment analysis*” (análise envoltória de dados).

Foram encontrados 42 trabalhos classificados entre artigos de revista científica e artigos de congresso, dentre os quais 20 foram mantidos. Os outros 22 foram excluídos por abordarem temas ou métodos fora do escopo proposto por essa pesquisa, como artigos que estudaram segurança de ferrovias, ou, até mesmo, por serem artigos duplicados. Fez-se essa exclusão, pois os componentes e variáveis que contextualizam essas pesquisas diferem das envolvidas em segurança de rodovias. A leitura foi realizada ao mesmo tempo da sistematização da literatura, seguindo o método de estruturação utilizado na publicação de Mariano et al. (2015). A partir disso, foram escolhidas algumas dimensões a serem avaliadas e cujas análises se encontram nos seguintes tópicos: (1) análise bibliométrica; (2) análise do escopo dos estudos; e (3) análise das variáveis em estudo.

2.1 Análise bibliométrica

O primeiro tópico apresenta a análise bibliométrica dos resultados obtidos após a triagem do conteúdo. A tabela 1 apresenta as revistas que mais possuem publicações sobre a utilização da técnica análise envoltória de dados no contexto da segurança das rodovias.

Como pode ser observado, a revista *Accident and Prevention* é a que mais publica trabalhos em que a técnica é aplicada para avaliação da segurança do tráfego, englobando 8 do total das publicações, o que significa 38,10%. Revistas cujo escopo seja relacionado às abordagens de pesquisa operacional aparecem com poucas publicações, como o caso do *Journal of the Operational Research Society* e da *Omega*, com somente 2 e 1 publicações, respectivamente. Isso demonstra que há poucos estudos dentro do tema que estejam avançando em aspectos

matemáticos e operacionais, de modo que os artigos contemplam mais estudos voltados ao auxílio em decisões preventivas e mitigadores, além de políticas e atos gerenciais.

TABELA 1 – Relação de Publicações e revistas

Revistas	Quantidade
<i>Accident Analysis and Prevention</i>	8
<i>Journal of the Operational Research Society</i>	2
<i>Expert Systems with Applications</i>	1
<i>Industrial Engineering and Management Systems</i>	1
<i>International Journal of Systems Assurance Engineering and Management</i>	1
<i>Omega</i>	1
<i>Promet – Traffic – Traffico</i>	1
<i>Scientia Iranica</i>	1
<i>Social Indicators Research</i>	1
<i>Traffic Injury Prevention</i>	1
<i>Transport Policy</i>	1
<i>Transportation Research Part A: Policy and Practice</i>	1

O gráfico 1 mostra a evolução das publicações no tempo. A partir da análise dos dados, foi possível verificar que 2013 foi o ano com mais publicações, com 5 artigos, os quais representam cerca de 23,81% do total. Ademais, pode-se observar que, apesar do ano de 2001 ter marcado o início dos estudos, foi a partir do ano de 2008 que houve uma produção científica contínua. Esse comportamento pode ser explicado pela resolução da Organização Mundial da Saúde chamada “Década de Ação para Segurança no Trânsito 2011-2020”, a qual foi apresentada em 2010 e cujo objetivo era diminuir pela metade as mortes e os ferimentos globais por acidentes em estradas com a implantação de um plano global em mais de 110 países do mundo (WHO, 2017). A resolução pode ter impulsionado a tendência em desenvolver estudos na área.



Para verificar quais regiões do mundo possuem maior número de trabalhos desenvolvidos, levantaram-se as publicações por países ou regiões. Pela figura 1, nota-se que a Europa é a região com a maior quantidade de estudos, sendo 9 trabalhos publicados, ao passo que as demais localidades possuem de 1 a 2 estudos na área. Isso pode ser explicado pela dificuldade de se encontrar dados relevantes e válidos para serem incorporados ao DEA.

Bastos et al. (2015) já haviam ressaltado em seus estudos a dificuldade em encontrar dados relacionados à segurança do tráfego brasileiro e também aqueles referentes à infraestrutura das rodovias no Brasil. Analogamente, Alper et al. (2015) citam o mesmo problema durante o desenvolvimento do seu estudo. Os autores alegaram que seria importante a consideração de *outputs* relacionados à infraestrutura da rodovia israelense, no entanto não a fizeram por falta de variáveis. Por outro lado, países da Europa possuem mais dados disponíveis devido a política de homogeneização de dados relativos à segurança rodoviária, facilitando a análise e comparação de performances, assim como a identificação de *benchmarks*, como, por exemplo, feito na pesquisa de Hermans et al. (2009).

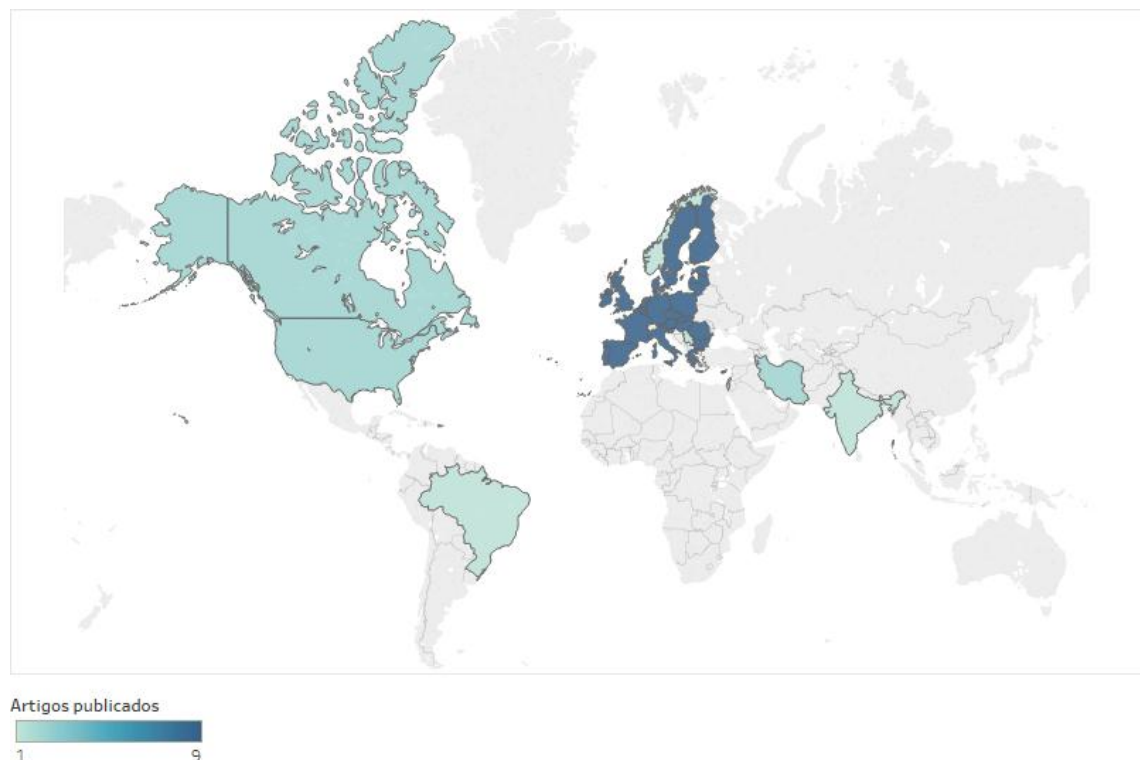


FIGURA 1- Publicações por região

Quando se trata da identificação dos trabalhos mais importantes, é interessante analisar seu número de citações. A tabela 2 apresenta todos os artigos encontrados com os seus respectivos números de citações. Dentre os mais citados, destaca-se o artigo com 58 citações de Hermans et al. (2009), cujo trabalho apresentou um modelo DEA ideal para abordagens dentro do tema segurança de tráfego, uma vez que existe a necessidade da incorporação de variáveis indesejáveis à técnica. Igualmente com 58 citações, Hermans et al. (2008) preocuparam-se em avaliar as diferentes formas de se atribuir restrições aos pesos enquanto desenvolve-se um índice composto de segurança viária. Vale ainda citar os artigos pioneiros de Cook et al (2001) e Odeck (2006) com 17 e 33 citações, respectivamente.

TABELA 2 – Número de citações por artigo

Título do artigo	Autores	Citações
<i>Benchmarking road safety: Lessons to learn from a data envelopment analysis</i>	Hermans, E., Brijs, T., Wets, G., Vanhoof, K.	58
<i>Combining road safety information in a performance index</i>	Hermans, E., Van den Bossche, F., Wets, G.	58
<i>Identifying traffic safety best practice: An application of DEA and Malmquist indices</i>	Odeck, J.	33
<i>Road safety risk evaluation and target setting using data envelopment analysis and its extensions</i>	Shen, Y., Hermans, E., Brijs, T., Wets, G., Vanhoof, K.	22
<i>A generalized multiple layer data envelopment analysis model for hierarchical structure assessment: A case study in road safety performance evaluation</i>	Shen, Y., Hermans, E., Ruan, D., (...), Brijs, T., Vanhoof, K.	22
<i>Data Envelopment Analysis for Composite Indicators: A Multiple Layer Model</i>	Shen, Y., Hermans, E., Brijs, T., Wets, G.	17
<i>Prioritising highway accident sites: A data envelopment analysis model</i>	Cook, W.D., Kazakov, A., Persaud, B.N.	17
<i>Benchmarking road safety of U.S. states: A DEA-based Malmquist productivity index approach</i>	Egilmez, G., McAvoy, D.	15
<i>Road safety development in Europe: A decade of changes (2001-2010)</i>	Shen, Y., Hermans, E., Bao, Q., Brijs, T., Wets, G.	9
<i>Evaluating the efficiency of local municipalities in providing traffic safety using Data Envelopment Analysis</i>	Alper, D., Sinuany-Stern, Z., Shinar, D.	7
<i>Modeling qualitative data in data envelopment analysis for composite indicators</i>	Shen, Y., Ruan, D., Hermans, E., (...), Wets, G., Vanhoof, K.	6
<i>Traffic fatality indicators in Brazil: State diagnosis based on data envelopment analysis research</i>	Bastos, J.T., Shen, Y., Hermans, E., (...), Wets, G., Ferraz, A.C.P.	5
<i>Highway improvement project selection by the joint consideration of cost-benefit and risk criteria</i>	Kelle, P., Schneider, H., Raschke, C., Shirazi, H.	4
<i>Identification and prioritization of hazardous road locations by segmentation and data envelopment analysis approach</i>	Sadeghi, A., Ayati, E., Neghab, M.P.	4
<i>Serious Injuries: An Additional Indicator to Fatalities for Road Safety Benchmarking</i>	Shen, Y., Hermans, E., Bao, Q., Brijs, T., Wets, G.	2
<i>Method for selection of optimal road safety composite index with examples from DEA and TOPSIS method</i>	Rosić, M., Pešić, D., Kukić, D., Antić, B., Božović, M.	1
<i>Using DEA and AHP for Hierarchical Structures of Data</i>	Pakkar, M.S.	1
<i>Uncertainty-based prioritization of road safety projects: an application of data envelopment analysis</i>	Sadeghi, A., Mohammadzadeh Moghaddam, A.	0
<i>An application of the directional distance function with the number of accidents as an undesirable output to measure the technical efficiency of state road transport in India</i>	Pal, D., Mitra, S.K.	0
<i>Road safety performance evaluation and policy making by data envelopment analysis: a case study of provincial data in Iran</i>	Behnood, H.R., Ayati, E., Hermans, E., Neghab, M.A.P.	0

2.2. Análise das variáveis e do escopo dos artigos

Essa seção apresenta a análise do escopo dos artigos resultantes do levantamento do estado da arte. No entanto, antes de apresentar a análise do escopo, é importante que sejam feitas algumas considerações a respeito das variáveis incorporadas às DEAs dos artigos.

Com a finalidade de identificar padrões nas variáveis presentes nos estudos, foram estabelecidas algumas dimensões, as quais foram nomeadas e descritas conforme segue: i) efeito final para os fatores inerentes ao resultado do sistema de segurança, sendo que podem ser indesejáveis ou desejáveis; ii) risco de exposição para variáveis que se enquadram como potenciais riscos aos quais os usuários são expostos, por exemplo o comprimento da pista, ou para as variáveis que o usuário ou o gerenciador não possui controle, como iluminação do ambiente; iii) comportamento do usuário para as variáveis influenciadas pela racionalidade e sensatez humana, como as relacionadas com a ingestão de álcool; e iv) gerenciamento para todas as variáveis que representam os recursos, as diretrizes, as políticas, os investimentos, os financiamentos, entre outros, as quais estão sob o controle do tomador de decisão.

A tabela 3 resume cada a dimensão adotada para análise.

TABELA 3 – Dimensões analisadas

Dimensões	Definição	Exemplos
<i>Efeito final</i>	<i>Consequência final do sistema de segurança rodoviário, podendo ser desejável ou indesejável</i>	<i>Óbitos</i>
<i>Risco de exposição</i>	<i>Fatores que colaboram para expor o usuário ao risco de acidente</i>	<i>Comprimento da pista</i>
<i>Comportamento do usuário</i>	<i>Variáveis típicas do comportamento do indivíduo</i>	<i>Dirigir sob efeito do álcool</i>
<i>Gerenciamento</i>	<i>Variáveis que englobam os recursos, diretrizes, financiamentos, etc.</i>	<i>Investimentos</i>

Com as dimensões estabelecidas, foi possível verificar como as variáveis em estudo deveriam ter sido tratadas na DEA. Como as variáveis de “efeito final” são o resultado do sistema de segurança, elas devem ser classificadas na DEA como *outputs* desejáveis ou indesejáveis. Já o “risco de exposição” e o “comportamento do usuário” devem ser categorizadas como variáveis ambientais, visto que não há como se ter controle sobre elas, embora elas sejam importantes para o sistema e influenciem na obtenção dos resultados. Por último, as variáveis da dimensão “gerenciamento” devem ser representadas pelos *inputs* controláveis na DEA, porquanto estão sujeitas à gestão. Cabe ressaltar que, conforme mencionado no capítulo 1,

nenhuma pesquisa considerou as variáveis de “risco de exposição” como ambientais, o que pode ter gerado distorções nos resultados, uma vez que a matemática da DEA fica diferente.

É importante destacar, ainda, que se observou uma grande quantidade de estudos cujas variáveis foram utilizadas na forma de razão. Evidencia-se que esse tipo de variável não deveriam ser empregadas à DEA, pois podem proporcionar resultados distorcidos (EMROUZNEJAD e AMIN, 2009). Embora não seja recomendado, cerca de 60% dos artigos utilizaram esse tipo de variável. Todos esses estudos encontram-se listados na tabela 4, com suas respectivas variáveis, na forma de razão, expressas.

Feitas as considerações a respeito das variáveis, os tópicos seguintes apresentarão o escopo dos artigos. Para analisar o escopo dos trabalhos, o conjunto de artigos encontrado foi dividido em dois grupos: 1) os que utilizaram a DEA para a construção de índices compostos puros; e 2) os que utilizaram a DEA construir índices compostos relativizados aos componentes de segurança de tráfego. Esses tópicos encontram-se desenvolvidos nos itens subsequentes.

TABELA 4 – Estudos que incorporaram variáveis na forma de razão

Autores	Variáveis utilizadas na forma de razão
<i>Rosić et al. (2016)</i>	<i>Risco público (a cada 100.000 habitantes)</i> <i>Risco de tráfego (a cada 100.000 habitantes)</i>
<i>Pal e Mitra (2016)</i>	<i>Ônibus/km viajado</i> <i>Passageiros/km</i>
<i>Pakkar, (2016)</i>	<i>% de fatalidades devido ao álcool</i> <i>% de violação dos limites de velocidade em áreas urbanas</i>
<i>Bastos et al. (2015)</i>	<i>Fatalidades/100.000 habitantes</i> <i>Fatalidades/100.000 veículos</i> <i>Fatalidade/bilhão de km veículo/km viajado</i>
<i>Alper et al. (2015)</i>	<i>% de carros novos</i> <i>% de orçamento</i>
<i>Shen et al. (2013b)</i>	<i>Passageiros/km viajado</i>
<i>Behnood et al. (2014)</i>	<i>Nº de postos policiais/100 km</i> <i>Nº de black spots/100 km</i> <i>Nº de câmeras/100 km</i> <i>Nº de serviços de emergência/100 km</i> <i>Nº de postos de iluminação/100km</i> <i>Vítimas fatais/milhão veículos/km viajados</i> <i>Vítimas fatais/100 km de rodovias</i>
<i>Shen, et al. (2013b).</i>	<i>% de condutores sob efeito do álcool</i> <i>% de mortes relacionadas ao álcool</i> <i>% de veículos que excedem o limite de velocidade</i>
<i>Kelle, et al. (2013)</i>	<i>Probabilidade de acidentes</i> <i>Probabilidades de danos em colisões</i> <i>Probabilidade de acidentes por deslizamento</i>
<i>Egilmez e McAvoy (2013)</i>	<i>Veículos/milhas viajado</i>
<i>Shen et al. (2012)</i>	<i>% de condutores sob efeito do álcool</i> <i>% de mortes relacionadas ao álcool</i> <i>% de veículos que excedem o limite de velocidade</i>
<i>Hermans, et al. (2009)</i>	<i>% de condutores que apresentaram vestígios de álcool abaixo do permitido</i> <i>% dos motoristas que dirigem abaixo do limite de velocidade</i> <i>% de pessoas que utilizam o cinto de segurança no banco da frente</i> <i>% de carros com menos de 6 anos de fabricação</i> <i>Comprimento de rodovias/área total do país</i> <i>Óbitos/milhão de habitantes</i> <i>Feridos/100.000 habitantes</i>

2.2.1. Índices compostos puros

Os estudos sobre índices compostos puros tiveram suas análises subdivididas em: a) estudos que desenvolveram índices compostos de segurança rodoviária sem proposição de modelos novos; b) estudos que propuseram modelos para a criação de índices compostos; e c) estudos no contexto da segurança de tráfego que compararam os diversos métodos de desenvolvimento de índices compostos, dentre os quais poderiam se encontrar variados modelos DEA. A descrição dessas pesquisas encontra-se a seguir.

a) Estudos que desenvolveram índices compostos

Bastos et al. (2015) construíram um índice composto a partir do modelo ML DEA-CI proposto por Shen et al. (2013a) para avaliar as condições de segurança das rodovias brasileiras. Antes de rodar o modelo, os autores estabeleceram restrições aos pesos, além de proporem camadas hierárquicas para distribuição das variáveis, com o objetivo de não permitir a sua distribuição unilateral e, conseqüentemente, evitar que algum peso obtivesse maximização ou minimização excessiva. Como o DEA não havia sido utilizado para avaliar a segurança das rodovias no Brasil, os autores calibraram os parâmetros inseridos na ferramenta baseando-se nos resultados obtidos em estudos anteriores com países da Europa. Para isso, verificaram a correlação entre o nível de desenvolvimento socioeconômico de cada DMU e os resultados adquiridos pelo DEA.

Bastos et al. (2015) também realizaram a análise de *cluster* pelo método de *Ward* e, por último, a análise de sensibilidade para validação do *ranking*. Os autores concluíram que a aplicação da técnica DEA associada à análise de *clusters* e à análise de sensibilidade contribui para a obtenção de informações valiosas no diagnóstico da segurança no trânsito de cada Estado. Citaram, também, a importância dos estudos futuros avaliarem a eficiência dos Estados em promoverem a segurança das rodovias considerando a introdução de *inputs* na técnica para que, assim, o diagnóstico seja mais completo.

Odeck (2006) avaliou a Administração Pública Rodoviária da Noruega (*Norwegian Public Road Administration – NPRA*), de tal forma que analisou a produtividade e eficiência do estabelecimento de metas delegadas pela administração às unidades operacionais. Com isso, 19 filiais foram avaliadas ao longo de 4 anos, no período de 1996 a 1999. O Método do Índice Malmquist (FARE et al, 1992) foi empregado em conjunto com o BCC, sem a incorporação de *inputs* (LOVELL e PASTOR, 1999), permitindo avaliar a evolução da eficiência.

Adicionalmente, o autor realizou a análise de sensibilidade pelo método *bootstrapping*. Os resultados mostraram que grande parte da evolução se deu por um aumento na tecnologia e não por um aumento da eficiência em si.

b) Estudos que propuseram modelos para o desenvolvimento de índices compostos

Avaliar a segurança de tráfego é algo complexo que, muitas vezes, envolve a inclusão de diversas variáveis. Em alguns casos, não considerar que os indicadores encontram-se em diferentes camadas hierárquicas faz com que haja uma diminuição na acurácia dos resultados devido a alocação não realista de pesos. Com esse problema de pesquisa, Shen et al. (2013a) propuseram o modelo ML DEA-CI, o qual considera a disposição hierárquica das variáveis na construção de um índice composto. Os autores testaram o modelo para desenvolver um índice composto de segurança rodoviária para 13 países europeus. Ainda, Shen et al. (2013a) escreveram o modelo na sua forma *dual*, o que permitiu a avaliação dos *benchmarks* do conjunto de DMUs. Os resultados foram comparados aos do modelo DEA-CI básico e pôde-se observar que o modelo ML DEA-CI possui um maior poder discriminatório.

Além do tratamento hierárquico das variáveis, existem casos em que é necessário englobar variáveis qualitativas para garantir resultados satisfatórios. Como o modelo DEA tradicional aceita somente a introdução de variáveis numéricas, Shen et al. (2011a) propuseram os modelos IDEA-CI e FDEA-CI para o desenvolvimento de índices compostos cujas variáveis a serem consideradas fossem qualitativas. Ambos os modelos foram testados e tiveram seus valores comparados em um estudo de caso em que foi construído o índice composto para 25 países da Europa. Os resultados mostraram que os dois métodos são robustos quanto à consistência dos valores, com diferença que no FDEA os resultados são mais substanciais, ou seja, o modelo possui uma maior capacidade em avaliar subjetividades associadas à incerteza, enquanto que o IDEA a facilidade na interpretação e uso é mais ampla.

c) Estudos que compararam os métodos de desenvolvimento de índices compostos

Dos 20 artigos, 2 utilizaram como escopo a comparação de métodos de desenvolvimento de índices compostos, dentre eles o trabalho de Rosić et al. (2016). Os autores partiram da premissa de que diferentes formas de criação de índices compostos propiciam diferentes resultados, o que pode fazer com que os gestores tomem decisões comprometedoras. Com essa problemática, Rosić et al. (2016) apresentaram o modelo PROMETHEE-RS, o qual

propõe a seleção do melhor método para elaborar um índice composto e baseia-se na análise de sensibilidade das variáveis.

O modelo foi testado na construção do índice de segurança de 27 departamentos policiais da Sérvia, sendo comparados seis diferentes modelos de análise multicritérios, dentre eles: i) DEA-RS, apresentado por Shen et al. (2012); ii) DEA-WR, o qual utilizou restrições aos pesos das variáveis relacionadas à população e ao número de veículos registrados; iii) DEA-CI, empregado para elaboração de índices compostos; iv) DEA-CI CE, cujo principal objetivo também é a elaboração de índices compostos, no entanto o método de desempate baseada na matriz de eficiência cruzada é considerado; v) TOPSIS-*Equal*, onde os pesos de cada parâmetros são considerados de forma igual; e vi) TOPSIS-*Entropy*, cujo critério é o mesmo que o DEA-WR, com a diferença que os pesos são obtidos por meio do método *Entropy*. Como resultado, o DEA-WR e o DEA-RS proposto por Shen et al. (2012) foram os mais satisfatórios, enquanto que o DEA-CI foi avaliado como o pior modelo.

Um dos maiores desafios nos estudos de segurança rodoviária encontra-se na dificuldade da escolha do melhor método para atribuir pesos às variáveis. Muitas vezes essas distribuições são feitas de formas irrealistas, obrigando o avaliador a impor restrições aos pesos. Para isso, existem diversos métodos de atribuições de pesos e Hermans et al. (2008) compararam cinco deles a fim de identificar qual é o ideal. Os autores utilizaram 7 variáveis relacionadas à segurança das rodovias de 21 países europeus e as incorporaram nos seguintes métodos: i) Análise de Fatores (FA); ii) Processo Hierárquico Analítico (AHP); iii) Alocação de Custos (BA); iv) Análise Envoltória de Dados (DEA); e v) método *Equal Weighting*. O estudo mostrou que o DEA é a ferramenta mais adequada para distribuir os pesos dos indicadores na composição de índices.

Apesar de ser uma questão desafiadora, Hermans et al. (2008) mostraram que o DEA ainda é um dos melhores métodos a serem empregados na avaliação de situações em que há necessidade da incorporação de uma grande quantidade de dados, tais como no âmbito da segurança de tráfego. Além disso, Bastos et al. (2015) ressaltam a importância de estabelecer um *ranking* para os Estados brasileiros quanto a geração de segurança para que se tenha um diagnóstico mais completo do quadro das rodovias brasileiras. Essas questões auxiliaram na fundamentação da presente pesquisa. A tabela 5 apresenta a síntese dos escopos das pesquisas apresentadas em 2.2.1 com as variáveis consideradas já devidamente classificadas de acordo com as dimensões estabelecidas no início da seção.

TABELA 5 – Escopo das pesquisas sobre índices compostos

Referência	Escopo	Modelos utilizados	Variáveis
<i>Rosić et al., (2016)</i>	Comparação de métodos para o desenvolvimento de IC	PROMETHEE; DEA-RS; DEA-WR; DEA-CI; DEA-CIEF; TOPSIS-Equal; TOPSIS-RE Entropy	
<i>Bastos et al., (2015)</i>	Desenvolvimento de IC	ML DEA-CI	EF
<i>Shen et al., (2013a)</i>	Proposta de modelos para o desenvolvimento de IC	ML DEA-CI	C
<i>Shen et al., (2011a)</i>	Proposta de modelos para o desenvolvimento de IC	IDEA-CI; FDEA-CI	G
<i>Hermans et al., (2008)</i>	Comparação de métodos para o desenvolvimento de IC	DEA CI com aplicação de diferentes métodos de alocação de pesos	RE G
<i>Odeck (2006)</i>	Desenvolvimento de IC	BCC	G

IC, índices compostos; EF_i, efeito final indesejável; RE, risco de exposição; C, comportamento do usuário; G, gerenciamento.

A partir dos cinco trabalhos apresentados acima, é possível observar que dois focaram na apresentação de modelos para enrijecer os métodos convencionais do DEA, ora para facilitar a tomada de decisão do gestor, ora para garantir que os valores dos índices compostos sejam precisos, já que a técnica depende de fatores ainda desafiadores como, por exemplo, a atribuição de pesos às variáveis (SHEN ET AL., 2013a; SHEN et al. 2011a). É possível perceber, também, que dois estudos deveriam ter utilizado o tratamento para variáveis ambientais, já que foi possível classificá-las na dimensão de risco de exposição (ROSIĆ et al. 2016; HERMANS et al. 2008).

2.2.2. Índices compostos relativizados pelos componentes do sistema de segurança rodoviário

Esse tópico apresenta todos os estudos que construíram índices compostos relativizados pelos componentes do sistema de segurança. O escopo desses estudos foi classificado de acordo com o contexto em análise, sendo: a) unidades administrativas; b) projetos de engenharia e

infraestrutura de rodovias; e c) de empresas de fiscalização. Ao todo, foram classificados dentro dessas dimensões 15 artigos, os quais seguem descritos abaixo.

a) Contexto: unidades administrativas

Dos 15 trabalhos, 9 dedicaram-se a construir o índice composto relativizado por algum aspecto concernente ao poder público em gerar segurança no trânsito. Em seu artigo, Pakkar (2016) propôs um procedimento de integração entre as técnicas DEA e Processo Analítico Hierárquico (AHP) em que ambos os métodos são explorados até um terceiro nível de hierarquia. Para validar a proposta, o autor avalia o desempenho na segurança de 13 países da Europa, considerando variáveis nos níveis objetivo, critério, sub-critério e sub sub-critério, tanto para os *inputs*, quanto para os *outputs*. Os *inputs* foram dados referentes à causalidade e colisões, enquanto que para os *outputs* foram utilizados números vinculados à ingestão de álcool, velocidade do veículo e sistemas de proteção. Os resultados mostraram que a integração do DEA e AHP é um método mais exigente comparado com o procedimento do DEA convencional, visto que os resultados com ambos agregados acarretaram em menos DMUs eficientes.

Alper et al. (2015) obtiveram o índice de segurança para 197 municípios de Israel entre os anos de 2004 a 2009. Os autores consideraram os dados de 2 *inputs* (orçamento anual e total de horas de educação no trânsito), 6 *outputs* (variáveis relacionadas à frota de veículos, motoristas, multas, óbitos, feridos, custo de acidentes, etc.) e 8 variáveis intermediárias e, a partir da possibilidade de combinação desses, 4 modelos DEA foram experimentados. Para estabelecer o *ranking* final dos municípios, o método de desempate da Avaliação Cruzada foi calculado. Além disso, foi verificada a correlação entre parâmetros demográficos entre as cidades, como, por exemplo, o tamanho da população e o tipo (sexo, idade, etc.), com os valores de eficiência por meio de regressões estatísticas. Foi verificado que os pesos distribuídos obtiveram grande variação entre as DMUs, reforçando a importância da utilização do método da Avaliação Cruzada. Ademais, as variáveis demográficas apresentaram alta significância, o que demonstra que a comparação da eficiência deve ser conduzida em localidades com características demográficas semelhantes.

A maioria dos estudos conduzidos considera como *output* somente aquelas referentes ao número de óbitos, excluindo os sobreviventes lesionados. Partindo dessa problemática, Shen et al. (2015) investigaram a possibilidade de adicionar indicadores de sobreviventes

gravemente lesionados em índices de segurança de 10 países europeus, cujas definições sobre vítimas gravemente feridas são homogêneas. O modelo DEA-RS (HERMANS et al. 2009) foi utilizado e as restrições aos pesos foram previamente estabelecidas. No geral, a incorporação de tais variáveis afetou o *ranking* dos países, evidenciando a importância da inserção de dados sobre vítimas sobreviventes, além de sugerir que trabalhos futuros considerem o grau da lesão da vítima.

Behnood et al. (2014) calcularam o índice de ineficiência de 30 províncias do Irã em diminuir mortes nas rodovias. Os dados dos anos de 2008 e 2009 foram considerados em conjunto totalizando 60 DMUs aplicadas ao modelo DEA CCR com orientação aos *outputs*, escrita na forma *dual*, possibilitando, assim, a análise de *benchmarking* dos resultados e o estabelecimento dos objetivos para cada DMU.

Já Shen et al. (2013b) avaliaram a evolução da segurança rodoviária de 26 países europeus entre o período dos anos de 2001 a 2010, por meio do Índice Malmquist (FARE et al. 1992), tido como um tipo de análise em painel. O objetivo consistiu em investigar a inserção tanto das variáveis sobre fatalidades em acidentes, quanto sobre as variáveis que representam os riscos de exposição. Com isso, foi possível avaliar o quanto da evolução foi devido às mudanças na eficiência ou mudanças na tecnologia, além dos resultados apresentarem uma mudança significativa quando há incorporação de indicadores de riscos de exposição.

Nos Estados Unidos, Egilmez e McAvoy (2013) também realizaram o tipo de análise em painel. Os autores rodaram o DEA BCC para os 50 Estados americanos entre os anos de 2002 e 2008, obtendo, em seguida, o Índice Malmquist (FARE et al., 1992) para o intervalo. Ainda, avaliaram se o desempenho foi mais influenciado devido a variações na tecnologia ou produtividade. Ao final, foi feita a análise de sensibilidade dos *inputs* e verificou-se que há a necessidade de reforçar a fiscalização quanto ao uso do cinto de segurança e devem-se melhorar as escolhas quanto ao destino dos investimentos das rodovias. Além disso, os resultados indicaram que a maior parte da evolução aconteceu devido ao crescimento tecnológico e não pelo aumento na eficiência.

Muitas vezes, os indicadores de segurança variam muito entre os países, dificultando a comparação dos seus desempenhos, e, conseqüentemente, determinar qual país deveria ser levado como referência. A partir disso, Shen et al. (2012) aplicaram o DEA CCR escrito na forma dos envelope a fim de identificar quais eram os *benchmarks* entre 27 países da Europa.

Para identificar possíveis *outliers*, foi aplicada a Avaliação Cruzada pelo método Agressivo, seguida pela análise hierárquica de *clusters* realizada por meio de três diferentes métodos: *Ward*, *Centroid* e *Median*. Com isso, cinco grupos foram criados e rodou-se o DEA categórico para cada um deles. Com os valores obtidos, foi possível estabelecer as metas para cada DMU, as quais os autores ressaltaram serem referências mais realistas e tangíveis para os gestores de cada país.

Ainda, no ano anterior, Shen et al. (2011b) compararam os resultados obtidos pelo DEA convencional com os resultados obtidos por 3 modelos cujos pesos dos indicadores relacionados ao comportamento das pessoas no trânsito foram restringidos de formas diferentes. Todos os métodos foram rodados para 19 países da Europa e seus resultados foram comparados. Como conclusão, os autores verificaram que o DEA convencional apresentou baixa acurácia, uma vez que somente 3 países do conjunto mostraram-se ineficientes. Por outro lado, o modelo cujos pesos foram pré-estabelecidos apresentou um alto poder discriminatório.

Por fim, destaca-se o trabalho de Hermans et al. (2009), com 58 citações. Os autores apresentaram o modelo DEA-RS, o qual é direcionado para a construção de índices de segurança rodoviário. Fundamentado na abordagem CCR, o modelo minimiza os *outputs* ao invés de maximizá-los, já que importantes variáveis de saída a serem incorporadas em estudos do DEA no contexto da segurança rodoviária são indesejáveis. Ademais, para estabelecer as restrições devidas aos pesos, foram colhidas informações por meio de *surveys* entregue a especialistas, quem avaliaram a importância dos índices distribuindo valores monetários a cada um deles, de forma que, se um fator recebera maior valor de custo, significava de maior importância. O modelo foi executado para 21 países da Europa e, a partir daí, estabeleceu-se o *ranking* e os *benchmarks* foram identificados.

A tabela 6 apresenta o resumo dos estudos mencionados com as respectivas variáveis classificadas de acordo com as dimensões do início da seção e DMUs consideradas. É possível perceber que 7 dos 9 artigos utilizaram variáveis que se enquadram na dimensão de “risco de exposição” (ALPER et al., 2015; SHEN et al., 2015; BEHNOOD et al., 2014; SHEN et al., 2013b; EGILMEZ e McAVOY, 2013; SHEN et al., 2012), o que provavelmente gerou resultados inconsistentes.

TABELA 6 – Estudos e variáveis sobre Unidades Administrativas

Autores	DMUs	Inputs	Outputs
<i>Pakkar (2016)</i>	<i>19 países da Europa</i>	EF_i	C
<i>Alper et al. (2015)</i>	<i>197 municípios de Israel</i>	G	RE EF_i G
<i>Shen et al. (2015)</i>	<i>10 países da Europa</i>	RE	EF_i
<i>Behnood et al. (2014)</i>	<i>30 províncias do Irã</i>	G RE	EF_i
<i>Shen et al. (2013b)</i>	<i>26 países da Europa</i>	RE	EF_i
<i>Egilmez e McAvoy (2013)</i>	<i>50 Estados americanos</i>	G RE C	EF_i
<i>Shen et al. (2012)</i>	<i>27 países da Europa</i>	RE	EF_i
<i>Shen et al. (2011b)</i>	<i>19 países da Europa</i>	C	EF_i
<i>Hermans et al. (2009)</i>	<i>11 países da Europa</i>	C RE GS	EF_i

EF_i , efeito final indesejável; RE , risco de exposição; C , comportamento do usuário; G , gerenciamento.

b) Contexto: projetos de engenharia e infraestrutura de rodovias

Segundo o DNIT (2010), um dos principais enfoques para a segurança viária está associado à engenharia, no sentido de, por um lado, prover o sistema viário de elementos tais que possibilitem a movimentação de veículos e pessoas com fluidez, conforto e segurança e, por outro, aprimorar a segurança e desempenho dos veículos automotores. Portanto, garantir que os projetos de engenharia garantam a proteção do usuário é primordial, no entanto um orçamento reduzido desafia os gestores a priorizar o direcionamento dos gastos com manutenções e construções.

A partir disso, Sadeghi et al. (2016) apresentaram um método multidimensional para priorizar projetos de segurança em locais com orçamento limitado, considerando a incerteza na estimativa de benefícios, como a incerteza na redução de acidentes, a incerteza do grau de severidade dos acidentes e a incerteza na estimativa do custo do projeto para a melhor escolha do mesmo. Os autores avaliaram a segurança de 40 intersecções na cidade de Toronto, Canadá, utilizando o modelo DEA para dados de incerteza. Os autores concluíram que a abordagem possibilita uma análise satisfatória no que tange a consideração da incerteza, permitindo uma escolha do melhor projeto de forma mais adequada.

Kelle et al. (2013) propuseram um método de seleção de projeto que considera medidas de risco como critérios de escolha, e não somente a análise de custo-benefício. Os autores

colocaram os seguintes passos para o direcionamento dos planos de projeto: i) pré-seleção dos segmentos rodoviários tidos como de alto risco e que merecem maior atenção para direcionamento dos custos. Esse passo baseia-se na probabilidade da distribuição negativa binomial. ii) obtenção do escore da eficiência de risco para cada segmento de estrada aplicando o DEA. iii) a partir dos segmentos pré-selecionados, é feita uma avaliação de custo-benefício e, em seguida, os resultados são combinados com o escore do passo ii em um índice composto. O método foi aplicado em um estudo de caso no Estado da Lousiana, Estados Unidos mostrou-se adequado na avaliação da percepção de risco, na incorporação de um grande número de locais com alto potencial de risco e na seleção final do projeto, o qual leva em conta os custos, benefícios e risco.

De forma semelhante, Sadeghi et al. (2013) propuseram uma abordagem para identificar as seções mais propensas a acidentes no Irã. Uma amostra de 144,4 km de rodovias foi segmentada em 154 partes de acordo com suas características, o que as tornou homogêneas. Em seguida, o DEA CCR orientado aos *outputs* foi rodado, de forma que os *outputs* indesejáveis não foram tratados, assim os resultados obtidos foram chamados de valores de ineficiência dos trechos. O método proposto por Andersen e Petersen (1993) da supereficiência foi utilizado para construção do escore das unidades ineficientes e, assim, determinar quais são os trechos considerados mais propensos a acidentes.

Por último, Cook et al. (2001) apresentaram um procedimento para selecionar projetos para aprimorar a segurança. Segundo os autores, um dos maiores desafios nessa questão encontra-se na natureza multicritério do assunto, ressaltando a importância da consideração de vários tipos de acidentes, assim como custo da agência, comportamento do condutor e fatores ambientais. O DEA foi aplicado incorporando todos esses fatores para vários segmentos de rodovias e seus resultados mostraram que a ferramenta é útil para identificar quais seções necessitam de mais atenção por partes dos gestores.

A tabela 7 apresenta a síntese das pesquisas mencionadas nesse tópico, bem como as dimensões das variáveis consideradas. É possível perceber que o trabalho de Sadeghi et al. (2013) deveria ter considerado variáveis de *input* ambiental, vista que foi possível utilizar a classificação de “risco de exposição”.

TABELA 7 – Estudos sobre eficiência de projetos

Autores	DMUs	Inputs	Outputs
<i>Sadeghi et al. (2016)</i>	40 intersecções localizadas na cidade de Toronto	G	EF_i
<i>Kelle et al. (2013)</i>	Trechos de rodovias no Estado de Louisiana, EUA	G	EF_i G
<i>Sadeghi et al. (2013)</i>	Trechos de uma rodovia do Irã	RE	EF_i

EF_i , efeito final indesejável; RE, risco de exposição; G, gerenciamento.

c) Contexto: empresas de fiscalização

Com intuito de manter a ordem, diversos países colocam órgãos administradores como responsáveis em fiscalizar, operar e garantir a segurança do transporte público. Desse modo, avaliar a eficiência dessas empresas é igualmente importante a avaliar o desempenho dos órgãos dos Estados. Apesar disso, somente 2 pesquisas do total dos resultados se enquadraram dentro dessa dimensão.

Na Índia, Pal e Mitra (2016) mediram a eficiência de 37 empresas pertencentes ao Estado operadoras de transporte público para os anos de 2012 e 2013. Os autores utilizaram o modelo DEA convencional e o modelo Função Distância Direcional (*Directional Distance Function – DDF*). Tanto *outputs* indesejáveis, quanto *outputs* desejáveis foram considerados ao mesmo tempo e, em seguida, os modelos tiveram os seus resultados comparados. Concluiu-se que é importante incluir os dois tipos de *outputs*, pois ocorreu uma diferença significativa entre os resultados, sendo que o DEA apresentou valores maiores de eficiência e, em contraste, o DDF mostrou-se mais rígido com valores menores. O estudo também empregou a regressão Tobit para identificar os fatores que afetam a eficiência das empresas, cujo resultado apontou para a produtividade das viaturas como principal responsável. Já o modelo binomial negativo foi utilizado para avaliar os fatores que influenciam o número de acidentes, os quais se mostraram altamente correlacionados com a utilização da frota e a produtividade das viaturas.

A tabela 8 sintetiza as informações apresentadas nas pesquisas citadas, bem como as dimensões das variáveis em estudo. Nota-se que Pal e Mitra (2016) também deveriam ter considerado variáveis ambientais na matemática da DEA, o que pode ter resultado em análises mais consistentes para seu trabalho.

TABELA 8 – Estudos sobre eficiência de empresas de fiscalização

<i>Autores</i>	<i>DMUs</i>	<i>Inputs</i>	<i>Outputs</i>
<i>Pal e Mitra (2016)</i>	<i>37 empresas operadoras</i>	<i>RE</i>	<i>RE</i>
	<i>de transporte público da</i>	<i>EF</i>	<i>EF_d</i>
	<i>Índia</i>	<i>G</i>	<i>EF_i</i>

EF_i, efeito final indesejável, EF_d, efeito final desejável; RE, risco de exposição; G, gerenciamento.

Ao final desse trabalho, encontra-se o i) Apêndice C, que mostra de forma exaustiva todas as variáveis de *input* consideradas nas pesquisas cujo escopo enquadrrou-se em “índices compostos relativizados”; ii) o Apêndice D com todas as variáveis classificadas como de *output* nos artigos cujo escopo foi “índices compostos relativizados”; e iii) o Apêndice E, com todas as variáveis consideradas nas pesquisas com escopo “índice composto puro”.

3. MÉTODO

Para obter o índice de segurança das rodovias federais por Estados brasileiros, escolheu-se o método da Análise Envoltória de Dados (DEA), o qual é apresentado brevemente no tópico seguinte. O detalhamento do procedimento utilizado nessa pesquisa é exposto logo em seguida.

3.1 Análise Envoltória de Dados

A Análise Envoltória de Dados (DEA) é uma ferramenta baseada em programação linear matemática que calcula a eficiência relativa de um conjunto homogêneo de Unidades Tomadoras de Decisão (DMU). A aplicação da técnica é oportuna em situações em que múltiplas variáveis de entradas são transformadas em múltiplas variáveis de saídas, de tal forma que os pesos dessas variáveis não podem ser facilmente definidos (COOPER et al., 2007).

A figura 2 ilustra o modelo conceitual do DEA.

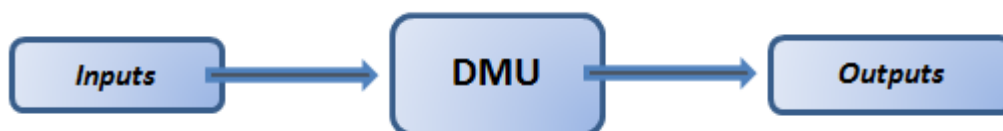


FIGURA 2 - Modelo conceitual DEA

3.1.1. Modelos radiais e não radiais

Desde a sua concepção, diversos modelos e extensões foram propostos para a DEA, sendo que alguns deles são caracterizados pelo tipo de retorno de escala. O modelo BCC, introduzido por Banker, Charnes e Cooper, baseia-se no pressuposto de que os *outputs* não variam proporcionalmente aos *inputs*, caracterizando retornos variáveis de escala e faz com que a fronteira de eficiência apresente aspecto não linear (BANKER et al., 1984). Como se espera que as variáveis da presente pesquisa apresentem relações não lineares, e sim logarítmicas, essa seção focará somente na apresentação do modelo BCC. Na prática, esse modelo mede a chamada eficiência técnica pura ao comparar a produtividade de uma DMU com a produtividade máxima relativa à sua escala. Portanto, o modelo compara apenas unidades que operem em escala semelhante.

O modelo BCC é classificado como radial, pois o índice de eficiência representa ou a redução equiproporcional dos *inputs* (na orientação aos *inputs*), ou a maximização equiproporcional dos *outputs* (na orientação aos *outputs*) necessária para que uma DMU se torne eficiente. A escolha pela orientação ao *output* mensura o aumento necessário dos *outputs* para tornar as DMUs eficientes, enquanto que a escolha pela orientação ao *input* torna as DMUs eficientes a partir da redução dos *inputs*. Os modelos radiais, porém, podem apresentar folgas, o que pode gerar um viés no resultado obtido, uma vez que, além do aumento ou redução sugerido pelo resultado da eficiência, pode ser necessária uma redução/aumento adicional para se atingir a eficiência (chamada de folga), a qual não será refletida no índice de eficiência obtido.

Para descrever o método, deve-se considerar um conjunto de z DMUs com n variáveis de entrada para produzir m variáveis de saída. y_{ik} e x_{jk} representam o *output* i e o *input* j da k^a DMU, respectivamente, enquanto que y_{io} e x_{jo} representam o *output* i e *input* j da DMU em análise, respectivamente. Os índices obtidos com resultado igual a 1 indicam DMUs eficientes, ao passo que DMUs ineficientes possuem resultados entre 0 e 1. O modelo BCC orientado aos *inputs* é escrito na sua forma do envelope na Expressão 1.

$$\text{MIN } \theta - \varepsilon \cdot \left(\sum_{i=1}^n S_i^+ + \sum_{j=1}^m S_j^- \right); \quad (1)$$

Sujeito as seguintes restrições:

$$\sum_{k=1}^z x_{jk} \cdot \lambda_k - \theta_j \cdot x_{jo} + S_j^- = 0, \text{ para todo } j;$$

$$\sum_{k=1}^z y_{ik} \cdot \lambda_k - S_i^+ = y_{io}, \text{ para todo } i;$$

$$\sum_{k=1}^z \lambda_k = 1$$

$$\lambda_k \geq 0 \text{ e } \theta_k \geq 0$$

Sendo que ε é número não arquimediano (muito próximo de zero); θ é a eficiência; λ_k é a contribuição da DMU para a meta; S_i^+ a folga dos *outputs* e S_j^- a folga dos *inputs*.

Além da possibilidade do modelo ser radial, a DEA também apresenta modelos não radiais. Os modelos não radiais são caracterizados por não tratarem os *inputs* e *outputs* de maneira

uniforme, permitindo deslocamentos distintos até a fronteira, de tal forma que não precisam ser equiporcionais. Nessa classificação, os modelos podem ter orientações mistas (orientação para os *inputs* e *outputs* concomitantemente), que não estão sujeitos aos problemas de folgas, além das tradicionais orientações aos *inputs* e *outputs*, os quais ainda podem apresentar folgas. Dentre os modelos não radiais, há a DEA ERM desenvolvido por Pastor et al. (1999), a qual baseia-se no cálculo de um valor de eficiência para cada *input* e para cada *output*. A eficiência total da DMU é uma medida baseada nessas eficiências individuais e é calculada a partir da razão entre a média das eficiências dos *inputs* e a média das eficiências dos *outputs*.

As principais vantagens da DEA ERM fundamentam-se na eliminação do problema de folgas trazidos pelos modelos radiais, bem como na facilidade em se interpretar os seus resultados (PASTOR et al., 1999). Algumas características desse modelo são compartilhadas com o BCC, tais como: i) o valor do resultado está contido entre 0 e 1, de forma que 1 representa a DMU eficiente; ii) as DMUs ineficientes são comparadas com as DMUs eficientes; iii) o modelo é invariante a unidades de medidas. Outra importante propriedade do modelo consiste no fato de os resultados não excederem os valores obtidos pelos modelos radiais, quando ambos são comparados (PASTOR et al., 1999). O modelo ERM é escrito na sua orientação aos *inputs* na Expressão 2.

$$MIN FO = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \theta_j - \varepsilon \left(\sum_{i=1}^n S_i^+ + \sum_{j=1}^m S_j^- \right) \quad (2)$$

Sujeito as seguintes restrições:

$$\sum_{k=1}^z y_{ik} \cdot \lambda_k - S_i^+ = y_{i0}, \text{ para todo } i;$$

$$\sum_{k=1}^z x_{jk} \cdot \lambda_k + S_j^- = \theta_j \cdot x_{j0}, \text{ para todo } j;$$

$$\sum_{k=1}^z \lambda_k = 1$$

$$\lambda_k \geq 0; \eta_k \geq 1; 0 \geq \theta_k \geq 1$$

Sendo θ_j a eficiência relacionada ao *input* j ; λ_k é a contribuição da DMU para a meta; S_i^+ a folga dos *outputs* e S_j^- a folga dos *inputs*.

3.1.2. Tipos de variáveis da DEA

O DEA padrão trata as variáveis de *inputs* como controláveis e as variáveis de *outputs* como desejáveis. Considera-se que as alterações desses fatores estão sob o controle do tomador de decisão. Dessa forma, a DEA pode ser utilizada, dependendo do modelo, para a redução dos *inputs*, para o aumento dos *outputs*, ou ambos os casos. Todavia, há ainda outras maneiras de se tratar as variáveis quanto ao modo de serem incorporadas à DEA. A seguir estão listados alguns desses tratamentos que interessam para essa pesquisa (GOLANY e HOLL, 1989).

a) *Inputs não controláveis ou ambientais*

São *inputs* que não estão sob nenhum controle do tomador de decisão e são advindos do ambiente no qual a DMU está inserida. Eles são importantes na função produção, mas não faz sentido alterá-los. Essas variáveis não admitem nem folga e nem mudança equiproporcional, sendo fixas na matemática da DEA. Cabe ressaltar que nenhum dos estudos inseridos no contexto dessa pesquisa tratou suas variáveis como ambientais, mesmo que isso fosse conveniente para a obtenção satisfatória dos resultados.

b) *Inputs não discricionários*

São variáveis de *input* que não estão sob o controle direto do tomador de decisão no curto prazo. Existe a possibilidade de mudança na sua proporção, mas não de redução equiproporcional. Admitem, ainda, a possibilidade de folgas, diferentemente dos *inputs* ambientais.

c) *Outputs indesejáveis*

São os resultados indesejáveis de um processo produtivo e que devem ser minimizados. Para serem incorporados à DEA, é necessário que se faça o tratamento correto dessas variáveis, sendo que as principais formas são: i) considerar esse *output* como um *input* na incorporação à DEA; ii) utilizar o inverso do seu valor; iii) realizar uma transformação linear ao escolher um valor de translação w . Nesse último caso, escreve-se a equação:

$$Output = w - Output_{indesejável} \quad (3)$$

3.2 Procedimentos de pesquisa

O objetivo da pesquisa é obter o índice de segurança das rodovias federais por Estado brasileiro. Para isso, utilizou-se a DEA para determinar a posição dos estados brasileiros relativo à segurança de tráfego nas rodovias federais, possibilitando, assim, a análise dos principais fatores envolvidos na gestão de uma segurança eficiente.

Inicialmente, o procedimento sistemático proposto por Golany e Holl (1989) foi seguido para garantir a obtenção de resultados consistentes, de forma que as DMUs foram selecionadas e definidas a partir do objetivo a ser atingido. Em seguida, foram determinadas, por meio do levantamento na literatura, as variáveis de *inputs* e *outputs* relacionados a acidentes de trânsito e que são apropriadas para serem aplicadas ao DEA. Por último, essa pesquisa utilizou o modelo DEA de três formas distintas, conforme será apresentado no item 3.2.3. desse capítulo. A figura 3 ilustra o *framework* do método do presente estudo.

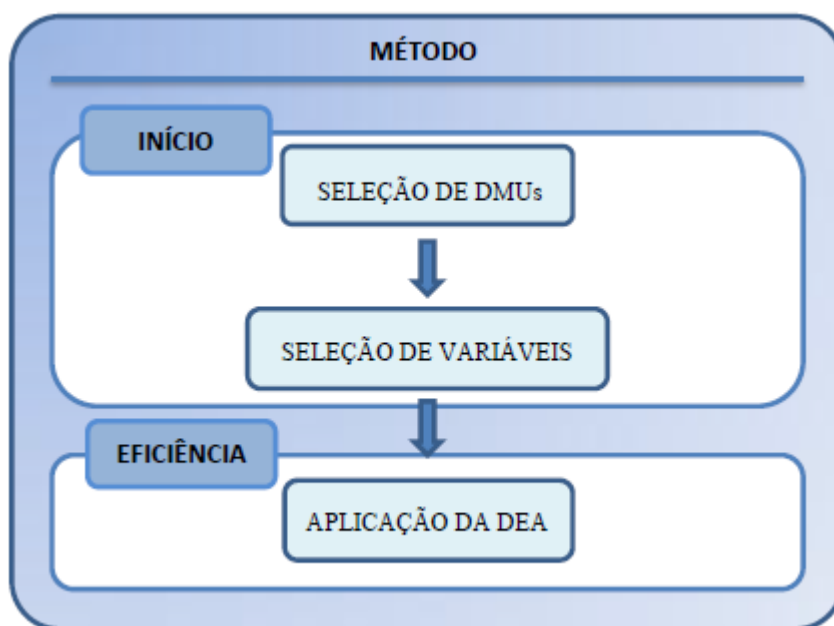


FIGURA 3 - *Framework* do método de pesquisa

As etapas do procedimento estão descritas de forma detalhada a seguir.

3.2.1 Seleção de DMUs, variáveis e coleta de dados

Para essa pesquisa, as DMUs serão os 26 Estados brasileiros e o Distrito Federal. Com isso, será obtida a eficiência relativa de cada Unidade da Federação no que tange à segurança das rodovias sob jurisdição federal do país.

Os indicadores de desempenho de segurança refletem as condições operacionais que influenciam no desempenho do sistema de tráfego e auxiliam no entendimento do processo causador do acidente, sendo, portanto, um tema de natureza multidisciplinar, englobando inúmeros fatores (HERMANS et al., 2009). Após verificação na literatura dos fatores envolvidos na segurança de tráfego, toda variável tida como influenciadora no desempenho da DMU foi considerada e inicialmente listada. Ressalta-se que a disponibilidade de dados foi um fator limitante para a escolha das variáveis a serem consideradas, levando em conta somente as que se encontram nas bases de dados abertas.

Para esse estudo, as variáveis foram obtidas por consulta às bases de dados disponibilizadas pelo Governo Federal no portal da Transparência, coletando informações no que tange os investimentos realizados pela União em estradas federais. Além disso, bases de dados do DNIT e da Polícia Rodoviária Federal (PRF) foram consultadas para obtenção de dados relacionados à malha rodoviária federal e aos acidentes ocorridos nas mesmas. Os sites do Denatran e IBGE foram consultados para obtenção de variáveis referentes à frota de veículos e população, respectivamente. Todos os dados referem-se ao ano de 2016 por ser a atualização mais recente até o presente momento, com exceção da variável população, cujos valores referem-se ao último censo realizado pelo IBGE em 2010.

A acurácia do resultado de um índice de eficiência depende não somente do método para agregar dados, mas também do grau de correlação entre os indicadores de acidentes rodoviários incorporados (GOLANY e HOLL, 1989; TEŠIĆ et al., 2018). A seleção de indicadores de segurança depende da ótica adotada para elaborar o índice de eficiência e deve considerar as dimensões nas quais se enquadram os indicadores (KOORNSTRA et al., 2002; TEŠIĆ et al., 2018). Com isso, após o levantamento de todas as variáveis, seguiu-se com o processo de seleção e validação, objetivando excluir aquelas redundantes e/ou insignificantes para o estudo, além de verificar a forma mais adequada de serem inseridas na DEA.

Nesse contexto, a análise de correlação estatística foi executada no *software Microsoft Excel®* entre todas as variáveis, eliminando a possibilidade de redundância. Todas as variáveis de *inputs* e *outputs* que apresentaram correlação acima de 0,80 entre si foram excluídas do modelo. As variáveis restantes foram submetidas à regressão estatística múltipla no *software Gretl®* e, em seguida, por meio da análise dos critérios de Schwarz, Akaike e Hannan-Quinn, optou-se por sua exclusão ou não da pesquisa. Além disso, os sinais dos resultados dos

coeficientes (positivo ou negativo) auxiliaram na determinação da procedência com que as variáveis poderiam ser inseridas na DEA, evitando possíveis distorções nos resultados.

As variáveis selecionadas e testadas estatisticamente foram classificadas previamente, assim como se apresentam nos tópicos subsequentes.

3.2.1.1 Variáveis de *input*

Os investimentos realizados em obras e manutenção rodoviária pelo Governo Federal, bem como os postos de fiscalização foram adotados como variáveis de *input* controlável. Já os dados relacionados ao tamanho das malhas rodoviárias federal, a população e a frota de veículos foram adotados como variáveis ambientais. Os dados encontram-se descritos a seguir.

a) Inputs controláveis

As rodovias federais brasileiras recebem anualmente repasses para investimentos que se destinam as seguintes atividades:

- i. Serviços de construção, os quais incluem a implantação e pavimentação de trechos, a adequação da capacidade das estradas, com a construção de faixas adicionais e construção de obras de arte⁶ especiais como pontes, passarelas, etc.;
- ii. Serviços de manutenção, que compreendem a restauração e reconstrução de pistas e acostamentos, além da conservação rotineira dos elementos constituintes da faixa de domínio da rodovia, como vegetação, contenções, sistemas de drenagem, etc.;
- iii. Sinalização, tanto a horizontal presente nas pistas de rolamento e acostamentos, por meio de pintura, quanto a vertical, composta por placas;
- iv. Projetos que visem, por exemplo, o estudo e planejamento da restauração, implantação e pavimentação, melhoramento em rodovias para adequação da capacidade de carga, construção de faixa adicional e estudos de viabilidade técnica;
- v. Desapropriação e reassentamento devido à necessidade de novas implantações ou pavimentações de trechos.

Para essa pesquisa, foram considerados como “investimento em infraestrutura rodoviária” todos os valores que estivessem relacionados com algum item anteriormente citado, exceto os

⁶ Obras de artes especiais são obras de grande vulto realizadas em vias de transporte para a adequação da movimentação e do fluxo. São obras de arte, por exemplo, pontes, viadutos, passarelas e túneis.

dados relativos aos projetos e estudos, pois não se tratam de investimentos com a realização física de infraestrutura.

Quanto à fiscalização, os postos de fiscalização (unidades operacionais) da Polícia Rodoviária Federal, presentes ao longo das rodovias federais, foram adotados como um dos *inputs* controláveis, pois esse órgão faz parte do Poder Executivo e, conseqüentemente, possui responsabilidades diretas da União que condizem com a segurança do trânsito das BRs.

b) Inputs ambientais

A densidade de malha rodoviária é considerada uma variável de exposição, por isso da importância da sua incorporação no método DEA. Teoricamente, quanto maior o comprimento da rede, maior a probabilidade de acidentes, sendo, então, uma influência direta advinda do ambiente.

Da mesma forma, as condições da pista também interferem na segurança. O DNIT (2007) classifica as rodovias de acordo com suas condições físicas em redes não pavimentadas e redes pavimentadas. Entretanto, as redes não pavimentadas foram excluídas desse para estudo, pois se verificou que não há postos de fiscalização o suficiente nesses locais, o que faz com que patrulhamento da PRF seja reduzido e, por conseguintes, os dados dos acidentes das redes não pavimentadas sejam pouco confiáveis para serem inseridos na DEA, podendo causar distorções nos resultados.

Abaixo, estão citadas as definições relacionadas ao levantamento da rede do sistema nacional de viação sob jurisdição federal para o ano de 2016, cujos dados foram utilizados na primeira etapa dessa pesquisa e remetem à densidade da malha rodoviária brasileira em comprimento linear (quilômetros).

Quanto à rede pavimentada, fazem parte:

- i. Pista simples: rodovia formada por uma pista com uma faixa para cada sentido, separada por traçados centrais (faixas).
- ii. Em obras de duplicação: rodovias que estão recebendo serviços de duplicação.
- iii. Pista dupla: rodovias formadas por duas pistas com duas ou mais faixas para cada sentido de tráfego, separadas por canteiro central, por separador rígido ou, ainda, com traçados separados muitas vezes contornando obstáculos.

O levantamento da rede do sistema nacional de viação sob jurisdição federal considera, ainda, a quantidade de rodovias planejadas, que são aquelas contidas no planejamento e cuja construção se acha em perspectiva, porém são fisicamente inexistentes. À vista disso, esse quantitativo não foi contabilizado no comprimento das malhas federais por Estado. Ademais, é importante frisar que essa pesquisa não considerou rodovias municipais e estaduais devido à indisponibilidade de dados. Da mesma maneira, foram excluídas as rodovias sob o regime de concessão, pois essas recebem investimentos privados em proporção muito superiores às que se encontram sob a administração direta federal. Com isso, evitou-se a heterogeneidade da amostra trabalhada, o que poderia incorrer em possíveis erros nos resultados.

A presente pesquisa incorporará como variável ambiental, também, ou a população, ou a frota de veículos, os quais colaboram para um aumento do risco de acidentes ante a maior exposição. Para isso, ambas variáveis serão testadas estatisticamente por meio de regressões a serem realizadas no *software Gretl*.

3.2.1.2 Variáveis de *output*

As variáveis de *output* inferem ao contexto de causalidades e óbitos decorrentes de acidentes nas rodovias federais, sendo indicadores de segurança de efeito final. Foram considerados dados de acidentes divulgados pela PRF no ano de 2016, classificados em: i) número de acidentes sem vítima; ii) número de acidentes com feridos; e iii) número de vítimas fatais. Essas variáveis são indesejáveis, exigindo que haja um tratamento adequado prévio à aplicação da DEA. Das possibilidades de tratamento dos *outputs* indesejáveis⁷, optou-se por não realizar a transformação linear para esses dados, porquanto não foram encontradas informações plausíveis que possibilitassem a adoção desse tratamento. Igualmente, a adoção do inverso dos *outputs* indesejáveis é passível de erro. Portanto, ambas as soluções são inadequadas. O tratamento do *output* indesejável escolhido para essa pesquisa é o de aplica-lo como *input* no modelo DEA.

Evidencia-se a dificuldade na obtenção dessas informações, visto que os dados disponibilizados pela PRF referem-se aos acidentes ocorridos em todas as estradas federais, ou seja, sem fazer distinção entre as rodovias federais sob administração da União e as que são concedidas a empresas privadas. Dessa forma, foi necessário subtrair os óbitos ocorridos nas rodovias federais concedidas dos óbitos totais disponibilizados pela PRF. Para esse procedimento, consultaram-se os mapas de cada rodovia federal disponibilizados no site do

⁷ As possibilidades de tratamento dos *outputs* indesejáveis encontram-se citadas no item c da seção 3.1.2.

Ministério dos Transportes (BRASIL, 2018), onde também é possível verificar quais são os trechos das rodovias que são concedidos, permitindo, assim, a subtração.

A tabela 9 resume as variáveis e suas respectivas informações.

TABELA 9 – Variáveis da pesquisa

Variáveis	Tipo	Indicador base	Unidade	Fonte
<i>Investimentos</i>	<i>Input controlável</i>	<i>Investimentos em infraestrutura</i>	<i>Milhões R\$</i>	<i>Portal da Transparência</i>
<i>Postos de fiscalização</i>	<i>Input controlável</i>	<i>Postos da polícia rodoviária federal</i>	<i>Unidade</i>	<i>Polícia Rodoviária Federal</i>
<i>Rede pavimentada</i>	<i>Input ambiental</i>	<i>Comprimento das rodovias não pavimentadas</i>	<i>Metros</i>	<i>DNIT</i>
<i>População</i>	<i>Input ambiental</i>	<i>População por estado</i>	<i>Unidade</i>	<i>IBGE</i>
<i>Frota de veículos</i>	<i>Input ambiental</i>	<i>Número de veículos por estado</i>	<i>Unidade</i>	<i>Denatran</i>
<i>Acidentes sem vítima</i>	<i>Output indesejável</i>	<i>Número de acidentes sem vítima</i>	<i>Unidade</i>	<i>Polícia Rodoviária Federal</i>
<i>Acidentes com feridos</i>	<i>Output indesejável</i>	<i>Número de acidentes com vítimas sobreviventes</i>	<i>Unidade</i>	<i>Polícia Rodoviária Federal</i>
<i>Óbitos</i>	<i>Output indesejável</i>	<i>Número de fatalidades em acidentes</i>	<i>Unidade</i>	<i>Polícia Rodoviária Federal</i>

Após a definição e seleção das variáveis por meio de testes estatísticos, foi possível obter o *framework* teórico da DEA para o estudo. Na teoria, a DEA é uma ferramenta matemática capaz de calcular a eficiência de um sistema (DMU) que transforma um conjunto de entradas (*inputs*) em um conjunto de saídas (*outputs*). Nesse sentido, para o contexto da segurança de rodovias, um conjunto de fatores que causam ou explicam os acidentes são transformados no efeito final da insegurança de trânsito, que, neste caso, é representado pelo número de acidentes, feridos e óbitos. A seguir, a figura 4 expõe o *framework* teórico.

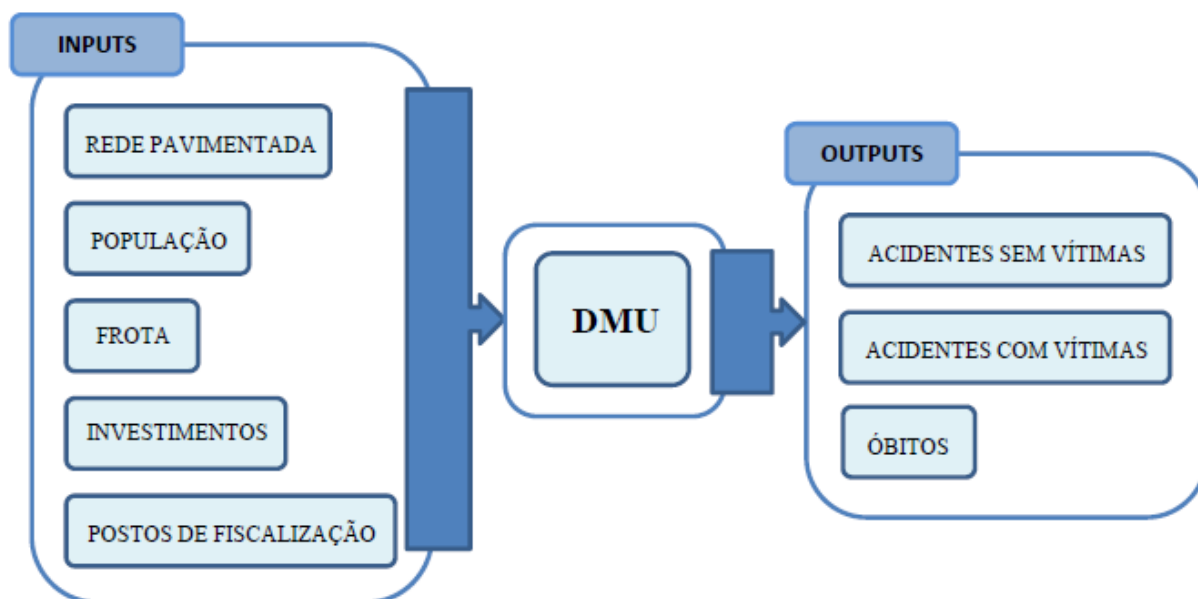


FIGURA 4 - *Framework* teórico da pesquisa

3.2.2 Aplicação do modelo e análise dos resultados

Essa pesquisa aplicou a DEA em três diferentes formas e momentos. Entretanto, antes de serem apresentados os modelos DEA utilizados, é importante que se faça considerações a respeito das peculiaridades entre as relações das variáveis em estudo, as quais influenciaram na escolha adoção da DEA mais adequada.

A solução matemática para o *framework* teórico exposto no item anterior é de difícil solução, pois se espera que existam relações estatísticas positivas e negativas entre as variáveis de entrada e as variáveis de saída. Por exemplo, espera-se que quanto maior a densidade da rede rodoviária, a população e a frota de veículos, maior será a quantidade de acidentes. Por outro lado, há uma expectativa de que o aumento nos investimentos e na quantidade de postos de fiscalização reduza a quantidade de acidentes. A figura 5 ilustra o raciocínio discutido para a relação negativa e a figura 6 mostra o raciocínio da relação positiva. Ademais, também se acredita que as relações entre as variáveis não sejam lineares e sim logarítmicas.

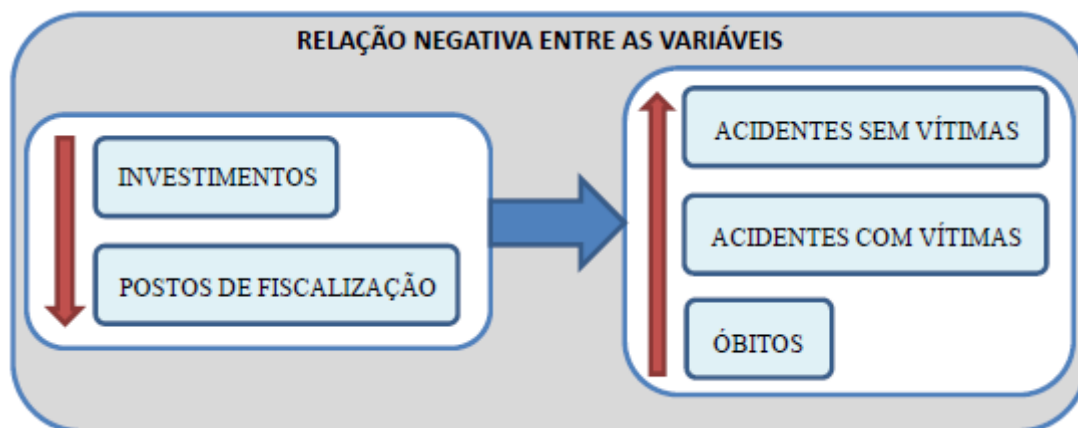


FIGURA 5 - Relação negativa esperada entre as variáveis de pesquisa

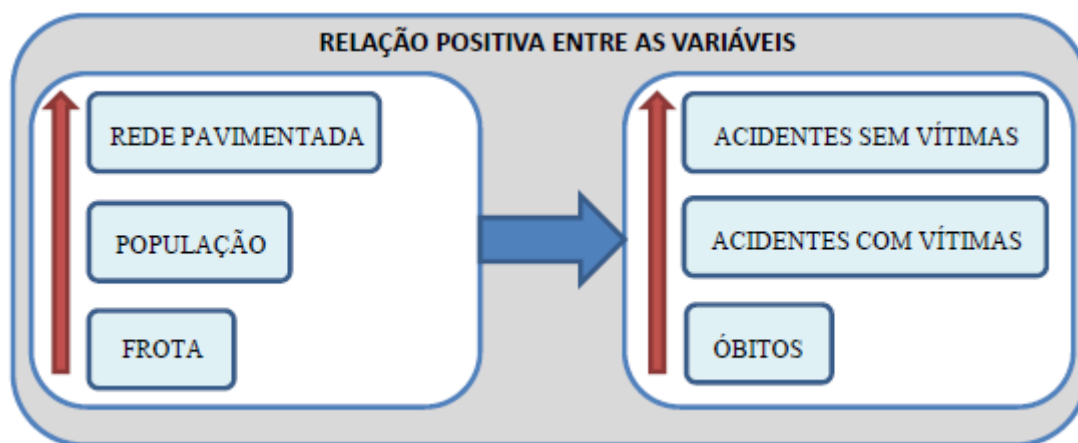


FIGURA 6 - Relação positiva esperada entre as variáveis de pesquisa

Assumindo que esse é o resultado esperado após a realização das regressões múltiplas estatísticas, não se pode admitir que as variáveis sejam inseridas na DEA da maneira convencional, conforme apresentado pelo *framework* teórico. Para contornar esse problema, uma das soluções encontradas foi a de tratar os *outputs* indesejáveis como *inputs* dos modelos DEA orientado aos *inputs*, juntamente com os *inputs* “investimentos” e “postos de fiscalização”. Já as variáveis “rede pavimentada”, “população” e “frota” foram consideradas como *outputs* ambientais, retirando-se a possibilidade de folgas para elas. Essa solução apresentou-se viável uma vez que a escolha pela orientação aos *inputs* visa à redução das entradas para que a DMU atinja a eficiência. Assim, as relações positivas e negativas mostradas pelas figura 5 e 6 são mantidas. O *framework* seguido nessa pesquisa encontra-se na figura 7.

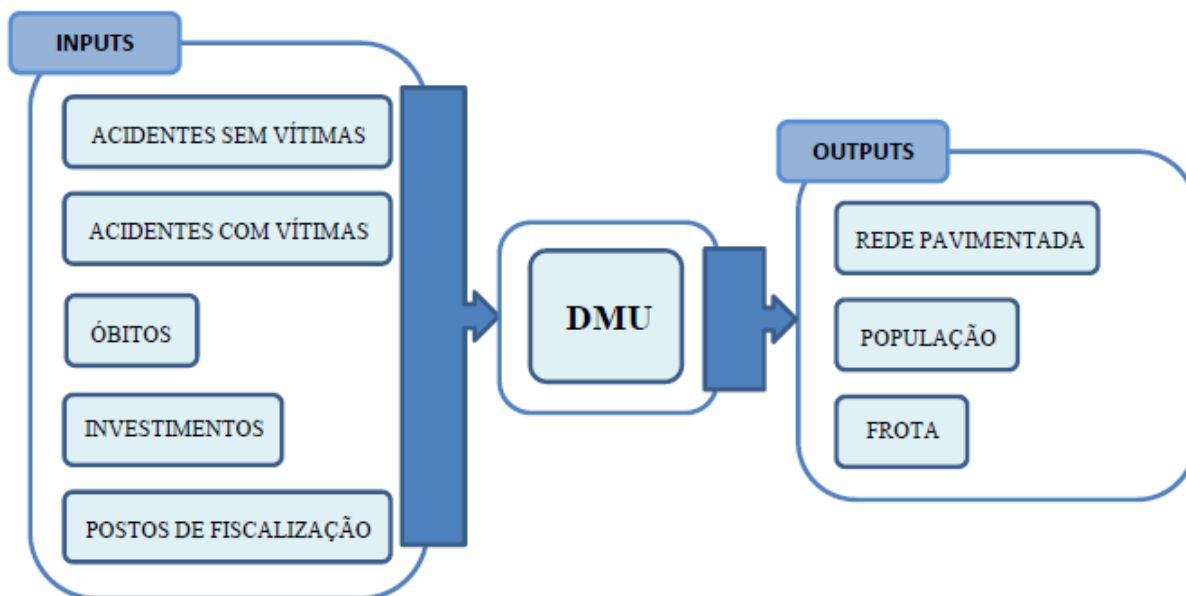


FIGURA 7 - *Framework* prático da pesquisa

A primeira aplicação da DEA se deu com o modelo BCC orientado aos *inputs* (BCC – IC). A escolha pelo modelo BCC se deu pelo pressuposto de uma relação logarítmica entre as variáveis, de tal maneira que há uma variação não proporcional entre os *outputs* e os *inputs*, caracterizando, assim, o retorno variável de escala, cuja fronteira possui aspecto não linear. Em suma, a aplicação do BCC orientado aos *inputs* resultou em um índice de segurança que representa a redução equiproporcional dos *inputs* controláveis e dos *outputs* indesejáveis, permitindo com que o gerenciador analise o potencial de redução de todos os componentes de entrada de uma DMU.

Em um segundo momento, o modelo DEA ERM orientado aos *inputs* foi aplicado com a finalidade de aprofundar a análise dos fatores e dos resultados obtidos no cálculo da eficiência pelo BCC. Nesse caso, o ERM permitiu a redução dos *inputs* controláveis e dos *outputs* indesejáveis de forma independente, obtendo-se índices individuais para cada uma dessas variáveis. Logo, a aplicação desse modelo possibilitou verificar de modo independente qual o potencial de redução de cada um desses componentes envolvidos na segurança de cada DMU. Ainda, o ERM permitiu calcular os índices de segurança para as DMUs, obtidos por meio da média entre os índices dos *inputs*.

Essa pesquisa também considerou uma terceira possibilidade de aplicação da DEA, dessa vez com o modelo BCC orientado aos *inputs* com a variável “investimentos” fixada como *input* não discredionário (BCC – IND). A aplicação dessa maneira justifica-se pelo fato de que os repasses financeiros são planejados no ano anterior ao vigente na aplicação. Com isso, pode-

se dizer que o tomador de decisão não possui total controle sobre a variável “investimentos” em curto prazo. Por conseguinte, nessa etapa, a matemática da DEA objetivou, exclusivamente, a máxima redução dos *outputs* indesejáveis, os quais representam os acidentes, mantendo-se os investimentos constantes. Nesse contexto, o índice construído nessa etapa representa o potencial máximo de reduzir os acidentes em rodovias federais por cada uma das DMUs.

É importante elucidar que essa pesquisa inseriu os *outputs* na DEA considerando-os como variáveis ambientais. Isso é algo não convencional, porém justifica-se, pois as variáveis ambientais não admitem folgas. Com isso, elimina-se a possibilidade da DEA calcular a um possível aumento adicional para cada uma das variáveis de saída de maneira a fazer com que DMU obtenha índice de segurança máximo, o que não faria sentido para os resultados. Como se trata de uma consideração não convencional entre os estudos da DEA, mesmo que justificável, dependendo de cada caso, e matematicamente aplicável, a Expressão 4 apresenta a matemática para fins de esclarecimento de pesquisas futuras que possam considerar um cenário parecido. Ressalta-se que a expressão é escrita para o modelo BCC orientado aos *inputs* com *outputs* ambientais.

$$MIN \theta - \varepsilon \cdot \left(\sum_{i=1}^n S_i^+ + \sum_{j \in OD}^m S_j^- \right); \quad (4)$$

Sujeito as seguintes restrições:

$$\sum_{k=1}^z x_{jk} \cdot \lambda_k - \theta_j \cdot x_{jo} + S_j^- = 0, \text{ para todo } j;$$

$$\sum_{k=1}^z y_{ik} \cdot \lambda_k = y_{io}, \text{ para todo } i \in OA;$$

$$\sum_{k=1}^z \lambda_k = 1$$

$$\lambda_k \geq 0 \text{ e } \theta_k \geq 0$$

Sendo OD os *outputs* desejáveis e OA os *outputs* ambientais.

As DEA BCC – IND e ERM tiveram suas matemáticas adaptadas em conformidade com a expressão acima apresentada. A figura 8 apresenta o esquema da metodologia empregada nessa pesquisa, adaptado de Golany e Holl (1989).

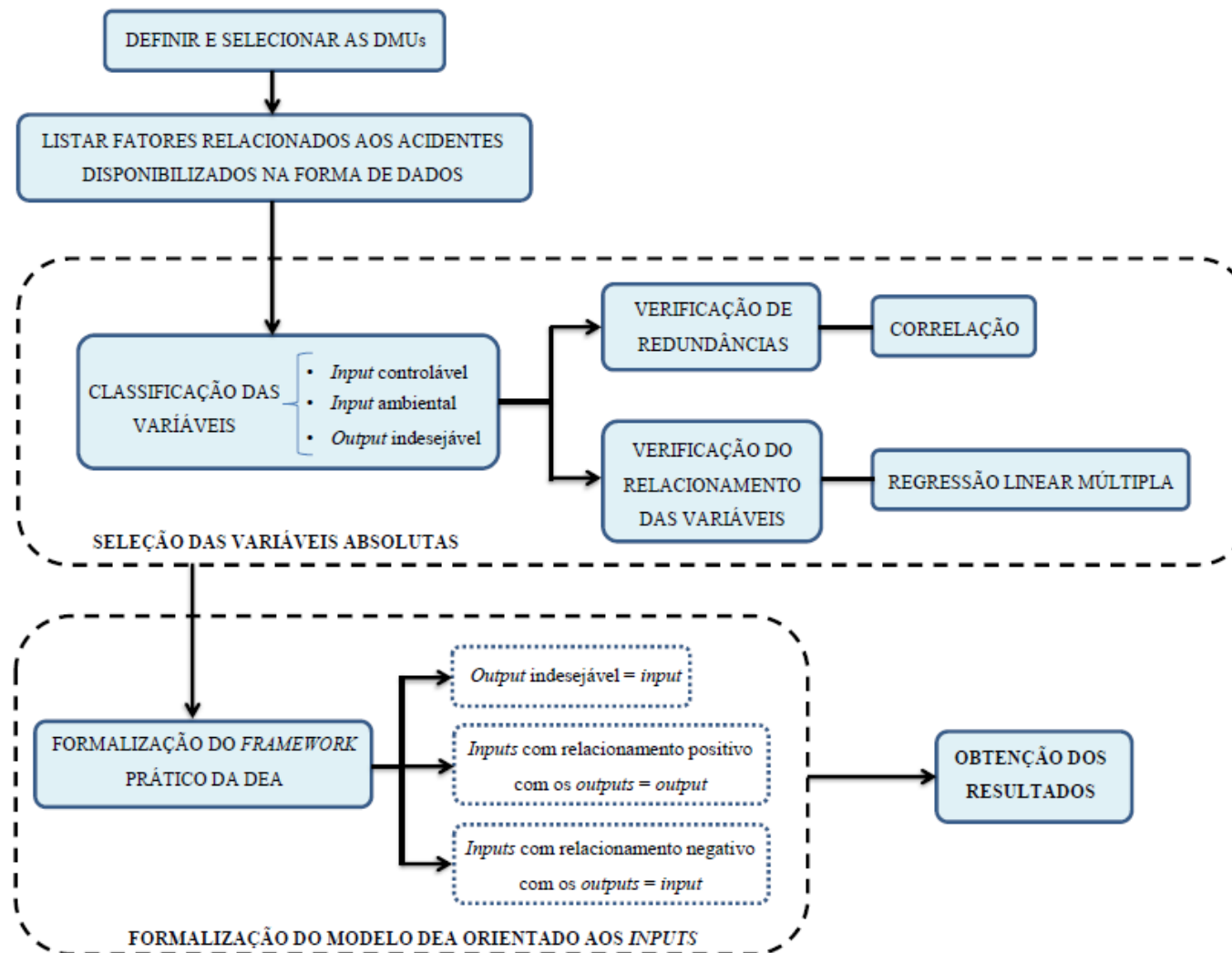


FIGURA 8 - Framework adaptado de Golany e Holl (1989) para construção de índices de segurança dos transportes terrestres

4. RESULTADOS

Neste capítulo, são apresentados os resultados obtidos na etapa de seleção e validação das variáveis, assim como os resultados provenientes do cálculo dos índices de segurança das rodovias federais por Estados brasileiros. Na primeira seção, são expostos os resultados e as discussões referentes às análises estatísticas utilizadas para validação das variáveis a serem inseridas no estudo. Em seguida, os resultados da aplicação das três formas distintas da técnica DEA, são apresentados e discutidos.

4.1. Validação das variáveis de *input* e *output*

Para verificar o grau de redundância entre as variáveis selecionadas para o estudo, foi calculado o grau de correlação entre as variáveis por meio do *software Microsoft Excel®* e a matriz de correlação estatística foi construída. Os resultados dos coeficientes dessa etapa encontram-se expressos na Tabela 10 abaixo, de tal modo que as notações para as variáveis são: (1) “investimentos”; (2) “postos”; (3) “população”; (4) “frota”; (5) “rede pavimentada”; (6) “acidentes sem vítimas”; (7) “acidentes com feridos”; e (8) “óbitos”.

TABELA 10 – Matriz de correlação entre as variáveis

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1,00							
2	0,81	1,00						
3	0,52	0,55	1,00					
4	0,48	0,53	0,96	1,00				
5	0,64	0,63	0,16	0,07	1,00			
6	0,68	0,90	0,31	0,28	0,59	1,00		
7	0,59	0,87	0,33	0,29	0,53	0,97	1,00	
8	0,59	0,81	0,33	0,21	0,62	0,89	0,93	1,00

Para Levin (1987) os coeficientes de correlação podem ser interpretados da seguinte forma: i) correlação perfeita quando o valor é igual a 1,00; ii) correlação forte para valores entre 0,95 e 1,00; iii) correlação moderada para o coeficiente entre 0,50 e 0,95; iv) correlação fraca para resultados entre 0,10 e 0,50; e v) ausência de correlação para valores entre 0 e 0,10. Contudo, como o efeito de redundância é negativo para a discriminação da DEA e influenciam

diretamente na consistência dos resultados, essa pesquisa considerou os resultados acima de 0,80 como de forte correlação.

Como é possível observar pela tabela 10, os coeficientes foram elevados, o que reforça a natureza multidisciplinar da segurança de tráfego (por exemplo: HERMANS et al., 2009). As variáveis “acidentes sem vítimas”, “acidentes com feridos” e “óbitos” apresentaram uma alta correlação entre si (acima de 0,80). Entende-se que isso pode ser efeito de redundância, pois as três representam o mesmo aspecto desse estudo, isto é, representam a consequência final resultante da insegurança das rodovias. Por conta disso, manteve-se somente o dado de óbito por este ser considerado uma variável de efeito irreparável e, portanto, a mais prejudicial dentre as três apresentadas.

Cabe mencionar ainda que a variável “postos” apresentou forte correlação (acima de 0,80) com: i) “acidentes sem vítima”, “acidentes com vítimas” e “óbitos”; e ii) “investimentos”. A primeira correlação pode ser explicada pelo fato de que os postos de fiscalização estão localizados nas rodovias onde ocorre o maior número de acidentes, e não o proposto pelo *framework* prático da figura 7 (o número postos reduz a quantidade de acidentes). Já o segundo resultado pode significar uma redundância, visto que ambas as variáveis são aspectos controláveis do governo federal. Nesse sentido, para evitar perda na discriminação da DEA com a redundância dessas variáveis, decidiu-se por incluir somente uma das variáveis “investimentos” ou “postos”. A seleção ocorreu por meio de testes de regressão múltipla, excluindo aquela que mostrou baixa relevância para o modelo.

Há ainda a observação da alta correlação entre as variáveis “população” e “frota”. Esse resultado já era esperado, uma vez que a literatura mostra a alta relação de ambas com a ocorrência de acidentes. Novamente, somente uma delas foi selecionada para aplicação à DEA, sendo que a escolha foi feita por meio dos resultados provenientes dos testes de regressão múltipla.

O procedimento de testes de regressão múltipla considerou como variável dependente “óbitos”, pois o intuito foi de verificar o grau de relação de causa e consequência entre o possível conjunto de *inputs* e o *output*. Convém ressaltar que, na regressão linear múltipla, há influência de uma variável independente sobre a outra. Com isso, 3 diferentes combinações de conjuntos de *inputs* foram testados como variáveis independentes da regressão. Ainda, foi necessário utilizar o modelo log-log nas regressões, o que, posteriormente, validou a

utilização do modelo BCC para essa pesquisa, visto que a relação entre as variáveis é logarítmica e não linear.

Com os resultados, foi possível observar quais *inputs* explicam o *output* proposto, sendo que as variáveis com baixo nível de confiabilidade estatística (para *p-valor* superior a 0,05) foram excluídas da pesquisa. As análises encontram-se a seguir acompanhadas de suas respectivas discussões, de tal modo que a tabela 11 expõe o teste 1 e a tabela 14 apresenta os resultados dos testes 2 e 3.

TABELA 11 – Regressão linear múltipla: teste 1

TESTE 1		
<i>Inputs</i>	<i>Coef.</i>	<i>P-valor</i>
<i>Investimentos</i>	-0,430476	0,0087
<i>Postos</i>	0,861005	0,0876
<i>População</i>	0,712257	0,0984
<i>Frota</i>	-0,501646	0,3221
<i>Rede pavimentada</i>	0,764967	0,0014

Para o primeiro teste, todos os *inputs* foram inseridos na análise. Pela tabela 11 é possível observar que o teste 1 mostrou-se insatisfatório, com baixos *p-valores* para “postos”, “população” e “frota”. Além disso, “frota” apresentou coeficiente negativo, indicando a hipótese de que quanto menor a quantidade de veículos, maior a quantidade de acidentes, o que não faz sentido. Esse resultado pode ser reflexo do forte grau de correlação observado na matriz da tabela 10. Como um dos parâmetros da regressão é considerar as variáveis como independentes, elas não podem ser altamente correlacionadas, caso contrário, uma variável interferirá na existência da outra na regressão. Com isso, os testes 2 e 3 foram rodados (tabela 12), excluindo-se “postos” por ser redundante com “investimentos” e incluindo, ainda, ou “frota” ou “população” por serem redundantes entre si.

TABELA 12 – Regressão linear múltipla: testes 2 e 3

TESTE 2			TESTE 3		
<i>Inputs</i>	<i>Coef.</i>	<i>P-valor</i>	<i>Inputs</i>	<i>Coef.</i>	<i>P-valor</i>
<i>Investimentos</i>	-0,387136	0,0174	<i>Investimentos</i>	-0,359132	0,0281
<i>Rede pavimentada</i>	0,994837	<0,0001	<i>Rede pavimentada</i>	1,00218	<0,0001
<i>População</i>	0,620684	0,0002	<i>Frota</i>	0,528363	0,0005
<i>R² ajustado</i>		0,67720	<i>R² ajustado</i>		0,65944
<i>Critério de Schwarz</i>		64,94210	<i>Critério de Schwarz</i>		66,3881
<i>Critério de Akaike</i>		59,75875	<i>Critério de Akaike</i>		61,2048
<i>Critério de Hannan-Quinn</i>		61,30003	<i>Critério de Hannan-Quinn</i>		62,7461

Nota-se que as regressões são satisfatórias tanto com “frota” quanto “população”, com resultados de confiabilidade abaixo de 0,05 para todas as variáveis de *input*. A relação positiva entre óbitos e população indica que quanto maior o número pessoas, maior o número de acidentes. Essa mesma análise cabe tanto para “rede pavimentada” quanto para “frota”. Por outro lado, o sinal do coeficiente dos “investimentos” apresentou-se negativo, logo essa variável é inversamente proporcional ao número de óbitos. Essa relação também faz sentido, pois se espera que quanto maior os investimentos, menor o número de acidentes.

Uma vez que os resultados de ambos os testes deram coerentes, utilizou-se a análise dos demais critérios possíveis para escolha e seleção de variáveis para modelos matemáticos, tais como os valores da qualidade do ajustamento representados pelo R^2 ajustado e os critérios de Schwarz, de Akaike e de Hannan-Quinn⁸. No caso, quanto maior o valor de R^2 ajustado, melhor a explicação da variável dependente pelas variáveis independentes, enquanto que quanto menor os critérios de Schwarz, Akaike e Hannan-Quinn, melhor o modelo. Nesse sentido, optou-se pela seleção do conjunto de variáveis do teste 2, pois a “população” apresentou maior R^2 ajustado e menores valores para os critérios, com valores de 0,67720; 64,94210; 59,75875; 61,30003, respectivamente.

Finalizada a etapa de escolha e seleção das variáveis e considerando os ajustes necessários no modelo explicados no capítulo de método, pôde-se finalmente definir as variáveis de *input* e *output* a serem rodadas na DEA, conforme figura 9.

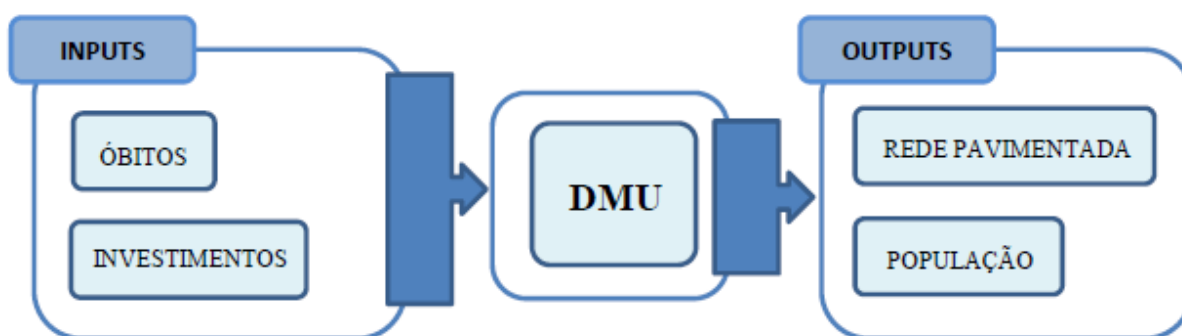


FIGURA 9 - *Framework* para aplicação da DEA

⁸ Os critérios de Schwarz, Akaike e Hannan-Quinn são estatísticas utilizadas para a seleção de modelos matemáticos com variáveis múltiplas, sendo que o melhor modelo é aquele com os menores valores para os critérios.

4.2. Índice de segurança das rodovias federais brasileiras

A tabela 13 apresenta os dados de *inputs* e *outputs* inseridos nos modelos DEA, bem como duas variáveis auxiliares que ajudarão na discussão dos resultados, sendo elas: a) investimentos por quilômetro de rodovia federal; e b) quantidade de habitantes por quilômetro de rodovia.

TABELA 13 – Dados do DEA

	Estado	Investimentos (R\$)	Óbitos	População	Rede pav (km)	R\$/km	hab/km
NORTE	Rondônia	94694082,17	91	1562409	1994,90	47468,08	783,20166
	Acre	53263880,13	17	733559	915,90	58154,69	800,91604
	Amazonas	104770845,59	18	3483985	633,40	165410,24	5500,45
	Roraima	54186413,48	21	450479	986,70	54916,81	456,55113
	Pará	131290289,54	149	7581051	2385,70	55032,19	3177,7051
	Amapá	28116214,32	12	669526	465,10	60451,98	1439,5313
	Tocantins	87182346,55	83	1383445	1580,50	55161,24	875,3211
NORDESTE	Maranhão	92374020,45	176	6574789	3235,60	28549,27	2032,0154
	Piauí	37045621,65	140	3118360	2705,70	13691,70	1152,5151
	Ceará	51037408,54	196	8452381	2269,00	22493,35	3725,1569
	Rio Grande do Norte	21522084,80	130	3168027	1535,40	14017,25	2063,3236
	Paraíba	28322662,31	131	3766528	1536,20	18436,83	2451,8474
	Pernambuco	106851356,78	335	8796448	2310,90	46237,98	3806,5031
	Alagoas	104480372,36	85	3120494	898,50	116283,11	3473,0039
	Sergipe	7423239,91	46	2068017	433,90	17108,18	4766,1143
	Bahia	206706880,26	369	14016906	4219,50	48988,48	3321,9353
SUDESTE	Minas Gerais	213786005,65	520	19597330	6483,30	32974,87	3022,74
	Espírito Santo	4723443,40	50	3514952	380,60	12410,52	9235,2916
	Rio de Janeiro	144854794,31	320	15989929	699,90	206964,99	22846,019
	São Paulo	168514314,53	7	41262199	108,40	1554560,10	380647,59
SUL	Paraná	243332603,18	493	10444526	1744,70	139469,60	5986,4309
	Santa Catarina	109176319,42	273	6248436	1955,60	55827,53	3195,1503
	Rio Grande do Sul	328056303,09	254	10693929	5407,70	60664,66	1977,5374
CENTRO-OESTE	Mato Grosso do Sul	75969871,70	123	2440024	2961,50	25652,50	823,91491
	Mato Grosso	179391252,88	23	3035122	3168,50	56617,09	957,905
	Goiás	81429006,54	265	6003788	2078,70	39173,04	2888,2417
	Distrito Federal	2212346,10	50	2570160	193,50	11433,31	13282,481

A tabela 14 apresenta os índices de segurança das rodovias federais brasileiras obtidos por Estado. Os dados são inerentes aos resultados obtidos com a aplicação do: i) BCC orientado aos *inputs* considerando todas as variáveis de *input* como controlável (BCC – IC); ii) BCC orientado aos *inputs* considerando “investimentos” como *input* não discricionário (BCC – IND); e iii) ERM orientado aos *inputs* (ERM). Cabe mencionar que a ordenação do *ranking* foi realizada a partir dos resultados obtidos pelo BCC com todos os *inputs* controláveis.

TABELA 14 – Índice de eficiência da segurança das rodovias federais por Estado

Posição	Estado + DF	BCC - IC	BCC - INC	ERM
1	Espírito Santo	100,00%	100,00%	100,00%
2	Mato Grosso	100,00%	100,00%	100,00%
3	Piauí	100,00%	100,00%	100,00%
4	Minas Gerais	100,00%	100,00%	100,00%
5	Rio Grande do Sul	100,00%	100,00%	100,00%
6	Acre	100,00%	100,00%	100,00%
7	Ceará	100,00%	100,00%	100,00%
8	São Paulo	100,00%	100,00%	100,00%
9	Roraima	100,00%	100,00%	100,00%
10	Sergipe	100,00%	100,00%	100,00%
11	Amapá	100,00%	100,00%	100,00%
12	Mato Grosso do Sul	100,00%	100,00%	100,00%
13	Distrito Federal	100,00%	100,00%	100,00%
14	Maranhão	96,72%	94,65%	95,76%
15	Rio Grande do Norte	96,60%	71,69%	84,92%
16	Paraíba	79,44%	66,71%	76,23%
17	Bahia	74,41%	59,50%	72,52%
18	Rondônia	73,92%	50,03%	72,79%
19	Amazonas	69,19%	69,19%	57,50%
20	Tocantins	64,61%	25,83%	62,92%
21	Pará	62,72%	29,72%	61,42%
22	Pernambuco	51,24%	20,68%	44,33%
23	Goiás	49,08%	26,73%	46,36%
24	Rio de Janeiro	44,28%	3,64%	30,44%
25	Alagoas	39,14%	15,98%	36,94%
26	Santa Catarina	38,66%	13,51%	38,15%
27	Paraná	22,56%	3,34%	21,21%

BCC – IC: DEA BCC orientado aos *inputs*, com todos os *inputs* controláveis;

BCC – IND: DEA BCC orientado aos *inputs*, com “investimentos” tratado como não discricionário;

ERM: DEA ERM.

A análise da fronteira da eficiência padrão dos três modelos DEA mostra que dos 27 Estados, 13 são eficientes em termos de segurança de tráfego, empatados em primeiro lugar, sendo eles: Espírito Santo, Mato Grosso, Piauí, Minas Gerais, Rio Grande do Sul, Acre, Ceará, São

Paulo, Roraima, Sergipe, Amapá, Mato Grosso do Sul e Distrito Federal. É possível perceber que há Estados de todas as regiões econômicas do Brasil, sendo as mais frequentes: i) sudeste: Espírito Santo, São Paulo e Minas Gerais; ii) centro-oeste: Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Distrito Federal; iii) nordeste: Piauí, Ceará e Sergipe. A região norte apresentou somente o Amapá como eficiente e, por sua vez, o sul obteve apenas o Rio Grande do Sul. Esse resultado justifica-se pelo fato do modelo BCC localizar as DMUs em todas as escalas de produção, sendo, portanto, possível obter Estados eficientes de todos os tamanhos.

Não obstante, é conveniente mencionar que existe a possibilidade do *ranking* dos Estados com índice máximo possuir *outliers*. Um *outlier* é caracterizado como uma observação radicalmente dissimilar das demais observações da nuvem de amostragem. A sua presença pode ser proveniente de erros matemáticos e também devido à heterogeneidade da amostra. No presente estudo, desconfia-se da presença de *outliers*, pois os Estados brasileiros são caracterizados pela heterogeneidade de diversos parâmetros, sejam eles sociais, econômicos, geográficos, entre outros. A homogeneização da amostra é recomendada para evitar *outliers* nos resultados, porém para o presente estudo a clusterização foi considerada inadequada, uma vez que a quantidade de DMUs analisadas é baixa. Recomenda-se, com isso, que estudos futuros utilizem técnicas matemáticas capazes de identificar os possíveis *outliers*.

A partir da comparação da tabela 13 com a tabela 14, nota-se que o Estado de Minas Gerais, apesar de apresentar o maior número de óbitos (520) em rodovias federais para o ano de 2016, obteve seu índice de eficiência igual a 100%, mantendo-se na primeira posição. Isso ocorreu, pois os fatores “população” e “rede pavimentada” encontram-se embutidos nos índices dessa pesquisa, de tal forma que o dado de “óbitos” encontra-se relativizado por “população” e “rede pavimentada”. Minas Gerais também está entre os 10 Estados que menos receberam investimentos em rodovias federais no ano de 2016 (R\$ 32974,87/km). Isso é um grande indicativo de que, dado o número de habitantes e o longo comprimento de malha rodoviária, sendo que Minas possui a maior densidade de rodovia federal do país (6483,30 km), os repasses financeiros destinados a rodovias federais localizados nesse Estado podem ter sido eficientemente aplicados.

Além de Minas Gerais, os outros 6 Estados eficientes cujos investimentos por quilômetro de rodovia federal foram os menores no ano de 2016 são: Mato Grosso do Sul (R\$ 25652,50/km), Ceará (R\$ 22493,35/km), Sergipe (R\$ 17108,18/km), Piauí (R\$ 13691,79/km), Espírito Santo (R\$ 12410,52/km) e Distrito Federal (R\$ 11433,31/km), sendo que Piauí,

Espírito Santo e Distrito Federal são as três unidades que menos receberam do conjunto todo. Cabe mencionar que o Rio Grande do Sul, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Piauí podem ter se beneficiado entre os eficientes por possuírem índices de óbitos relativamente baixos e, ao mesmo tempo, longos comprimentos de rodovias federais contidas em seus Estados, aumentando, assim o risco de exposição dos usuários.

É importante salientar, todavia, que há também a possibilidade de que esses Estados tenham apresentado índice máximo por conta da intervenção de outros componentes⁹ relacionados à segurança das rodovias e os quais não foram incorporados à DEA. Tais componentes podem ser citados como as questões culturais (indivíduos que não dirigem quando bebem, por exemplo), sociais (lei seca, por exemplo), naturais do ambiente (luz, condições meteorológicas favoráveis, etc), entre outros. Apesar de tais fatores não terem sido incluídos na matemática pela indisponibilidade de dados, deve-se considerá-las para análise dos índices obtidos. À vista disso, não é possível afirmar que os índices foram máximos somente por conta da eficiência em investimentos, ou por conta dos baixos fatores de exposição. Trabalhos futuros deverão verificar o quanto os demais componentes influenciam na explicação dos resultados dos índices.

Por outro lado, entre os ineficientes há diferença de posições por conta da mudança na forma de aplicar a DEA. No entanto, nota-se que os Estados de Alagoas, Santa Catarina e Rio de Janeiro encontram-se entre os 5 piores nos três modelos. O Paraná aparece em último lugar em todos os modelos, enquanto que Pernambuco aparece entre os piores no BCC – INC e também no ERM. Já Goiás aparece entre os ineficientes somente uma vez: no BCC – IC. Os tópicos seguintes detalham e analisam cada um desses resultados obtidos por cada um dos modelos DEA.

4.2.1. DEA BCC – IC

Para esse modelo, admitiu-se que todas as variáveis de *input* são controláveis, ou seja, estão sob o controle do tomador de decisão. Com isso, ao se estabelecer a orientação do modelo para os *inputs*, foi permitido com que a DEA calculasse o índice reduzindo essas variáveis e admitindo a possibilidade de folgas para elas. A interpretação que devemos ter para esses resultados, portanto, é no sentido do quanto é possível reduzir equiproporcionalmente “investimentos” e “óbitos” para que uma DMU obtenha o máximo do índice, considerando a presença de folgas.

⁹ Ver Apêndice A – componentes da segurança rodoviária.

Analisando a tabela 14, nota-se que os cinco piores Estados são, em ordem decrescente, Paraná, Santa Catarina, Alagoas, Rio de Janeiro e Goiás. O Paraná é o pior, com 22,56% e, em termos de DEA, isso significa o potencial de redução desse Estado tanto para os investimentos quanto para “óbitos”, ou então que o Paraná precisa reduzir equiproporcionalmente os *inputs* em 77,44% para que atinja o índice máximo. Por conseguinte, é conveniente comparar esses resultados com a tabela 16: percebe-se que o Rio de Janeiro foi o segundo Estado com mais investimentos por quilômetro de rodovia federal no ano de 2016, somente atrás de São Paulo. O Paraná e Alagoas encontram-se na quarta e quinta posição, respectivamente, ainda nesse sentido. Mesmo assim, essas três unidades federativas apresentaram os piores índices. Isso pode significar que os recursos financeiros destinados às rodovias federais contidas nesses Estados não foram eficientemente aplicados.

A análise dos índices não deve, entretanto, se ater na avaliação das unidades federativas somente pelo aspecto dos investimentos. Como mencionado anteriormente¹⁰, os fatores envolvidos em acidentes de trânsito e, conseqüentemente, na segurança das rodovias são múltiplos, tal que o comportamento humano é um dos aspectos mais difíceis de ser medido. Dessa forma, além do componente “investimentos”, o índice também reflete um componente cultural, o qual possui relação com o comportamento dos usuários dos sistemas de transportes. Analisando os Estados nesse contexto, é possível que os investimentos tenham sido aplicados convenientemente, porém existe a possibilidade de que os próprios usuários estejam influenciando a ineficiência do índice. Atos como dirigir acima da velocidade ou sob efeitos de drogas ou do álcool, ou, até mesmo, a simples distração momentânea pode causar um acidente, contribuindo para a ineficiência.

Ressalta-se que as variáveis representativas do comportamento do usuário não foram incluídas nessa pesquisa, visto que não se encontrou informações suficientes para sua consideração. Evidencia-se, ainda, que há outros fatores citados por Elvik (2010) contribuintes para os acidentes, tais como fatores meteorológicos e mecânicos do veículo, cujos dados também não foram encontrados. Ademais, como esse índice representa a redução concomitante dos *inputs*, não seria óbvio analisar o quanto a ineficiência é explicada pela aplicação incoerente dos recursos monetários ou por outros componentes da segurança rodoviária. Dessa forma, as políticas a serem adotadas podem não ser eficientemente endereçadas.

¹⁰ Vide capítulo 1 – Introdução.

Outro importante aspecto a ser analisado refere-se à presença das folgas geradas no cálculo do índice pela ferramenta. As folgas são as distorções causadas pelo fato da fronteira da DEA ser construída empiricamente. Elas representam as sobras de *inputs* ou a falta de *outputs* após a projeção radial de cada uma das DMUs, fazendo com que a unidade não chegue ao índice máximo, além de poderem ser tratadas como um viés dos modelos radiais. A tabela 15 traz as folgas obtidas para determinadas DMUs durante o cálculo do índice. Percebe-se que somente o Amazonas apresentou folga para o *input* “investimentos”, significando que, além da necessidade de reduzir em 30,81% as variáveis de entrada, o Estado ainda precisa diminuir em cerca de R\$ 24.496.450,00 para ser eficiente.

TABELA 15 – Folgas do modelo BCC – IC

	Estado + DF	Investimentos (R\$)	Óbitos
NORTE	Rondônia	-	-
	Acre	-	-
	Amazonas	24496450,5306	-
	Roraima	-	-
	Pará	-	-
	Amapá	-	-
	Tocantins	-	-
NORDESTE	Maranhão	-	-
	Piauí	-	-
	Ceará	-	-
	Rio Grande do Norte	-	29,7697
	Paraíba	-	3,1157
	Pernambuco	-	-
	Alagoas	-	-
	Sergipe	-	-
	Bahia	-	-
SUDESTE	Minas Gerais	-	-
	Espírito Santo	-	-
	Rio de Janeiro	-	73,6697
	São Paulo	-	-
SUL	Paraná	-	-
	Santa Catarina	-	-
	Rio Grande do Sul	-	-
CENTRO-OESTE	Mato Grosso do Sul	-	-
	Mato Grosso	-	-
	Goiás	-	-
	Distrito Federal	-	-

As folgas dos “óbitos” foram obtidas somente para os Estados do Rio Grande do Norte (29,7697), Paraíba (3,1157) e Rio de Janeiro (73,6697), sendo este com a maior folga dos três. Isso permitiu a conclusão de que além de ser imprescindível a redução equiproporcional dos *inputs* em 55,72%, o Rio de Janeiro precisa reduzir em 73,6697 as mortes em rodovias

federais para atingir o máximo do índice de segurança proposto pelo modelo BCC – IC. Convém destacar que as demais variáveis de *output* (“rede pavimentada” e “população”) são variáveis ambientais e, sendo assim, não admitem folgas, as quais foram excluídas da matemática dessa pesquisa¹¹.

4.2.2. DEA ERM

Como forma de elucidar os resultados obtidos pelo DEA BCC – IC, a aplicação da DEA ERM permitiu avaliar de maneira independente o potencial de redução das variáveis “investimentos” e “óbitos”, *input* controlável e *output* indesejável do modelo, respectivamente, nessa pesquisa. A tabela 16 traz os resultados da eficiência individual de cada uma das variáveis e os valores do índice de segurança resultante (chamado na tabela de “eficiência total”). Convém retomar que uma das propriedades¹² do ERM consiste no fato dos resultados não excederem os valores obtidos pelos modelos radiais, assim como mostrado na tabela 16.

Pela tabela 16, é possível perceber alguns pontos interessantes nos resultados. O Maranhão apresentou-se eficiente para a redução de “óbitos” e ineficiente para “investimentos” (91,53%), mostrando fortes indícios de que o aumento do índice de segurança depende de um melhor planejamento e aplicação dos recursos destinados a rodovias. Com isso, fica claro que as decisões dessa unidade para aumentar a segurança das rodovias devem levar em consideração melhores investimentos e financiamentos para aumentar a infraestrutura e a manutenção das rodovias. Além disso, os líderes responsáveis pelo planejamento de recursos destinados a infraestrutura dos transportes podem ajudar com a promoção de acordos, negociações e alianças que visem estimular o desenvolvimento da infraestrutura das rodovias federais nesse Estado.

O Tocantins é a única unidade com índice máximo para “investimentos” e baixo para “óbitos” (25,83%), evidenciando que o problema do Estado está na redução das mortes. Aqui, também cabe mencionar que não foi possível verificar o quanto as outras dimensões envolvidas em acidentes de rodovias (tais como a comportamental, as meteorológicas, entre outras), contribuem para a ineficiência em reduzir mortes, pois a falta de registros na forma de dados não permitiu a inserção desses componentes na análise. Esclarece-se, contudo, que esses

¹¹ Expressão 4 apresentada no capítulo de método.

¹² Vide capítulo de método, item 3.1.

aspectos ainda compõem o índice do ERM e devem ser objeto de estudos futuros. Apesar disso, é possível sugerir que as potenciais diretrizes para esse Estado sejam mais focadas: i) na mudança de comportamento do usuário; ii) em aplicações de leis, penalidades, sanções e regulamentações que reforcem a ordem; iii) na fiscalização ostensiva; iv) no desenvolvimento capacidade técnica e profissional dos indivíduos, entre outros.

TABELA 16 – Resultados DEA ERM

Posição	Estados + DF	Eficiência dos investimentos	Eficiência dos óbitos	Eficiência total
1	Rio Grande do Sul	100,00%	100,00%	100,00%
2	Espírito Santo	100,00%	100,00%	100,00%
3	Mato Grosso	100,00%	100,00%	100,00%
4	Piauí	100,00%	100,00%	100,00%
5	Minas Gerais	100,00%	100,00%	100,00%
6	Acre	100,00%	100,00%	100,00%
7	Ceará	100,00%	100,00%	100,00%
8	Mato Grosso do Sul	100,00%	100,00%	100,00%
9	Roraima	100,00%	100,00%	100,00%
10	Sergipe	100,00%	100,00%	100,00%
11	Amapá	100,00%	100,00%	100,00%
12	Distrito Federal	100,00%	100,00%	100,00%
13	São Paulo	100,00%	100,00%	100,00%
14	Maranhão	91,53%	100,00%	95,76%
15	Rio Grande do Norte	97,49%	72,36%	84,92%
16	Paraíba	80,44%	72,02%	76,23%
17	Rondônia	95,55%	50,03%	72,79%
18	Bahia	62,81%	82,23%	72,52%
19	Tocantins	100,00%	25,83%	62,92%
20	Pará	39,93%	82,90%	61,42%
21	Amazonas	45,80%	69,19%	57,50%
22	Goiás	49,96%	42,77%	46,36%
23	Pernambuco	52,87%	35,79%	44,33%
24	Santa Catarina	36,60%	39,70%	38,15%
25	Alagoas	57,90%	15,98%	36,94%
26	Rio de Janeiro	44,77%	16,12%	30,44%
27	Paraná	22,82%	19,60%	21,21%

Entre os cinco estados com os piores índices de segurança estão o Paraná (21,21%), Rio de Janeiro (30,44%), Alagoas (36,94%), Santa Catarina (38,15%) e Pernambuco (44,33%), em ordem do pior para o melhor. Todas essas unidades apresentaram baixo potencial de redução tanto para “investimentos” quanto para “óbitos”, sendo que o Paraná apresentou o pior índice do *ranking* todo para “investimentos” (22,82%), indicando a possibilidade da aplicação ineficiente dos recursos, enquanto que Alagoas apresentou-se como a pior unidade em reduzir as mortes (15,98%). Novamente, não é possível analisar qual dos componentes do acidente é o maior responsável pela ineficiência do índice de “óbitos”, por conta da falta de dados

disponíveis para serem incorporadas na pesquisa. Porém, é possível verificar que tanto medidas que estimulem a melhor aplicação de investimentos quanto medidas que interfiram diretamente nas tomadas de decisões por parte do usuário são cabíveis.

Os resultados do modelo ERM não apresentou nenhuma folga em seus *inputs*. Dessa forma, considera-se que somente a projeção até a fronteira é suficiente para que as DMUs atinjam o máximo do índice de segurança.

4.2.3. DEA BCC – IND

Esse modelo considera como possibilidade a utilização da variável de *input* “investimentos” como classificada em “não discricionária”¹³. Justifica-se essa adoção porque todo repasse de recursos financeiros a ser realizado pelo governo federal é planejado no ano anterior ao ano em curso. Dessa forma, todo e qualquer investimento que não esteja na previsão para o ano de vigência não é autorizado. Por conta disso, essa variável pode ser considerada, também, como fora do controle direto do tomador de decisão no curto prazo.

Nesse sentido, os *inputs* não discricionários são fixados na matemática da DEA, existindo a possibilidade de mudança na proporção, mas não de redução equiproporcional. Ainda, ao contrário das variáveis ambientais, os “não discricionários” admitem a possibilidade de folgas. Com essas considerações postas, o índice do BCC - IND representa o resultado do máximo potencial de redução de mortes de cada uma das DMUs em análise nessa pesquisa. É importante ressaltar que escolher esse índice como base para avaliação da segurança rodoviária significa dizer que, dentre todos os componentes do sistema de segurança, prioriza-se o elemento humano com a redução de mortes. À vista disso, as políticas potenciais para prevenção de acidentes devem ser reforçadas em todos os sentidos, seja por meio do aumento dos investimentos para aplicação direta nos sistemas, seja em medidas que interfiram no comportamento humano, assim como outras listadas por Hughes et al. (2016).

Ao comparar os resultados obtidos por meio da aplicação dos três modelos, é possível perceber pela tabela 14 que o BCC – INC foi o modelo mais rígido, com resultados menores para os ineficientes dentre os três modelos. O Paraná encontrou-se novamente em último lugar do *ranking*, mostrando que, com a análise isolada do número de óbitos, possui um potencial de redução de somente 3,34%, ou seja, para que se atinja o máximo valor do índice mantendo-se o nível de investimentos constantes, ainda será necessário reduzir as mortes em

¹³ *Inputs* não discricionários são aqueles que não estão sob controle direto do tomador de decisão no curto prazo.

96,66%. O Estado mais penalizado por conta da aplicação desse modelo foi o Rio de Janeiro, com 3,64% (para o modelo BCC – IC o Estado havia apresentado 44,28% de índice), enfatizando o problema que o Rio de Janeiro também possui em reduzir as mortes em acidentes de trânsito. A tabela 17 apresenta o *ranking* do BCC – IND e a comparação com o BCC – IC. Fatores adicionais para verificar isoladamente os principais motivos envolvidos nesses baixos potenciais de redução devem ser objetos de estudos futuros.

TABELA 17 – *Ranking* do BCC – IND e diferença dos resultados com o BCC – IC

Posição	Estado + DF	BCC – IC	BCC - IND	Diferença entre BCC - IC e BCC - IND
1	Espírito Santo	100,00%	100,00%	-
2	Mato Grosso	100,00%	100,00%	-
3	Piauí	100,00%	100,00%	-
4	Minas Gerais	100,00%	100,00%	-
5	Rio Grande do Sul	100,00%	100,00%	-
6	Acre	100,00%	100,00%	-
7	Ceará	100,00%	100,00%	-
8	São Paulo	100,00%	100,00%	-
9	Roraima	100,00%	100,00%	-
10	Sergipe	100,00%	100,00%	-
11	Amapá	100,00%	100,00%	-
12	Mato Grosso do Sul	100,00%	100,00%	-
13	Distrito Federal	100,00%	100,00%	-
14	Maranhão	96,72%	94,65%	2,07%
15	Rio Grande do Norte	96,60%	71,69%	24,91%
16	Amazonas	69,19%	69,19%	0,00%
17	Paraíba	79,44%	66,71%	12,73%
18	Bahia	74,41%	59,50%	14,91%
19	Rondônia	73,92%	50,03%	23,89%
20	Pará	62,72%	29,72%	33,00%
21	Goiás	49,08%	26,73%	22,35%
22	Tocantins	64,61%	25,83%	38,78%
23	Pernambuco	51,24%	20,68%	30,56%
24	Alagoas	39,14%	15,98%	23,16%
25	Santa Catarina	38,66%	13,51%	25,15%
26	Rio de Janeiro	44,28%	3,64%	40,65%
27	Paraná	22,56%	3,34%	19,22%

Com essas análises, percebe-se a importância de uma discriminação adequada das variáveis a serem inseridas na DEA, uma vez que os resultados mostraram-se significativamente diferentes. É importante determinar, em primeiro lugar, qual a ótica a ser adotada pelo gerenciador de segurança de tráfego. Convém retomar, ainda, que o levantamento do estado da arte mostrou uma grande quantidade de estudos os quais não levaram em consideração as diferentes classificações das variáveis a serem inseridas na DEA quando, na verdade,

deveriam tê-lo feita. Percebe-se, portanto, a alta possibilidade desses estudos possuírem distorções nos resultados.

Os resultados do BCC – IND trouxeram mais folgas para a variável “investimentos” do que o BCC – ICC e nenhuma para “óbitos”, como é possível verificar na tabela 18. Analisando as folgas, pode-se concluir que, além das reduções das mortes necessárias para cada uma das unidades ineficientes, é preciso um aumento em investimentos de: i) cerca de R\$ 4.216.046,79 para Rondônia; ii) aproximadamente R\$ 56.780.989,32 para o Amazonas; iii) R\$ 43.990.525,74 para o Alagoas; iv) R\$ 44.345.065,31 para o Rio de Janeiro; e v) R\$ 109.682.263,43 para o Paraná. Assim como para os demais modelos DEA, as folgas de “redes pavimentadas” e de “população” foram desconsideradas por serem variáveis ambientais.

TABELA 18 – Folgas do modelo BCC - IND

	Estado + DF	Investimentos	Óbitos
NORTE	Rondônia	4216046,7858	-
	Acre	-	-
	Amazonas	56780898,3209	-
	Roraima	-	-
	Pará	-	-
	Amapá	-	-
	Tocantins	-	-
NORDESTE	Maranhão	-	-
	Piauí	-	-
	Ceará	-	-
	Rio Grande do Norte	-	-
	Paraíba	-	-
	Pernambuco	-	-
	Alagoas	43990525,7360	-
	Sergipe	-	-
SUDESTE	Bahia	-	-
	Minas Gerais	-	-
	Espírito Santo	-	-
	Rio de Janeiro	44345065,3112	-
SUL	São Paulo	-	-
	Paraná	109682263,4279	-
	Santa Catarina	-	-
CENTRO-OESTE	Rio Grande do Sul	-	-
	Mato Grosso do Sul	-	-
	Mato Grosso	-	-
	Goiás	-	-
	Distrito Federal	-	-

4.2.4. Análise de *benchmarks*

Com os resultados da aplicação da DEA, também foi possível verificar os Estados tidos como *benchmarks* dos ineficientes. A tabela 19 apresenta os resultados para cada um dos três modelos utilizados nessa pesquisa.

TABELA 19 – *Benchmarks* dos ineficientes

Estados Ineficientes	BCC - IC	BCC - IND	ERM
Rondônia	RO, PI, MS, MT	RO, MS, MT	RO, MS, MT
Amazonas	AP, SP, MT	AP, SP, MT	AP, SP, MT
Pará	AP, PI, SP, MT	AP, PI, SP, MT	AP, PI, SP
Tocantins	RO, AP, PI, MT	RO, AP, PI, MT	RO, AP, PI, MT
Maranhão	PI, MG, SP, MT	PI, MG, SP, MT	PI, MG, SP, MT
Rio Grande do Norte	PI, ES, DF	AP, PI, SE, ES	PI, SE, ES
Paraíba	PI, CE, ES	AP, PI, ES, SP	PI, ES, SP
Pernambuco	PI, CE, MG, SP	AP, PI, SP, MT	PI, SP
Alagoas	AP, PI, SP, MT	AP, SP, MT	AP, SP, MT
Bahia	PI, MG, SP, MT	MG, SP, RS, MT	PI, MG, SP
Rio de Janeiro	CE, ES, SP	AP, SP, MT	PI, ES, SP
Paraná	PI, CE, ES, SP	AP, SP, MT	PI, ES, SP
Santa Catarina	AP, PI, ES, SP	AP, PI, SP, MT	PI ES, SP
Goiás	PI, CE, ES, SP	AP, PI, SP, MT	PI, ES, SP

O quanto uma DMU serve de referência para as unidades ineficientes pode servir como um método de desempate entre as DMUs eficientes. No modelo BCC – IC, o Piauí apresentou a maior frequência (12), enquanto que o Acre, Rio Grande do Sul e Sergipe não serviram de *benchmark* para nenhuma das ineficientes. Já no ERM, Piauí aparece novamente com a maior frequência (11) e, por outro lado, o Acre Ceará, Rio Grande do Sul, Distrito Federal não apareceram como *benchmarks*. É interessante notar que o Piauí é terceiro Estado que menos recebeu “investimentos” e sétimo maior em comprimento de malha federal.

Por fim, no BCC – INC, Mato Grosso é a unidade com maior frequência (12), ao passo que Acre, Ceará e Distrito Federal não são *benchmarks* para nenhuma das outras DMUs. Retoma-se com referência na tabela 16 que o Mato Grosso é o sexto Estado do país com o menor número de mortes em acidentes de trânsito nas rodovias federais. Esse fato pode ter contribuído para sua alta frequência como *benchmark* para a maioria das unidades quando construído o índice do BCC – IND. A tabela 20 resume a frequência de aparecimento de cada DMU como *benchmark* dos Estados ineficientes. Já a tabela 21 apresenta a posição de cada um dos Estados para cada modelo após a aplicação do método de *benchmarking*.

Nota-se que há diferentes DMUs para as primeiras posições, conforme mudam as visões estratégicas e gerenciais para cada modelo DEA. No entanto, é possível verificar semelhanças

entre as posições das DMUs para os modelos BCC – IC e ERM. Isso ocorreu, pois, em ambas as ocasiões, pretende-se que haja uma redução de *inputs*, entretanto, o BCC – ICC garante uma redução concomitante, enquanto que o ERM permite com que cada uma dessas variáveis de entrada obtenha uma redução individualizada, a depender do que mais favorecerá o cálculo do índice para cada unidade. Com isso, observa-se que os três primeiros colocados são os mesmo para os dois modelos (Piauí, São Paulo e Mato Grosso) e que há uma pequena diferença para as demais posições. Para o BCC – IND, como a estratégia é de reduzir ao máximo o número de mortes, a despeito das demais variáveis de entrada envolvidas, o *ranking* mostrou-se diferente, com o primeiro lugar para o Mato Grosso, o segundo para São Paulo e o terceiro para o Piauí.

TABELA 20 – Frequência dos *benchmarks*

Estados Eficientes	BCC - IC	BCC - IND	ERM
Acre	-	-	-
Roraima	2	2	2
Amapá	5	11	4
Piauí	12	8	11
Ceará	5	-	-
Minas Gerais	3	2	2
Espírito Santo	6	2	6
São Paulo	9	11	10
Rio Grande do Sul	-	1	-
Mato Grosso do Sul	1	1	1
Mato Grosso	7	12	5
Distrito Federal	1	-	-
Sergipe	-	1	1

TABELA 21 – Posição dos Estados após aplicação do desempate pela análise de *benchmarks*

Estados Ineficientes	BCC - IC	BCC - IND	ERM
Piauí	1º	3º	1º
São Paulo	2º	2º	2º
Mato Grosso	3º	1º	3º
Espírito Santo	4º	4º	3º
Amapá	5º	2º	4º
Ceará	5º	6º	7º
Minas Gerais	6º	4º	5º
Roraima	7º	4º	5º
Mato Grosso do Sul	8º	5º	6º
Distrito Federal	8º	6º	7º
Acre	9º	6º	7º
Rio Grande do Sul	9º	5º	7º
Sergipe	9º	5º	6º

Novamente, cabe mencionar as possíveis distorções na análise de *benchmarks* devido à presença de *outliers*. A complexidade do contexto de segurança nas rodovias corrobora para que a presença de *outliers* esteja mascarando os reais resultados dos *benchmarks* entre as DMUs, o que dificulta uma avaliação adequada para que medidas práticas sejam tomadas de maneira eficiente. Nesse sentido, pesquisas futuras devem ser conduzidas para que uma avaliação de *benchmarks* entre os Estados brasileiros seja realizada de forma mais robusta.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo dessa pesquisa foi de obter um índice de segurança das rodovias federais por estado brasileiro. Para isso, a pesquisa foi dividida em duas etapas. Em um primeiro momento, foi necessário levantar os principais componentes do sistema de segurança rodoviário e, por conseguinte, as variáveis representativas desses componentes foram submetidas a correlações estatísticas e regressões lineares múltiplas, de forma que os resultados permitiram determinar o modelo adequado para determinação do índice. Em um segundo momento, a técnica DEA foi aplicada em três maneiras distintas: a) modelo BCC orientado aos *inputs* (BCC – IC); b) modelo ERM orientado aos *inputs* (ERM); e, por fim, c) modelo BCC orientado aos *inputs* com a variável de *input* “investimentos” fixada como *input* não discricionário (BCC – IND).

Os Estados que obtiveram índice máximo foram os mesmos para os três modelos, sendo eles: Espírito Santo, Mato Grosso, Piauí, Minas Gerais, Rio Grande do Sul, Acre, Ceará, São Paulo, Roraima, Sergipe, Amapá, Mato Grosso do Sul e Distrito Federal. Dentre esses, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Ceará, Sergipe, Piauí, Espírito Santo e Distrito Federal estão entre os 10 Estados brasileiros cujas rodovias federais receberam os menores valores de investimentos em infraestrutura para o ano de 2016. Além disso, o Rio Grande do Sul, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Piauí são os Estados com menores índices de mortes em acidentes e com os menores comprimentos de rodovias federais. No entanto, com a indisponibilidade de dados referentes aos outros componentes do sistema rodoviário, não se pode identificar qual o real motivo dessas unidades terem apresentado índice máximo de segurança.

Quanto aos Estados que obtiveram baixos índices de segurança, as três aplicações da DEA resultaram em diferentes *rankings*, cujas análises puderam ser obtidas por diferentes visões de gerenciamento. O BCC – IC permitiu verificar o quanto uma unidade é capaz de ser segura, dado a quantidade de população e a densidade de malha rodoviária, a partir da redução concomitante das variáveis “óbitos” e “investimentos”. Nesse sentido, o Paraná apresentou-se como a pior unidade, seguido de Santa Catarina, Alagoas, Rio de Janeiro e Goiás. Cabe ressaltar que esse modelo considerou a possibilidade de folgas para os *inputs*, as quais podem ser consideradas um viés do modelo.

Já com o ERM foi possível analisar individualmente o potencial de redução das variáveis “óbitos” e “investimentos”. Com isso, foi possível notar estados com potencial para redução de mortes e, no entanto, ineficiente para reduzir os investimentos, como o Maranhão, por exemplo, além daqueles com o potencial em reduzir os investimentos, mas ineficientes em reduzir os óbitos, como Tocantins. Ainda, o *ranking* gerado com os resultados desse modelo trouxe mais uma vez o Paraná em último colocado, sendo o pior para reduzir os investimentos e, conseqüentemente, com o pior índice de segurança. Porém, os resultados dos índices individuais apontaram Alagoas como o Estado com o pior potencial em reduzir as mortes.

Por fim, o BCC – IND representou o máximo potencial de cada unidade em reduzir as mortes oriundas de acidentes em rodovias federais brasileiras mantendo-se os níveis de investimentos vigentes. Recomenda-se que esse índice seja utilizado quando, dentre todos os outros elementos envolvidos na segurança das rodovias, se prioriza ao máximo a redução de óbitos. Os resultados para esse modelo foram significativamente mais baixos comparados aos das duas primeiras soluções. À vista disso, pode-se concluir que a estratégia de concentrar os esforços na redução dos óbitos é algo que exige mais dos Estados do Brasil. Nesse sentido, mais uma vez o Paraná encontrou-se em último lugar do *ranking*, enfatizando que um dos principais motivos para o baixo índice de segurança das rodovias federais contidas no Estado é proveniente do baixo potencial em reduzir mortes.

As bases da PRF localizadas no Estado do Paraná registraram, em 2016, um total de 11032 ocorrências de acidentes, com vítimas fatais, vítimas feridas e sem vítimas. As principais causas dos acidentes registradas são inerentes ao comportamento do condutor, tais como dirigir embriagado; conduzir o veículo em uma velocidade incompatível com a pista; falta de atenção, resultando em colisões traseiras e saídas da pista; não guardar a distância de segurança recomendada pelo Código de Segurança de Trânsito; desobediência à sinalização e dormir durante a condução. Essas causas compõem 6921 ocorrências, representando mais de 62% do total de registros realizados pela PRF. Em uma menor proporção, foram registradas também causas mecânicas dos veículos (546 ocorrências), causas por problemas nas vias (70) e causas ambientais devido a atropelamento de animais (147). Com isso, nota-se que o principal problema do Paraná é relacionado ao comportamento do condutor, o que reforça a ideia de que as medidas de fiscalização e educativas devem ser fortalecidas pelo governo.

Essa pesquisa contribuiu com a apresentação de três diferentes índices de segurança de rodovias obtidos por meio de três visões de gerenciamento, possibilitando sugerir diretrizes

potenciais para a prevenção de acidentes em cada um dos casos. Ressalta-se que a escolha do melhor método é diretamente relacionada à estratégia a ser seguida pelo tomador de decisão. Com isso, deve-se delimitar, primeiramente, quais são os aspectos mais importantes e prioritários a serem levados em consideração. Recomenda-se que, para o Brasil, priorize-se a utilização do método apresentado pelo BCC – IND, uma vez que os resultados apresentaram-se relativamente mais baixos do que os demais modelos, apontando para a necessidade do país em tomar medidas que diminuam a quantidade de mortes em rodovias. Nesse caso, a continuidade e o acompanhamento desse índice se fazem importante para que políticas sejam corretamente endereçadas.

Essa pesquisa também contribuiu para o contexto apresentado pelo Estado da Arte. Verificou-se que muitos estudos empregaram as variáveis na DEA de forma equivocada, o que pode ter gerado resultados distorcidos. Um esquema do método foi apresentado, com o intuito de facilitar e auxiliar as pesquisas futuras a incorporarem as variáveis na ferramenta da maneira correta. Foi apresentada, também, uma maneira não convencional de utilizar a variável ambiental como *output*, mostrando que é possível e importante para os resultados fazer diferentes considerações para cada caso em estudo utilizando a ferramenta DEA. Convém citar, ainda, que não se verificou em outras pesquisas a construção de um índice de segurança que considerasse diferentes componentes do sistema de segurança rodoviário para as rodovias federais do Brasil, preenchendo, assim, essa lacuna na literatura.

É importante salientar que a indisponibilidade de dados foi um fator limitante para essa pesquisa em diferentes aspectos. Um deles recai no fato de que essa pesquisa ficou limitada a análise somente das rodovias federais do Brasil, excluindo as rodovias estaduais e as municipais. Ainda, não foi possível a consideração das rodovias que recebem recursos financeiros privados, visto que iria causar uma heterogeneidade muito grande na amostra. Por conseguinte, recomenda-se que pesquisas futuras considerem toda a malha rodoviária do Brasil, utilizando possíveis variáveis explicativas, com a finalidade de se caracterizar a insegurança das malhas rodoviárias brasileiras. Ademais, para auxiliar a caracterização da segurança, recomenda-se a utilização do índice Malmquist, o qual permitirá com que se verifique a evolução do índice de segurança ao longo do tempo.

Em segundo lugar, a indisponibilidade de dados tornou impossível incorporação de variáveis inerentes a outros elementos do sistema rodoviário. Dessa maneira, os índices de segurança obtidos não puderam ser concretamente avaliados no que tange a importantes componentes

relacionados à insegurança do trânsito, tais como os do âmbito humano/cultural, os veículos, meio ambiente, entre outros. Com isso, não foi possível recomendar, de modo específico, as diretrizes de prevenção dos acidentes àquelas unidades com pior colocação no *ranking*. Frisa-se, portanto, que pesquisas futuras obtenham o índice de segurança considerando essas variáveis.

Há que se mencionar como limitação, ainda, a não identificação dos possíveis *outliers* do *ranking*. O Piauí, por exemplo, pode ser um dos possíveis *outliers*, visto que o Estado apresentou 1501 ocorrências de acidentes registradas pela PRF. No entanto, a pesquisa considerou somente como variável “óbitos”, a qual possui somente 140 registros do total. Ou seja, o Estado ainda obteve 1361 ocorrências cujos valores não foram computados na DEA. Adicionalmente, o Piauí possui uma das piores estruturas viárias do país de acordo com o levantamento da CNT (2016), o que é um forte indício de que os veículos são conduzidos a velocidades mais baixas em suas rodovias. Isso pode explicar a baixa quantidade de acidentes com vítimas fatais e predominância de registros de acidentes com sobreviventes. Nesse sentido, é importante que pesquisas futuras utilizem métodos matemáticos os quais possibilitem discriminar os *outliers* da amostra em estudo.

REFERÊNCIAS

- ALPER, D. et al. Evaluating the efficiency of local municipalities in providing traffic safety using the data envelopment analysis. *Accident Analysis and Prevention*. v. 28, p. 39-50, 2015.
- ANDERSEN, P.; PETERSEN, N. C. A procedure for ranking efficient units in data envelopment analysis. *Management Science*. v. 39, n. 10, p. 1261-1264, 1993.
- ASSAILLY, J. P. Road safety education: What works? *Patient Education and Counseling*. v. 100, p. S24-S29, 2017.
- BASTOS, J. T. et al. Traffic fatality indicators in Brazil: State diagnosis based on data envelopment analysis research. *Accident Analysis and Prevention*. v. 81, p. 61-73, 2015.
- BANKER, R. D. et al. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management Science*. v. 30, n. 9, p. 1078-1092, 1984.
- BEHNOOD, H. R. et al. Road safety performance evaluation and policy making by data envelopment analysis: A case study of provincial data in Iran. *Scientia Iranica*. v. 21, n. 5, p. 1515-1528, 2014.
- BENER, A. et al. Driver sleepiness, fatigue, careless behavior and risk of motor vehicle crash and injury: Population based case and control study. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*. v. 4, n. 7, p. 496-502, 2017.
- BRASIL. Ministério dos Transportes. *Dados sobre a infraestrutura de todos os modos de transportes*. Disponível em: <
<http://www.transportes.gov.br/component/content/article.html?id=5110>> acesso em: 17 de out. 2018.
- CHEN, S. et al. Computer-aided analysis and evaluation on ramp spacing along urban expressways. *Transportation Research Part C*. v. 36, p. 381-391, 2013.
- CNT. Confederação Nacional de Transporte. *Relatório gerencial*. 20 ed. p. 402. 2016.
- COOK, W. D. et al. Prioritizing highway accident sites: A data envelopment analysis model. *Journal of the Operational Research and Society*. v. 52, p. 303-309, 2001.

COOPER, W. et al. *Data envelopment analysis: A comprehensive text with models, applications, references and DEA-solver software*. Nova Iorque: Springer, 2007.

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. *Terminologias rodoviárias usualmente utilizadas*. versão 1.1, 17 p., 2007. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/download/rodovias/rodovias-federais/terminologias-rodoviaras/terminologias-rodoviaras-versao-11.1.pdf>> acesso em: 20 de jun. 2018.

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. *Conheça o DNIT*. 2001. Disponível em: <<http://www1.dnit.gov.br/oque.htm>> acesso em: 20 de jun. de 2018.

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. *Estatísticas de acidentes*. 2010. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/rodovias/operacoes-rodoviaras/estatisticas-de-acidentes>> acesso em: 20 de jun. 2018.

ELVIK, R. Why some road safety problems are more difficult to solve than others. *Accident Analysis and Prevention*. v. 42, p. 1089-1096, 2010.

EGILMEZ, G.; McAVOY, D. Benchmarking road safety of U.S states: A DEA-based Malmquist productivity index approach. *Accident Analysis and Prevention*. v. 53, p. 55-64, 2013.

EMROUZNEJAD, A.; AMIN, G. DEA models for ratio data: Convexity consideration. *Applied Mathematical Modelling*. v. 33, n. 1, p. 486-498, 2009.

FARE, R. et al. Productivity changes in Swedish pharmacies 1980-1989: A non-parametric Malmquist approach. *Journal of Productivity analysis*. v. 3, p. 85-101, 1992.

GICHAGA, F. J. The impact of road improvements on road safety and related characteristics. *IATSS Research*. v. 40, p. 72-75, 2017.

GOLANY, B.; ROLL, Y. An application procedure for DEA. *Omega*. v. 17, n. 3, p. 237-250, 1989.

HERMANS, E. et al. Combining road safety information in a performance index. *Accident Analysis and Prevention*. v. 40, p. 1337-1344, 2008.

HERMANS, E. et al. Benchmarking road safety: Lessons to learn from a data envelopment analysis. *Accident Analysis and Prevention*. v. 41, p. 174-182, 2009.

HUGHES, B. P. et al. A comprehensive conceptual framework for road safety strategies. *Accident Analysis and Prevention*. v. 90, p. 13-28, 2016.

JAMROZ, K. et al. Tools for road infrastructure safety management: Polish Experiences. *Transportations Research Procedia*. v. 3, p. 730-739, 2014.

KANG, M.; MOMTAZ, S. U. Assessment of driver compliance on roadside safety signs with auditory warning sounds generated from pavement surface – a driving simulator study. *Journal of Traffic Transportation Engineering*. v. 5, n. 1, p. 1-13, 2018.

KELLE, P. et al. Highway improvement project selection by the joint consideration of cost-benefit and risk criteria. *Operational Research Society*. v. 64, p. 313-325, 2013.

KOORNSTRA, M. et al. Sunflower: A comparative study of the development of road safety in Sweden, in the United Kingdom and The Netherlands. SWOV Insitute for Road Safety Research, Leidschendam. 157 p., 2002. Disponível em: <http://ec.europa.eu/transport/roadsafety_library/publications/sunflower_report.pdf> acesso em 20 de jun. 2018.

LEVIN, J. Estatística aplicada a ciências humanas. 2ª ed. São Paulo: Harbra, 1987

LOVELL, C. A. K.; PASTOR, J. T. Radial DEA models without inputs or without outputs. *European Journal of Operational Research*. v. 118, p. 46-51, 1999.

LORD, D.; PERSAUD, B. N. Estimating the safety performance of urban road transportation networks. *Accident and Prevention Analysis*. v. 36, p. 609-620, 2004.

MARIANO, E. B. et al. Human development and data envelopment analysis: A structured literature review. *Omega*. v. 54, p. 33-49, 2015.

NOVOA, A. M. et al. Evidence-based effectiveness of road safety interventions: A literature review. *Gaceta Sanitaria*. v. 23, n. 6, p. 553, 2009.

ODECK, J. Identifying traffic safety best practice: An application of DEA and Malmquist indices. *Omega*, v. 34, p. 28-40, 2006.

ONSV. Observatório Nacional de Segurança Viária. *Sobre o observatório*. Disponível em: <<http://www.onsv.org.br/sobre-o-observatorio/>> acesso em: 04 de nov. 2018.

ORTIZ, N. C. et al. Distraction and road user behavior: An observational pilot study across intersections in Washington, D.C. *Journal of Transport & Health*. v. 7, p. 13-22, 2017.

PAKKAR, M. S. Using DEA and AHP for hierarchical structures of data. *Industrial Engineering and Management Systems*. v. 15, n. 1, p. 49-62, 2016.

PAL, D.; MILTRA, S. K. An application of the directional distance function with the number of accidents as an undesirable output to measure the technical efficiency of state road transport in India. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. v. 93, p. 1-12, 2016.

PERSIA, L. et al. Management of road infrastructure safety. *Transportation Research Procedia*. v. 14, p. 3436-3445, 2016.

PRF. Polícia Rodoviária Federal. *Sobre a PRF*. Disponível em: <<https://www.prf.gov.br/portal/acesso-a-informacao/duvidas-frequentes>> acesso em 14 de jul. 2018.

ROSIĆ, M. et al. Method for selection of optimal road safety composite index with examples from DEA and TOPSIS method. *Accident Analysis and Prevention*. v. 98, p. 277-286, 2017.

SADEGHI, A. et al. Identification and prioritizing of hazardous road locations by segmentation and data envelopment analysis approach. *Traffic & Transportation*. v. 25, n. 2, p. 127-136, 2013.

SADEGHI, A.; MOGHADDAM, A. M. Uncertainty-based prioritization of road safety projects: An application of data envelopment analysis. *Transport Policy*. v. 52, p. 28-36, 2016.

SANCHEZ, I. M. Measuring the efficiency of local police force. *European Journal of Law and Economics*. v. 27, n. 1, p. 59-77.

SHEN, Y. et al. Modeling qualitative data in data envelopment analysis for composite indicators. *International Journal of Systems Assurance Engineering and Management*. v. 2, n. 1, p. 21-30, 2011a.

SHEN, Y. et al. A generalized multiple layer data envelopment analysis model for hierarchical structure assessment: A case study in road safety performance evaluation. *Expert Systems with Application*. v. 38, p. 15262-15272, 2011b.

SHEN, Y. et al. Road safety risk evaluation and target setting using data envelopment analysis and its extensions. *Accident Analysis and Prevention*. v. 48, p. 430-441, 2012.

SHEN, Y. et al. Data envelopment analysis for composite indicators: A multiple layer model. *Social Indicators Research*. v. 114, n. 2, p. 739-756, 2013a.

SHEN, Y. et al. Road safety development in Europe: A decade of changes (2001-2010). *Accident Analysis and Prevention*. v. 60, p. 85-94, 2013b.

SHEN, Y. et al. Serious injuries: An additional indicator to fatalities for road safety benchmarking. *Traffic Injury Prevention*. v. 16, n. 3, p. 246-253, 2015.

TEŠIĆ, M. et al. Identifying the most significant indicators of the total road safety performance index. *Accident Analysis and Prevention*. v. 113, p. 263-278, 2018.

TIGHT, M. et al. Casualty reduction or danger reduction: conflicting approaches or means to achieve the same ends? *Transport Policy*. v. 5, p. 185-192, 1998.

TISCA, I. A. et al. Issues concerning the road safety concept. *Procedia Economics and Finance*. v. 39, p. 441-445, 2016.

THOMPSON, R. G. et al. Comparative site evaluations for locating a high-energy physics lab in Texas. *Interfaces*. v. 16, n. 6, p. 35-49, 1986.

VRANES, A. J. et al. Road traffic safety as public health problem: Evidence from Serbia. *Journal of Transportation & Health*. v. 8, p. 55-62, 2018.

WHO. World Health Organization. *Decade of action for road safety 2011-2020 seeks to save millions of lives*. Disponível em: <http://www.who.int/roadsafety/decade_of_action/en/> acesso em 13 nov. 2017.

WHO. World Health Organization. *Global Plan for the Decade of Action for Road Safety 2011-2020*. Disponível em: <http://www.who.int/roadsafety/decade_of_action/plan/plan_english.pdf> acesso em 02 de jul. 2018.

ZHANG et al. Study on sustainable development of highway traffic in China. *Applied Mechanics and Materials*. v. 380-384, p. 4628-4631, 2013.

APÊNDICE A

Componentes envolvidos em questões de segurança rodoviária, levantados por Hughes et al., (2016).

<i>Componente</i>	<i>Descrição dos subcomponentes</i>
Contexto dos transportes e uso do solo	Alternativas de transportes, outros modos, empresas de operação Arranjo do espaço, co-localização Acessibilidade, locação, níveis de serviços Integração dos meios de transportes
Contexto econômico	Economia, finanças, financiamento População, estrutura de emprego Meio-ambiente, energia, mudança climática, regulamentações jurídicas, responsabilidade, confidencialidade, segurador, tribunais, emendas
Contexto social	Políticas e instituições governamentais Legislações, funções e respostas Normas sociais, proteção, histórico, tradições e ritos Práticas étnicas Crenças espirituais Alfabetização, intelecto, educação Trabalho - práticas, demandas e restrições Atividades e motivos de viagem
Meio ambiente	Luz natural, amanhecer, anoitecer, noite, sol Tempo e condições atmosféricas - chuva, neblina, neve, fumaça, vento e temperatura Entorno - topografia, árvores, gramado, água Vida selvagem
Humano	Condutor, passageiro, testemunhas, conhecido, ocupante, operários na rodovia Idade e sexo Influências negativas - álcool, drogas, medicamentos, monóxido de carbono, sonolência, dormir, invalidez/deficiência (convulsões, dores, apagões, dificuldades com aprendizagem), fadiga Processo de dirigir - estratégias, táticas, percepção, atenção, reação, distração, erros, correções, tempo de resposta aos incidentes e condições Habilidades - físico, visão, audição, estado mental, ferimentos, doenças/enfermidades, deficiências, saúde Capacidade - natural, adquirida, aptidão, inteligência, educação, experiência Atitude, motivação, conduta, emoção, estado psicológico, comportamento Tempo (dia, semana, mês, temporada, tipo de viagem)

	Capacitação - licença, restrições Capacetes, vestimentas e outros tipos de proteção Vestimentas - visibilidade, proteção, interferência
	Tipo - carro, caminhão, <i>trailer</i>, motocicleta/motos, bicicleta, ônibus, máquinas, outros.
	<i>Design</i> - padrão, manutenção, danos, modificações, inspeções Pneus/rodas - tamanho, tipo, piso do pneu, pressão, condições, corrente Freios Controles - volante, pedais, eixos, trocas Massa e tipo Cinto de segurança, equipamentos para crianças, outras proteções Luzes - externas, internas, tipo, cores, refletores Carga - tipo, características, massa, peso, forma, periculosidade Estrutura - aço, portas, painéis, elementos de segurança, resistência à colisão, acessórios, espelhos, suportes, inflamabilidade Suspensão Motor, transmissão, tipo de combustível Componentes elétricos, circuitos Cores Vidro - tipo, cor Movimento - velocidade, direção, ângulo, aceleração, acostamento, desaceleração, curvas, ultrapassagem, retornos, força, vibração Líquidos e fluídos
Veículos	Tipo de impacto - velocidade, ângulo, dimensões físicas Segurança ativa e outras tecnologias - freios antitravamento, controle de estabilidade eletrônica, piloto automático, controle de velocidade, etc.
	Superfície - atrito, cor, suavidade, fissuras, rebordos, acostamentos, estrada sem pavimentação, buracos, asfalto de concreto, pavimentação, boca de lobo, drenagem, manutenção, ciclovia, drenagem, pedregulho, vazamentos/derramamento/descarga, trilhas (molhada, seca, com neve, gelo, outros)
Infraestrutura da rodovia	Geometria - alinhamento geométrico, curvas, cristas, declive, horizontalidade, faixas, inclinação transversal, dimensões físicas, faixa dupla, faixa de ultrapassagem, mediana Sinalização, regulamentação, informações, sinalização horizontal, limite de velocidade, refletores, cores, iluminação, refletividade, controle de acesso, <i>design do projeto</i>, faixas para ônibus, operações nas rodovias Iluminação - rodovias, elementos, vizinhança

	Obstáculos - pilares, valeta, berma, bueiros/galerias, barreiras de segurança, túneis, construções, passagens, árvores, pontos de ônibus Tipo de intersecção - intersecção, junções, rotatória, desnível entre vias, cruzamento com ferrovia, travessias, ilhas Tipo de rodovias - corredores, vias rápidas, ruas, estradas rurais, pontes, túneis Outros - entradas, carros parados/estacionados, ônibus parados/estacionados, iluminação, ofuscamento, destroços na rodovia, colisões traseiras prévias, desmoronamentos, locais de trabalho, proteções
	Manutenções Serviços de resgate e emergência
Resposta aos acidentes	Comunicação do acidente, gerenciamento do incidente Tratamentos de saúde - primeiros socorros, tratamentos de emergência, tratamentos dos ferimentos Reabilitação, assistência permanente, adaptação
	Gerenciamento de risco - identificação, avaliação, medidas, revisão Informações - pesquisa, dados, investigação, <i>benchmarking</i> Capacitação - habilidade, conhecimento, experiência (de todos os envolvidos)
Gerenciamento da segurança	Recursos - financeira, humano, de sistema, tecnologia Sistemas - processos, estruturas, procedimentos, padrões Integração - colaboração, coerência, sinergia, coordenação, otimização Implementação - diretrizes, planejamento, <i>design</i>, instalações, manutenção, monitoramento, revisão Comunicação - conteúdo, contato, suporte
	Cultura - atitudes, crenças, valores, comprometimento

APÊNDICE B

Diretrizes e medidas de segurança rodoviária, levantadas por Hughes et l., (2016).

<i>Diretrizes</i>	<i>Descrição/ o que está incluído</i>
	Aplicações de fundos para aumentar as instalações, serviços, bens e implementações
Financiamento e investimento	Compra de veículos, sistemas e equipamentos, ferramentas, investimentos em infraestrutura, entrega de serviços, implementações de equipes, engenharia de produção, manutenção e entrega do produto
	Contribuições voluntárias, pagamentos em espécie, prêmios para incentivos e boas práticas
	Desincentivos ou penalidades por descumprimentos
Incentivos financeiros, tarifas, subsídios	Impostos e cobranças para promover benefícios à segurança (por ex. imposto em bebidas alcoólicas)
	Descontos em seguros e registros, pagamentos a prestadores de serviços
Regulamentações, aplicação de leis, penalidades e sanções	Atividades para promover e aplicar a legislação
	Ordens, aplicação de leis, penalidades, sanções, aplicação de normas obrigatórias
	Encargos financeiros aplicados para desencorajar comportamentos ou práticas indesejáveis
Impostos, taxas, cobranças e encargos	Pagamentos por custos incorridos, taxas para encorajar mudanças de comportamentos, cobranças para custear diretrizes
	Área de trabalho, escritório, atividades relacionadas ao planejamento e entrega de políticas, programas e projetos para otimizar os resultados da segurança. Exclui entrega efetiva de alguma política
Liderança, integração, implementação e participação	Liderança: defesa, fazer campanha, informações sobre o histórico, planejamento estratégico, desenvolvimento, avaliação, seleção de diretrizes efetivas e eficientes, programas e projetos, fiscalização de resultados
	Implementação: planejamento, programação, tempo, avaliação de impacto
	Participação: diálogo com <i>stakeholders</i> , negociações, acordos e alianças
	Atividades que encorajem as pessoas a tomar atitudes seguras (talvez ligadas a subsídios e mecanismos de regulamentação)
Mudança de comportamento	Educação, informação, alertas, estímulo à racionalidade, informação individualizada, campanhas

Habilidades, competências, capacidades, práticas profissionais	Desenvolvimento da capacidade pessoal, competência e adequação para receber uma tarefa Treinamentos, experiência, conhecimento, competências médicas, adequações físicas e intelectuais para deveres
Padrões e guias	Aplicação de acordos (escritos) entre autoridades ou de referências no que diz respeito ao <i>design</i> e práticas Padrões formais e informais e guias para boas práticas Pode ser recomendado um máximo ou um mínimo como meta
Mudança na indústria, competição e escolhas do consumidor	Aplicação de estratégias que promovam vantagens ao mercado. Influências no mercado que propiciem resultados desejáveis Aumento de desempenho, baixos custos, serviços melhores, previsão de informações sobre mercado (preço, desempenho, quantidade)
Inovação e pesquisa	Investigação e desenvolvimento de novas informações relacionadas ao comportamento, prática, produto, ou operações e novas implantações para melhorar a aplicabilidade Pesquisas, testes, <i>trials</i> , avaliações, novas informações (específicas e gerais), melhoria contínua

APÊNDICE C

Variáveis *inputs* classificadas por dimensão.

Variáveis inputs	Dimensão
<i>investimento</i>	<i>Gerenciamento</i>
<i>nº de automóveis</i>	<i>Risco de exposição</i>
<i>nº de empregados</i>	<i>Risco de exposição</i>
<i>consumo de combustível</i>	<i>Efeito final indesejável</i>
<i>idade média da frota</i>	<i>Risco de exposição</i>
<i>nº de colisões</i>	<i>Efeito final indesejável</i>
<i>nº de óbitos</i>	<i>Efeito final indesejável</i>
<i>nº de lesionados graves</i>	<i>Efeito final indesejável</i>
<i>nº de lesionados leves</i>	<i>Efeito final indesejável</i>
<i>total de horas de ensino</i>	<i>Gerenciamento</i>
<i>nº de habitantes</i>	<i>Risco de exposição</i>
<i>passageiros-quilômetro viajado</i>	<i>Risco de exposição</i>
<i>nº de postos de fiscalização (por 100 Km)</i>	<i>Gerenciamento</i>
<i>nº de black spots (por 100 Km)</i>	<i>Risco de exposição</i>
<i>nº de câmeras de segurança (por 100 Km)</i>	<i>Gerenciamento</i>
<i>nº de postos de saúde (por 100 Km)</i>	<i>Gerenciamento</i>
<i>nº de postes de iluminação (por 100 Km)</i>	<i>Risco de exposição</i>
<i>nº de condutores legalmente registrados</i>	<i>Comportamento do usuário</i>
<i>veículos (por milhas viajadas)</i>	<i>Risco de exposição</i>
<i>nº de violações por falta do uso de sistema de proteção</i>	<i>Comportamento do usuário</i>
<i>comprimento da pista</i>	<i>Risco de exposição</i>
<i>condições da pista (avaliação)</i>	<i>Risco de exposição</i>
<i>raio de curvatura</i>	<i>Risco de exposição</i>
<i>raio tangente</i>	<i>Risco de exposição</i>
<i>índice de risco do acostamento</i>	<i>Risco de exposição</i>
<i>densidade da malha rodoviária</i>	<i>Risco de exposição</i>
<i>nº de locais sem passarelas</i>	<i>Risco de exposição</i>
<i>distância da pista até centro populacionais</i>	<i>Risco de exposição</i>
<i>% de condutores sob efeito do álcool</i>	<i>Comportamento do usuário</i>
<i>% de óbitos devido a álcool</i>	<i>Efeito final indesejável</i>
<i>velocidade média em trechos urbanos</i>	<i>Gerenciamento</i>
<i>velocidade média em trechos rurais</i>	<i>Gerenciamento</i>
<i>velocidade média em estrada</i>	<i>Gerenciamento</i>
<i>% de violação do limite de velocidade em trechos urbanos</i>	<i>Comportamento do usuário</i>
<i>% de violação do limite de velocidade em trechos rurais</i>	<i>Comportamento do usuário</i>

<i>% de violação do limite de velocidade em estradas</i>	<i>Comportamento do usuário</i>
<i>% de violação do uso de sistemas de proteção</i>	<i>Comportamento do usuário</i>
<i>% de condutores abaixo do limite de velocidade</i>	<i>Comportamento do usuário</i>
<i>% de condutores que utilizam cinto no banco da frente</i>	<i>Comportamento do usuário</i>
<i>% de veículos novos (com menos de 6 anos de fabricação)</i>	<i>Risco de exposição</i>
<i>% de gastos com saúde relativos ao PIB</i>	<i>Efeito final indesejável</i>

APÊNDICE D

Outputs utilizados em pesquisa de índice composto relativizado, classificados de acordo com a dimensão.

Variáveis	Dimensões
<i>nº óbitos</i>	<i>Efeito final indesejável</i>
<i>nº de lesionados sem especificação de gravidade</i>	<i>Efeito final indesejável</i>
<i>distância viajada por ônibus</i>	<i>Risco de exposição</i>
<i>distância viajada por passageiro</i>	<i>Risco de exposição</i>
<i>nº de passageiros transportados</i>	<i>Risco de exposição</i>
<i>lucro</i>	<i>Efeito final desejável</i>
<i>nº de colisões</i>	<i>Efeito final indesejável</i>
<i>% de óbitos devido a álcool</i>	<i>Efeito final indesejável</i>
<i>velocidade média em trechos urbanos</i>	<i>Gerenciamento</i>
<i>velocidade média em trechos rurais</i>	<i>Gerenciamento</i>
<i>velocidade média em estrada</i>	<i>Gerenciamento</i>
<i>% de violação do limite de velocidade em trecho não definido</i>	<i>Comportamento do usuário</i>
<i>% de violação do uso de sistemas de proteção</i>	<i>Comportamento do usuário</i>
<i>% de veículos novos</i>	<i>Risco de exposição</i>
<i>nº de carros privados</i>	<i>Risco de exposição</i>
<i>idade média da frota</i>	<i>Risco de exposição</i>
<i>nº de condutores envolvidos em acidentes por local de residência</i>	<i>Efeito final indesejável</i>
<i>nº de condutores envolvidos em acidentes por local do acidente</i>	<i>Efeito final indesejável</i>
<i>% de investimento</i>	<i>Gerenciamento</i>
<i>nº de violações</i>	<i>Comportamento do usuário</i>
<i>nº de violações por falta do uso de sistema de proteção</i>	<i>Comportamento do usuário</i>
<i>nº de lesionados graves</i>	<i>Efeito final indesejável</i>
<i>nº de lesionados leves</i>	<i>Efeito final indesejável</i>
<i>gastos com saúde devido aos acidentes</i>	<i>Efeito final indesejável</i>
<i>nº de pedestre envolvidos nos acidentes</i>	<i>Efeito final indesejável</i>
<i>óbitos por quantidade de veículo/Km viajado</i>	<i>Efeito final indesejável</i>
<i>óbitos por quantidade de Km de rodovia</i>	<i>Efeito final indesejável</i>
<i>probabilidade de acidentes</i>	<i>Efeito final indesejável</i>
<i>probabilidade de danos materiais em acidentes</i>	<i>Efeito final indesejável</i>
<i>probabilidade de acidentes por deslizamento de veículos</i>	<i>Efeito final indesejável</i>
<i>custo do acidente</i>	<i>Efeito final indesejável</i>
<i>estimativa de redução dos custo de acidentes</i>	<i>Efeito final desejável</i>
<i>óbitos por quantidade de habitantes</i>	<i>Efeito final indesejável</i>
<i>lesionados sem especificação de gravidade por quantidade de habitantes</i>	<i>Efeito final indesejável</i>

APÊNDICE E

Outputs utilizados em pesquisa de índice compostos, classificados de acordo com a dimensão.

Variáveis	Dimensões
<i>nº de óbitos</i>	<i>Efeito final indesejável</i>
<i>nº de lesionados graves</i>	<i>Efeito final indesejável</i>
<i>nº de habitantes</i>	<i>Efeito final indesejável</i>
<i>nº de veículos</i>	<i>Risco de exposição</i>
<i>óbitos por quantidade de habitantes</i>	<i>Efeito final indesejável</i>
<i>óbitos por quantidade de veículos</i>	<i>Efeito final indesejável</i>
<i>óbitos por quantidade de veículo/Km viajado</i>	<i>Efeito final indesejável</i>
<i>% de óbitos devido a álcool</i>	<i>Efeito final indesejável</i>
<i>% de violação devido a álcool</i>	<i>Comportamento do usuário</i>
<i>velocidade média em trechos urbanos</i>	<i>Gerenciamento</i>
<i>velocidade média em trechos rurais</i>	<i>Gerenciamento</i>
<i>velocidade média em estradas</i>	<i>Gerenciamento</i>
<i>% de violação do limite de velocidade em trechos urbanos</i>	<i>Comportamento do usuário</i>
<i>% de violação do limite de velocidade em trechos rurais</i>	<i>Comportamento do usuário</i>
<i>% de violação do limite de velocidade em estradas</i>	<i>Comportamento do usuário</i>
<i>% de violação do uso de sistemas de proteção</i>	<i>Comportamento do usuário</i>
<i>% de condutores com álcool abaixo do limite</i>	<i>Comportamento do usuário</i>
<i>% de condutores abaixo do limite de velocidade</i>	<i>Comportamento do usuário</i>
<i>% de condutores que utilizam cinto no banco da frente</i>	<i>Comportamento do usuário</i>
<i>densidade da malha rodoviária</i>	<i>Risco de exposição</i>
<i>% de gastos com saúde relativos ao PIB</i>	<i>Efeito final indesejável</i>