TRANSPORTES
revistatransportes.org.br
anpet
associação nacional de pesquisa e ensino em transportes
anpet.org.br

Estabelecimento de metas de redução de mortes no trânsito nos municípios brasileiros

Target setting for the reduction of road traffic deaths in Brazilian municipalities

Pedro Augusto Borges dos Santos[1], André Victor Igarashi[2], Francisco Vieira Garonce[3], Paulo Roberto Guimarães Júnior[4], Jorge Tiago Bastos[5]

[1]Universidade Federal do Paraná, Paraná – Brasil, pedroaugusto@ufpr.br
[2]Observatório Nacional de Segurança Viária, São Paulo – Brasil, andre.igarashi@onsv.org.br
[3]Observatório Nacional de Segurança Viária, São Paulo – Brasil, garonce@onsv.org.br
[4]Prefeitura de São José dos Campos, São Paulo – Brasil, paulo.guimaraes@sjc.sp.gov.br
[5]Universidade Federal do Paraná, Paraná – Brasil, jtbastos@ufpr.br

Recebido:
21 de outubro de 2021
Aceito para publicação:
25 de janeiro de 2022
Publicado:
25 de outubro de 2022
Editor de área:
Flávio Cunto

Palavras-chave:
Sinistros de trânsito.
Segurança viária.
Benchmarking.

Keywords:
Target setting.
Road safety.
Benchmarking.

DOI:10.14295/transportes.v30i3.2704

RESUMO

O estabelecimento de metas de redução de mortes no trânsito constitui-se de uma etapa fundamental do processo de gestão da segurança viária. O Plano Nacional de Redução de Mortes e Lesões no Trânsito (PNATRANS) estabelece metas de redução de mortes e lesões no trânsito, fixando reduções de 50% nos índices de mortes por 100 mil habitantes e mortes por 10 mil veículos, em um prazo de 10 anos. Porém não é abordado no documento como as metas estaduais e a meta nacional devem ser incorporadas pelos gestores dos municípios brasileiros de forma individualizada. Este trabalho tem como objetivo sugerir metas de redução de mortes no trânsito nos municípios brasileiros. A metodologia incluiu o emprego da Análise de Componentes Principais e a clusterização por *k-means* para o agrupamento de municípios segundo três categorias de indicadores referentes ao triênio 2017-2019: indicadores de resultado final, indicadores de resultado intermediário e indicadores socioeconômicos. Esse processo resultou na formação de 77 agrupamentos de municípios, baseados em 12 variáveis, para os quais a meta individual foi estabelecida por meio da aplicação do ciclo de *benchmarking*. Como resultado, foram obtidas metas de redução de mortes no trânsito para cada município brasileiro, as quais, se acumuladas, resultaram em uma meta de redução nacional de 56%, valor similar ao preconizado pela Organização Mundial da Saúde no horizonte até 2030.

ABSTRACT

Establishing targets for reducing road traffic deaths is a fundamental step in the road safety management process. The National Plan for the Reduction of Traffic Deaths and Injuries (PNATRANS) sets targets for the reduction of traffic deaths and injuries, setting 50% reductions in death rates per 100,000 inhabitants and deaths per 10,000 vehicles, within 10 years. However it does not address how the state targets and the national target should be implemented by decision makers in Brazilian municipalities individually. This work aims to suggest targets for reducing traffic deaths in Brazilian municipalities. The methodology included the application of Principal Component Analysis and k-means clustering in order to group municipalities according to three categories of indicators for the 2017-2019 three-year period: final outcome indicators, intermediate outcome indicators and socioeconomic indicators. This process resulted in the creation of 77 groups of municipalities, based on 12 variables, for which the individual goal was established through the application of the benchmarking cycle. As a result, targets for the reduction of traffic deaths were obtained for each Brazilian municipality, which resulted in an accumulated national reduction target of 56%, a similar value compared to the World Health Organization recommendation in the horizon until 2030.

OPEN ACCESS
CC BY

1. INTRODUCÃO

Em março de 2010 foi proclamada pela Assembleia Geral da Organização das Nações Unidas (ONU) a Década de Ação de Segurança no Trânsito entre 2011 e 2020, ocasião em que se estabeleceu uma meta global de redução pela metade de mortes no trânsito que teve prazo para seu cumprimento até o fim de 2020. Neste mesmo ano, os compromissos de redução da mortalidade no trânsito em nível mundial foram retomados por meio da Declaração de Estocolmo, em que foi estabelecida nova meta global de redução de 50% no número de mortos e feridos no trânsito no prazo compreendido entre 2021 e 2030 (WHO, 2011; 2020). A redução pela metade do número de mortes e feridos em sinistros de trânsito entre 2021 e 2030 representa, aproximadamente, um valor absoluto de 650 mil mortos e feridos em todo o mundo (WHO, 2021). O sucesso no cumprimento da meta global depende da sua implementação pelas diferentes nações, as quais devem construir seus planos de ações para que o objetivo de salvar vidas seja alcançado - um desafio, especialmente, para países de baixa e média renda (Bliss e Breen, 2012). A definição de uma meta de redução do número de mortes no trânsito pode ser entendida como um passo inicial importante no processo de gestão da segurança viária (Allsop, Sze e Wong, 2011; Bastos, 2014) e deve considerar as particularidades de cada local.

No Brasil, o Plano Nacional de Redução de Mortes e Lesões no Trânsito (PNATRANS), estabelecido pela Lei Federal nº 13.614/18 já na proximidade do fim da primeira Década de Ação de Segurança no Trânsito, contém metas de redução da mortalidade no trânsito para as unidades da federação e para o país como um todo, considerando um prazo entre 2019 e 2028 (Brasil, 2018). Em setembro de 2021, houve uma revisão do PNATRANS, na qual se incluiu a extensão do prazo das metas de redução para 2030, assim como a modificação de seus pilares de ação (Ministério da Infraestrutura, 2021). Essa meta de redução é baseada em dois índices: mortes por 100 mil habitantes e mortes por 10 mil veículos.

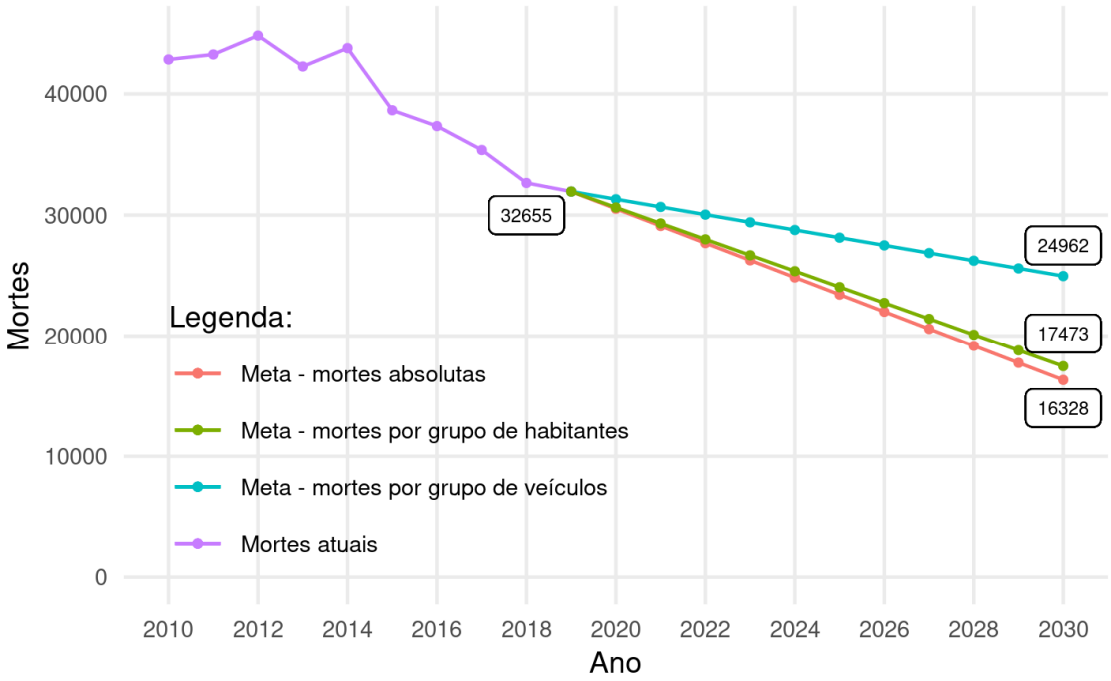


Figura 1. Metas de redução com base no número absoluto de mortes, mortes por grupo de habitantes e mortes por grupo de veículos. Fonte: Baseado em Ministério da Saúde (2020a; 2020b) e DENATRAN (2020).

Porém, ao estabelecer metas de redução com base em índices, a real evolução do número absoluto de mortes no trânsito acaba sendo ocultada, não sendo esta uma prática ideal (Wegman, 2016). Dessa forma, a redução pela metade do índice de mortes por grupo de veículos não necessariamente representa uma evolução positiva da segurança viária, pois mesmo com o aumento do número de mortes, se o aumento na frota for proporcionalmente maior, será verificada redução no valor deste indicador. Essa mesma situação pode ocorrer ao utilizar o índice de mortes por grupo de habitantes. Como exemplo desse viés, utilizando o ano de 2018 como referência, a redução do índice de mortes por grupo de veículos pela metade em 2030 implicaria em uma redução de apenas 24% no número absoluto de mortes (considerando um crescimento linear na frota de veículos entre 2020 e 2030). Utilizando o ano de 2018 como referência, a redução do índice de mortes por grupo de habitantes pela metade em 2030 implicaria em uma redução de 47% das mortes absolutas (considerando a população projetada pelo IBGE). Estes cenários estão ilustrados no gráfico da Figura 1.

É importante também considerar que metas em nível nacional ou estadual podem ser difíceis de serem gerenciadas, pois dependem da atuação institucional em diferentes esferas, em geral, com restrições quanto às respectivas jurisdições. Uma meta no âmbito estadual, por exemplo, pode ser constituída, porém necessita ser transmitida e assimilada pelos gestores dos diversos municípios que compõem a unidade da federação. Adicionalmente, é necessário considerar que a gestão do trânsito nas vias municipais, onde ocorre grande parte da movimentação diária de pessoas, é uma atribuição essencialmente do poder público municipal (DENATRAN, 2000). Há ainda diferenças socioeconômicas entre os municípios de um mesmo estado ou país, o que pode trazer um desafio especialmente para municípios com características mais contrastantes ao buscar seguir uma meta geral de redução.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho é sugerir metas de redução de mortes no trânsito por município brasileiro, buscando uma solução mais adequada aos contrastes regionais em comparação com as metas estabelecidas tanto pelo Plano Nacional de Redução de Mortes e Lesões no Trânsito (PNATRANS) quanto pela Organização Mundial da Saúde.

2. METAS DE REDUÇÃO DA MORTALIDADE NO TRÂNSITO

A definição de metas quantitativas em prol da segurança viária faz parte de um conjunto de objetivos estabelecidos dentro de um processo de gestão da segurança viária, em que se assume um compromisso de execução em um determinado horizonte de tempo. O estabelecimento de metas proporciona uma diretriz para os programas de melhoria na segurança viária de um determinado local, manifestando certo nível de comprometimento e responsabilidade por parte dos gestores e criando um senso de motivação (European Road Safety Observatory, 2018). A divulgação clara e objetiva sobre os problemas de segurança viária em um local é considerada como um fator positivo desse processo, contribuindo diretamente com a redução dos fatores de risco no trânsito (Wong *et al*., 2006).

Uma forma de classificação das metas de redução se dá pelo tipo de indicador a que estão relacionadas, conforme: metas de resultado final, metas de resultado intermediário e metas de desempenho institucional (European Road Safety Observatory, 2018). As metas de resultado final envolvem os indicadores de mortes, ferimentos e sinistros no trânsito. Esses resultados finais podem ser em valores absolutos (a forma mais utilizada) ou em taxas, tais como as taxas de mortes por grupo de habitantes, por grupo de veículos ou por quantidade de quilômetros percorridos. As metas de resultado intermediário envolvem a utilização de indicadores de

desempenho da segurança viária, cuja variação é capaz de afetar os indicadores de resultado final, tendo como exemplo indicadores de excesso de velocidade e a taxa de direção sob efeito álcool. Por fim, as metas de desempenho institucional buscam medir as condições de monitoramento e coleta de informações relacionadas à gestão da segurança viária. Tem-se como exemplo a quantidade de fiscalizações executadas em relação ao uso do telefone celular, ao excesso de velocidade, entre outros fatores de risco.

Outra classificação possível de metas de redução é a divisão entre categorias que definem o seu processo de criação: metas *top down* ou *bottom up*. Uma meta *top down* é criada com base em uma taxa arbitrária de redução a partir dos números atuais de interesse. Ela tem como exemplo a Década Mundial de Ação - redução de 50%, o PNATRANS - redução de 50% (Ministério da Infraestrutura, 2021) e o programa Visão Zero (European Commission, 2019), em que é prevista uma redução de 100%. Uma meta *bottom up* é criada a partir de um valor quantitativo final, com base em métodos estatísticos e em processos comparativos, como o *benchmarking* (Hermans *et al.*, 2009; PIARC, 2021). Independentemente do tipo de meta estabelecida, é importante que haja um sistema de acompanhamento dessas metas e que elas sejam quantitativas e mensuráveis (Wong *et al.*, 2006).

Shen *et al.* (2015) discorreram sobre o processo de *benchmarking*, o qual pode ser utilizado como um método para a criação de metas de redução. De acordo com os autores, essa é uma prática que consiste em medir um processo em uma entidade e compará-lo ao processo de outra entidade, a fim de medir comparativamente sua qualidade e a diferença entre ambos. No contexto da segurança viária, os gestores de um local podem utilizar esse método para comparar as condições de segurança com outros locais de características similares, assim estabelecendo uma referência a ser seguida. O processo de *benchmarking* na segurança viária pode ser decomposto em cinco passos principais para sua execução: (i) definição dos indicadores a serem medidos, (ii) identificação e seleção dos elementos dessa comparação, (iii) construção de indicadores de comparação, (iv) análise das diferenças e (v) estabelecimento da meta de redução. Esses passos estão representados na Figura 2.

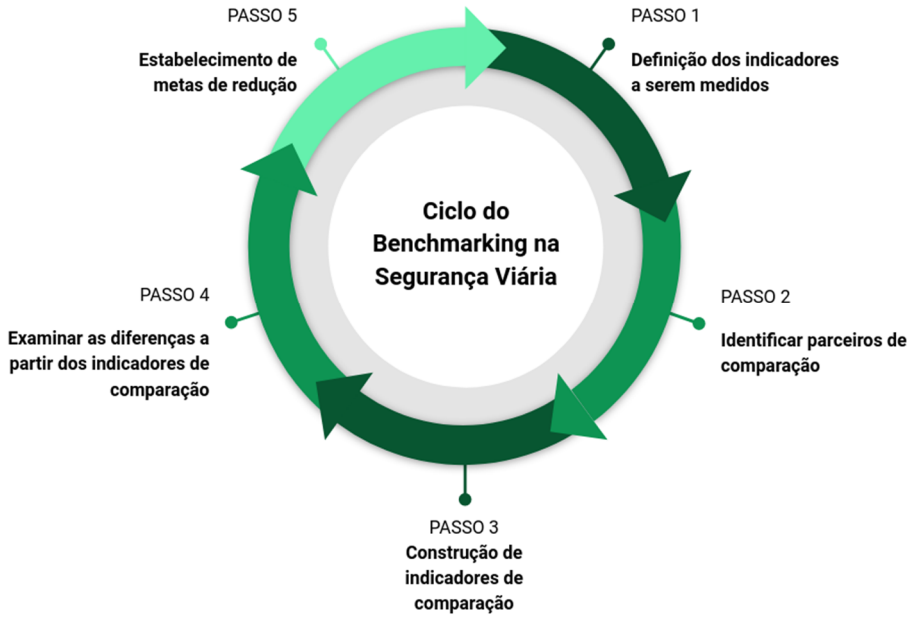


Figura 2. Ciclo do *benchmarking* na segurança viária. Fonte: Baseado em Shen *et al.* (2015)

No caso de uma meta de redução de mortes no trânsito, os indicadores mais comuns a serem medidos em um *benchmarking* são os relacionados aos resultados finais, como indicadores associados à morbimortalidade (Shen *et al.,* 2015). Com vistas à significância dos resultados desse processo e à possível heterogeneidade das entidades comparadas, é importante que as entidades (neste caso, os municípios brasileiros) selecionadas sejam agrupadas de acordo com características similares de desenvolvimento e motorização. A construção de indicadores de comparação deve considerar o nível de exposição às mortes no trânsito. Deve-se evitar a comparação entre números de mortes absolutos. O estabelecimento de índices como o de mortalidade (mortes por 100.000 habitantes), fatalidade (mortes por 10.000 veículos) ou a taxa de mortes por milhão de quilômetros percorridos é uma prática mais recomendada no processo de comparação (Shen *et al.,* 2015).

A análise da diferença entre os indicadores pode ser executada por meio de uma simples comparação de grandeza ou por meio de métodos estatísticos mais complexos que funcionam como um medidor de performance, que é o caso da Análise por Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis - DEA)* (Hermans *et al.*, 2009; Shen, Hermans *et al.,* 2012; Bastos, 2014; Nikolaou e Dimitriou, 2018). Com a utilização do método DEA, Hermans *et al.* (2009) executaram um *benchmarking* entre 21 países da União Europeia, estabelecendo como base de comparação indicadores de desempenho da segurança viária em seis categorias (Uso de álcool e outras drogas; velocidade; sistemas de proteção; veículos; infraestrutura e; atendimento às vítimas) e indicadores de resultados finais: quantidade de sinistros de trânsito e quantidade de óbitos em sinistros de trânsito. Shen, Hermans *et al*. (2012) calcularam metas de redução de óbitos para os países da União Europeia, utilizando o método DEA para comparar a performance entre 27 países que foram divididos em cinco *clusters* pelo processo de clusterização hierárquica, assim executando uma comparação coerente que leva em consideração as características de cada local. Como base de comparação, utilizou-se taxas de óbitos por quantidade de habitantes, quantidade de veículos e quantidade de quilômetros percorridos por veículos. Nikolaou e Dimitriou (2018) aplicaram o DEA em um *benchmarking* entre 23 países da União Europeia com base em indicadores de desempenho da segurança e indicadores socioeconômicos, dividindo-os em 4 *clusters* hierárquicos.

No Brasil, Bastos (2014) aplicou a mesma técnica para as unidades da federação. O autor utilizou o método de clusterização hierárquica que dividiu os estados brasileiros em três grupos com características similares em relação ao desenvolvimento socioeconômico e nível de segurança. Em outros trabalhos referentes às metas de redução, o mesmo processo de clusterização dos estados brasileiros foi replicado por Bastos, Orellana *et al*. (2016) e Bastos, Suguinoshita *et al.* (2016). No primeiro trabalho foram estabelecidas metas para a redução de óbitos de motociclistas em cada unidade da federação do Brasil, partindo para uma comparação direta entre as taxas de mortes por 100 mil habitantes, 10 mil veículos e por milhão de quilômetros percorridos. Esse mesmo processo comparativo foi aplicado no segundo trabalho, com as mesmas grandezas de exposição, considerando os óbitos no trânsito em geral.

3. MÉTODO

O método proposto neste trabalho consistiu em um exercício de *benchmarking* aplicado aos municípios brasileiros, baseado nos passos descritos por Shen *et al.* (2015) e nos procedimentos de cálculo utilizados por Bastos, Suguinoshita *et al.* (2016).

Na primeira etapa do método, os indicadores selecionados para a comparação entre os municípios foram as taxas de mortes por 100 mil habitantes e mortes por 10 mil veículos.

Na segunda etapa do processo de *benchmarking*, foi necessário escolher os municípios a serem utilizados como referência nessas comparações. O estabelecimento de metas de redução dos municípios necessitou de uma divisão em grupos distintos - uma clusterização - considerando as condições e características em comum entre esses municípios. Para essa divisão em grupos foram considerados três critérios: (i) nível de desempenho dos municípios (bom, médio ou ruim); (ii) grupo de indicadores (resultado final, resultado intermediário e condições socioeconômicas); e (iii) porte dos municípios (menor porte: < 20 mil habitantes, médio porte: entre 20 e 100 mil habitantes, maior porte: > 100 mil habitantes). Utilizou-se 12 indicadores para a clusterização de 5.570 municípios brasileiros (Tabela 1), divididos em três grupos: indicadores de resultados finais, de resultados intermediários e de condições socioeconômicas. Antes da clusterização, foi aplicada a técnica de análise de componentes principais (*Principal Component Analysis* - PCA) a fim de reduzir a dimensionalidade do conjunto de indicadores utilizados.

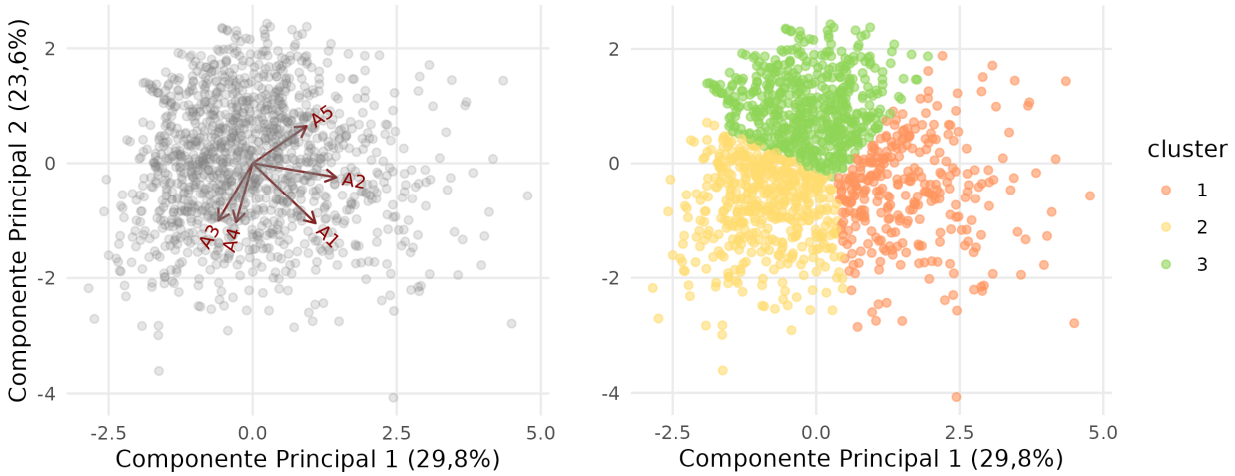
Tabela 1 - Descrição dos indicadores utilizados

Grupo	Indicador	Período	Fonte
Indicadores de resultado final	Taxa média de mortes por 100.000 habitantes	2017 a 2019	Ministério da Saúde (2020a; 2020b)
	Taxa média de mortes por 10.000 veículos	2017 a 2019	Ministério da Saúde (2020a); DENATRAN (2020)
	Proporção média de mortes de pedestres	2017 a 2019	Ministério da Saúde (2020a)
	Proporção média de mortes de ciclistas	2017 a 2019	Ministério da Saúde (2020a)
	Proporção média de mortes de motociclistas	2017 a 2019	Ministério da Saúde (2020a)
Indicadores de resultado intermediário	Idade média da frota	2019	DENATRAN (2020)
	Proporção de motocicletas na frota	2019	DENATRAN (2020)
	Taxa de leitos de internação por 100.000 habitantes	2019	Ministério da Saúde (2020b; 2021)
	Taxa de profissionais da saúde por 100.000 habitantes	2019	Ministério da Saúde (2020b; 2021)
Indicadores socioeconômicos	Quantidade de veículos por 1.000 habitantes	2019	DENATRAN (2020); Ministério da Saúde (2020b)
	PIB per capita	2018	IBGE (2020); Ministério da Saúde (2020a)
	IDHM	2010	Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil (2020)

A PCA é utilizada para reduzir a dimensionalidade de um conjunto de variáveis, criando novas variáveis, nomeadas componentes principais (*Principal Components* - PC). Esse método busca criar PCs que representem uma parte significativa da variância das variáveis originais, na tentativa de representar o comportamento original desse conjunto de dados (Abdi e Williams, 2010). A PCA é um método não-supervisionado de análise de um conjunto de dados que busca representar conjuntos de alta dimensionalidade utilizando componentes com a maior quantidade de informação (variância) possível da amostra original (James *et al*., 2021). A aplicação de PCA para análise de indicadores do desempenho da segurança viária mostrou-se uma estratégia consolidada na literatura especializada, com exemplos de aplicação em Al-Haji (2007), Wegmen *et al.* (2008), Wegman e Oppe (2010), Gitelman, Auerbach e Doveh (2013) e Chen *et al.* (2016).

O método foi aplicado aos três grupos de indicadores e três grupos de porte de forma individualizada (9 aplicações), com objetivo de reduzir as análises para duas variáveis, assim simplificando a análise de dados e possibilitando visualização dos *clusters* em duas dimensões. Utilizando os componentes principais como dados de entrada, a clusterização foi efetuada pelo método k-*means*: um algoritmo em que o usuário escolhe a quantidade de grupos a serem criados (número *k*). Nesse caso, o valor de *k* escolhido foi 3, representando três níveis de desempenho (bom, médio ou ruim). Assim, por meio da aplicação do algoritmo, as variáveis foram divididas em grupos sem sobreposição a partir de um centróide que melhor representa cada grupo. Para cada iteração do método é possível calcular o seu escore, que varia de 0 a 1. Quanto maior a quantidade de grupos formados e menor a quantidade de variáveis, mais preciso é o resultado da aplicação do método (escore tende a 1) (James *et al.*, 2021; MacQueen, 1967).

Assim foram utilizados os PCs de cada cenário, possibilitando a visualização dos *clusters* em duas dimensões e melhorando a precisão obtida com a aplicação do método. A Figura 3 contém um exemplo do resultado da aplicação da metodologia aos municípios de médio porte considerando os indicadores de resultado final. No gráfico da esquerda é apresentado o resultado da aplicação da PCA.



A1 - Taxa média de mortes por 100.000 habitantes; A2 - Taxa média de mortes por 10.000 veículos;
A3 - Proporção média de mortes de pedestres; A4 - Proporção média de mortes de ciclistas;
A5 - Proporção média de mortes de motociclistas

Figura 3. PCA (a) e clusterização por k-*means* (b) nos indicadores de resultado final para municípios de médio porte

O primeiro componente principal para cada município (PC1), representado no eixo das abcissas, é uma combinação linear contendo a maior variância possível dos cinco indicadores de resultado final, assim, capturando a maior quantidade de informações. O PC1 representa 29,8% da variância (ou quantidade de informação) desse conjunto de indicadores. O segundo componente principal (PC2), representado no eixo das ordenadas, consiste em uma combinação linear com a maior quantidade de variância possível, porém, sem nenhuma correlação com o PC1, tendo em vista que PC1 e PC2 são ortogonais. O PC2 representa 23,6% da variância desse conjunto de indicadores. A quantidade máxima de componentes principais que podem ser criados corresponde à quantidade de variáveis dentro do conjunto em análise.

No presente trabalho, a fim de simplificar a análise de dados, optou-se por selecionar os dois PCs com a maior variância.

As siglas variando de A1 a A5, presentes no gráfico da esquerda na Figura 3, representam as variáveis de resultado final descritas na Tabela 1, na respectiva ordem. Cada ponto no gráfico representa um município. Após a definição dos componentes principais foi aplicado o método *k*-means para a criação de três clusters, como apresentado no gráfico da direita na Figura 3. Os vetores A1 até A5 no gráfico da esquerda representam o conjunto de indicadores de resultado final e sua relação com os componentes principais. Com a aplicação da clusterização, o *cluster* 3 apresentou o melhor desempenho de acordo com a posição dos vetores, seguido dos *clusters* 2 e 1. Todas as combinações possíveis desses critérios resultariam em 81 *clusters*. Porém, na prática, a aplicação de todos os critérios resultou em 77 *clusters*, pois quatro combinações apresentaram conjunto vazio de municípios.

No terceiro passo, a construção de indicadores de comparação consistiu na seleção dos municípios que se encontram na faixa dos 10% melhores desempenhos de resultado final. A seleção de 10% de cada cluster teve por intuito evitar o cálculo de uma meta muito ambiciosa para os demais municípios, algo que poderia ocorrer caso fosse selecionado apenas um município de referência. Calculou-se a média do índice de mortalidade e do índice de fatalidade para esses melhores 10% de cada cluster, resultando em 77 índices de mortalidade referência e 77 índices de fatalidade referência, um par para cada cluster. O critério utilizado para selecionar esse grupo de municípios em destaque foi o primeiro componente principal calculado com base nos indicadores de resultado final. Na Figura 4 é disponibilizado um resumo do processo de clusterização aplicado a fim de identificar os parceiros de comparação.

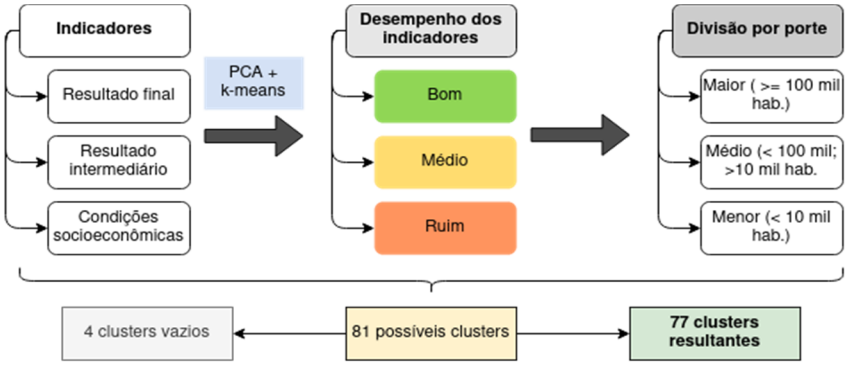


Figura 4. Criação dos clusters de análise

A criação dos *clusters* de análise possibilitou estabelecer níveis de prioridade para cada um. Dada a diversidade de situações encontradas nos mais de cinco mil municípios do país, a divisão em grupos é capaz de manifestar as diferenças mais marcantes entre as realidades municipais em termos dos indicadores do desempenho da segurança viária. Esses níveis de prioridades consistem nas combinações de três níveis (bom, médio, ruim) entre os três grupos de indicadores (resultado final, resultado intermediário, socioeconômicos), resultando em 27 níveis de prioridade.

Os níveis de prioridade em função dos indicadores estão ilustrados na matriz da Figura 5, em que a numeração das células representa cada nível. Como exemplo, os municípios que se encontram com indicadores de resultado final no nível "ruim", indicadores de resultado

intermediário no nível "ruim" e indicadores socioeconômicos no nível "bom" foram categorizados no nível 1 de prioridade, e assim sucessivamente. A aplicação desta matriz de prioridades deve ser realizada para cada divisão de porte separadamente.

		Indicadores de Resultado Final								
		Ruim			Médio			Bom		
		Indicadores de Resultado Intermediário			Indicadores de Resultado Intermediário			Indicadores de Resultado Intermediário		
		Ruim	Médio	Bom	Ruim	Médio	Bom	Ruim	Médio	Bom
Indicadores Socioeconômicos	Bom	1	4	7	10	13	16	19	22	25
	Médio	2	5	8	11	14	17	20	23	26
	Ruim	3	6	9	12	15	18	21	24	27

Figura 5. Níveis de prioridade

No caso dos indicadores de resultado final e resultado intermediário, o nível "ruim" representa a maior prioridade, pois identifica aqueles municípios brasileiros em que a mobilização em prol da segurança viária é mais urgente. No caso dos indicadores socioeconômicos, o nível "bom" representa a maior prioridade, pois identifica os municípios com maior potencial de mobilização (maior quantidade de recursos) em prol da segurança viária. Esta interpretação baseia-se na associação entre o desempenho socioeconômico e o nível de segurança viária encontrada na literatura internacional (Gaygisiz, 2009; Anwaar *et al.*, 2012; Yu *et al.*, 2015; Sun *et al.*, 2019), assim como em estudo considerando o cenário brasileiro (Bastos *et al.*, 2015). Dessa forma, é esperado que locais com indicadores socioeconômicos mais favoráveis apresentem menores taxas de mortalidade no trânsito e que estejam mais preparados para enfrentar este problema.

Com a clusterização completa e os indicadores de comparação definidos, o próximo passo consistiu em analisar as diferenças entre os indicadores dos municípios e os indicadores de referência. A meta do número absoluto de mortes de cada município se baseia em uma média das metas calculadas a partir do índice de mortalidade e do índice de fatalidade. A meta baseada no índice de mortalidade é calculada de acordo com a Equação 1:

$$mortes_{mi} = ind_m \times \frac{pop_i}{100.000}; \quad (1)$$

em que $mortes_{mi}$: meta de mortes do município *i* com base no índice de mortalidade *m*;
ind_m: índice de mortalidade utilizado como referência dentro do cluster;
pop_i: população residente no município *i.*

Aplicando o mesmo processo de cálculo para o índice de fatalidade, tem-se a Equação 2 de meta de mortes:

$$mortes_{fi} = ind_f \times \frac{frota_i}{10.000} \quad (2)$$

em que $mortes_{fi}$: meta de mortes do município *i* com base no índice de fatalidade *f*;
ind_f: índice de fatalidade utilizado como referência dentro do cluster;
$frota_i$: frota de veículos no município *i.*

Calculadas as duas metas, uma considerando a taxa de mortes por 100 mil habitantes e outra meta considerando a taxa de mortes por 10 mil veículos, é possível realizar o cálculo da meta

final. A meta final do *i*-ésimo município corresponde, portanto, à média das metas previamente descritas, representada na Equação 3 a seguir:

$$mortes_i = \frac{mortes_{mi} + mortes_{fi}}{2} \quad (3)$$

em que $mortes_i$: meta final de mortes do município *i*;
$mortes_{mi}$: meta de mortes do município *i* com base no índice de mortalidade *m*;
$mortes_{fi}$: meta de mortes do município *i* com base no índice de fatalidade *f*.

Com as diferenças analisadas, o último passo consistiu em calcular o valor da redução necessária no número absoluto de mortes para atingir a meta. O valor de referência para os indicadores associados à mortalidade no trânsito utilizados neste trabalho foi baseado na média dos valores de 2017, 2018 e 2019, a fim de minimizar o efeito de possíveis valores anuais atípicos. A meta de redução corresponde à variação entre a quantidade atual de mortes e a meta final de mortes, como descrito pela Equação 4:

$$meta_i = 100 \times \frac{mortes_i - mortes_{ai}}{mortes_{ai}}; \quad (4)$$

em que $meta_i$: meta de redução do município *i* [%];
$mortes_i$: meta final de mortes do município *i*;
$mortes_{ai}$: quantidade atual de mortes no município *i*.

Dos 5.570 municípios iniciais, 4.519 passaram por esse processo de cálculo, enquanto 508 dos municípios analisados não possuíam nenhum óbito relacionado ao trânsito no período de análise. Para esses locais não houve a necessidade e tampouco a possibilidade de estabelecer metas de redução.

Além disso, anteriormente ao processo de clusterização, foram removidos 543 municípios considerados como *outlier*. Para cada um dos 12 indicadores definidos, foram removidos os municípios que apresentaram valores *outliers* (acima ou abaixo de três desvios padrões da média, ou seja, um *z-score* acima de 3 ou abaixo de -3). Os indicadores que apresentaram a maior parcela de valores *outliers* foram a proporção média de mortes de ciclistas (para 2,29% dos municípios, com valores variando de 21 a 67%), a proporção média de mortes de pedestres (para 1,80% dos municípios, com valores variando de 47 a 96%) e a taxa média de mortes por 100.000 habitantes (para 1,56% dos municípios, com valores variando de 69 mortes por 100.000 habitantes a 283 mortes por 100.000 habitantes). A exclusão dos municípios *outliers* do processo de clusterização teve por objetivo favorecer a criação de *clusters* mais homogêneos, de modo a evitar diferenças acentuadas entre municípios pertencentes a cada um dos 81 possíveis *clusters*. Para estabelecer as metas de redução dos municípios *outliers*, foi calculada a meta de redução média de cada estado, baseada nos 4.519 municípios, de modo que se assumiu como meta de redução de cada município *outlier* a meta de redução média de seu próprio estado.

Nos *clusters* em que houve uma semelhança significativa entre os municípios devido a apresentarem valores próximos em relação aos indicadores utilizados na comparação, a meta de mortes resultou igual ao número atual de mortes, ou seja, meta de redução igual a zero (ausência de meta). A fim de contornar essa limitação da metodologia de benchmarking para o estabelecimento de metas (ausência de metas para as unidades geográficas com melhor desempenho), foi necessário estabelecer um método baseado nos 27 níveis de prioridades. Dos 4.519 municípios em que foram aplicados os cálculos, 3.685 resultaram em metas de redução. Dessas metas de redução calculadas, extraiu-se o valor da redução mínima e máxima.

A partir destes valores, foram criados 27 intervalos de metas de redução, um para cada nível de prioridade. Assim, a meta estabelecida para os municípios em que houve uma meta com valor igual ao valor de mortes atual foi calculado em função do nível de prioridade em que o município se encaixa. Dentro deste cenário, municípios que se encontram no primeiro nível de prioridade (nível 1 da Figura 5) tiveram suas metas de redução ($meta_i$) definidas como o valor mínimo (maior redução) encontrado no conjunto de 3.685 valores que resultaram em redução na amostra. Por outro lado, os municípios que se encontram no último nível de prioridade (nível 27) tiveram suas metas de redução definidas como o valor máximo encontrado no conjunto de resultados negativos do processo de *benchmarking.* Entre o primeiro e o último nível de prioridade, foi aplicado um aumento gradual entre o mínimo e o máximo de forma linear.

4. RESULTADOS

No período 2017-2019, a média anual de mortes no trânsito foi de 33.321, considerando o valor agregado dos 5.062 municípios brasileiros. A aplicação da metodologia proposta resultou em uma meta de redução acumulada dos municípios de -18.599 mortes no trânsito, resultando ainda em um número total de 14.772 mortes, ou seja, uma meta de redução total de -56%. Entre os 77 *clusters* estabelecidos, tem-se, em média, 169 municípios por *cluster*, sendo que o maior apresenta 431 municípios e o menor 20. Caso a meta de 14.772 seja projetada para o ano de 2030 e considerando as projeções de população e frota para 2030, atingir a meta significaria obter um índice de mortes por grupo de 100.000 habitantes igual a 6,6 e um índice de mortes por 10.000 veículos igual a 1,0.

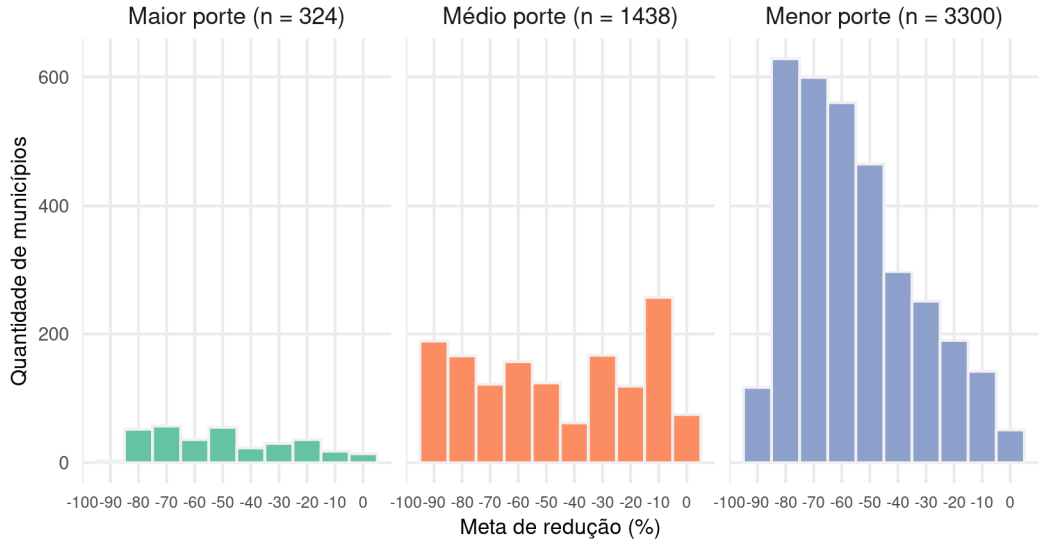


Figura 6. Distribuição das metas de redução por porte de município

No histograma da Figura 5 é apresentada a distribuição das metas de redução por porte de município. A redução média para os municípios de menor porte foi de -56%, para os de médio porte, foi -58%, e para os de maior porte, foi -53%. Entre os municípios de menor porte, a maioria apresenta metas de redução entre -85% e -45%. Entre os municípios de médio porte, a maioria apresenta metas de redução no intervalo entre -15% e -5%. A distribuição de metas de redução dos municípios de maior porte mostra uma uniformidade de valores entre os intervalos estabelecidos. A forma dos histogramas manifesta uma variação significativa na meta

de redução dos municípios brasileiros, inclusive entre os municípios que se encontram dentro da mesma categoria de porte. Essa variação nos resultados pode ser entendida como um reflexo da heterogeneidade dos municípios brasileiros e seus indicadores - aspecto que foi considerado ao efetuar a clusterização dos municípios.

As metas de redução por unidade da federação podem ser observadas na Figura 6. Os três estados com a maior meta de redução foram Roraima (-74%), Rondônia (-71%) e Sergipe (-68%). Os estados com a menor meta de redução foram Piauí (-37%), Amapá (-43%) e Pará (-45%). A linha tracejada representa a meta de redução para todo o Brasil (-56%), possibilitando observar quais estados apresentaram meta de redução acima ou abaixo da meta nacional de redução. Considerando as regiões do Brasil, tem-se as seguintes metas de redução média em ordem decrescente: Região Centro-oeste (-62%), Sul (-61%), Norte (-53%), Nordeste (-53%) e Sudeste (-52%).

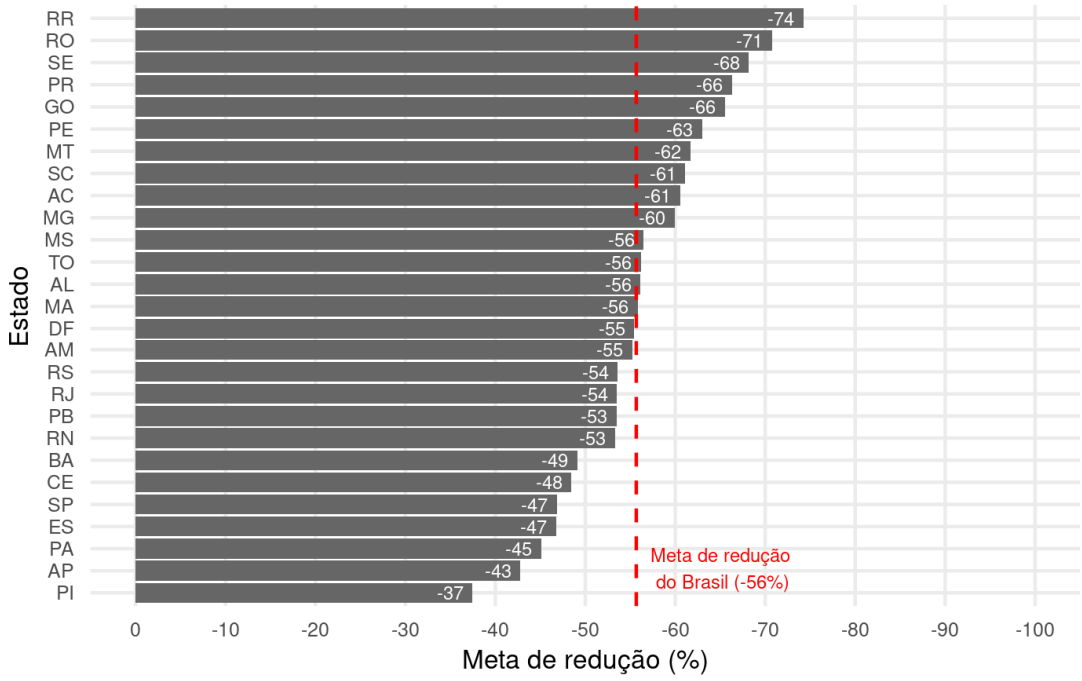


Figura 7. Distribuição das metas de redução por porte de município

É importante observar que os estados com as menores metas não representam aqueles com as melhores condições de segurança necessariamente. A magnitude da meta estabelecida é função de um potencial de redução de mortes no trânsito, considerando tanto o nível de desenvolvimento socioeconômico quanto a situação da mortalidade no trânsito. O inverso também pode ser válido: um estado com uma meta relativamente maior não é um reflexo direto de uma condição pior de segurança. Tal comportamento pode ser exemplificado ao observar o estado do Piauí, que apresenta a menor meta de redução entre os estados da Figura 7. De acordo com os resultados de Bastos (2014), o PI teve o pior desempenho de segurança viária entre os estados de seu *cluster* após realizar o processo de *benchmarking.*

A meta de -56% calculada para o Brasil como um todo é similar às metas de -50% estabelecidas pelo PNATRANS (Ministério da Infraestrutura, 2021) e pelas duas Décadas de Ação pela Segurança Viária (WHO, 2011; 2020). A partir do estabelecimento das metas de

redução, é necessário determinar um prazo de tempo para o cumprimento dessas metas. O estabelecimento de um horizonte de tempo com início e fim definidos serve de guia para o planejamento por parte das instituições responsáveis pela gestão da segurança viária. Ao analisar a eficácia do estabelecimento de metas para a redução de mortes e feridos no trânsito, Elvik (2001) concluiu que metas estabelecidas a longo prazo (com duração de 10 anos ou mais) são mais eficazes do que metas estabelecidas a curto prazo (com duração menor de 10 anos).

Porém é importante destacar que metas a longo prazo podem ser decompostas em prazos mais reduzidos, de um ou dois anos, auxiliando no processo de gestão para o cumprimento da meta original de maneira faseada (European Road Safety Observatory, 2018). Considerando as metas municipais calculadas no presente documento, que resultaram em uma redução nacional de -56%, é possível considerar um prazo de 10 anos para o seu cumprimento, em conformidade com a meta estabelecida pelo PNATRANS. O PNATRANS considera um período de 10 anos para o cumprimento de suas metas, e também contém a decomposição em prazos de 1 ano, para facilitar o acompanhamento do desempenho do Brasil e de seus estados no processo de redução das mortes.

5. CONCLUSÕES

A estimativa de metas de redução de mortes é um passo inicial importante no processo de gestão da segurança viária. A comparação do desempenho da segurança viária entre diferentes municipalidades por meio de um exercício de *benchmarking* associado a um procedimento de criação de *clusters* a partir de um conjunto de indicadores possibilitou obter metas de redução do número de mortes no trânsito para os municípios brasileiros. Esta metodologia permitiu levar em consideração as diferentes realidades locais no estabelecimento da meta, fazendo uso de um ambiente de comparação mais realista, o que, por sua vez, resulta também em uma meta mais realista. A grande quantidade de municípios e os contrastes regionais em termos dos indicadores utilizados demandam a aplicação de uma metodologia adequada a esta realidade. Em um balanço entre os interesses de considerar as particularidades dos municípios e ao mesmo tempo não tornar a metodologia muito complexa, percebeu-se a necessidade de lançar mão de procedimentos de remoção de municípios *outliers* do processo de clusterização, adotando uma meta correspondente à média estadual para estas localidades. Pesquisas futuras devem envolver o tratamento mais particularizado dos municípios *outliers*, buscando procedimentos alternativos caso a caso para a determinação da meta de redução de mortes no trânsito.

No total, tem-se uma meta de redução de -56% para todo o Brasil. Projetando a meta calculada para o ano de 2030, em índices de mortes por 100.000 habitantes (mortalidade) e por 10.000 veículos (fatalidade), tem-se os resultados de 6,6 e 1,0, respectivamente. A meta estabelecida pelo PNATRANS para o índice de mortalidade resulta em 7,8 mortes por 100.000 habitantes, e a meta estabelecida para o índice de fatalidade resulta em 1,6 mortes por 10.000 veículos. Essa diferença ilustra como o estabelecimento de metas baseadas em índices podem ocultar a evolução dos valores de mortes absolutas no trânsito, conforme indicado por Wegman (2016) e ilustrado na Figura 1.

Para que uma meta de redução seja aplicada de forma estratégica, há a necessidade de se criar um prazo. Estabelecendo um prazo de 10 anos, recomenda-se decompor essa meta em prazos mais curtos, assim auxiliando no monitoramento do cumprimento dessas metas. O PNATRANS (Ministério da Infraestrutura, 2021) estabelece um prazo de 10 anos e divide as

metas de redução em prazos de 1 ano, buscando um método de monitorar anualmente o rendimento dos estados brasileiros. Essa é uma prática indicada para auxiliar na gestão da meta (European Road Safety Observatory, 2018). Também se deve ter em mente uma meta contínua de redução total das mortes e da quantidade de ferimentos graves, a um prazo mais distante.

Ao considerar a heterogeneidade dos municípios brasileiros, fez-se possível a criação de metas que condizem com essa característica. O estabelecimento de metas municipais por si só não constitui garantia de seu cumprimento. Para que essas metas sejam efetivamente incorporadas pelos municípios, a política nacional de redução de mortes e lesões no trânsito, instrumentalizada pelo PNATRANS, ainda precisa ser aprimorada. A elaboração de um procedimento sistematizado de monitoramento e avaliação do desempenho da segurança viária é fundamental para que os municípios sejam orientados e incentivados a cumprirem as metas. Sistemas de bonificação ou penalização relacionados ao acesso a recursos federais, baseados em lei, são estratégias com potencial impacto no nível de comprometimento dos municípios em relação às metas estabelecidas. Uma medida similar já esteve presente na Política Nacional de Mobilidade Urbana (Brasil, 2012), prevendo que municípios que não cumprissem o prazo de criação do Plano de Mobilidade Urbana ficassem impedidos de receber recursos federais destinados à mobilidade urbana. O estabelecimento de metas de redução no nível municipal é um importante passo para o aprimoramento do PNATRANS como uma política fundamental para a gestão da segurança viária no Brasil (Ministério da Infraestrutura, 2021).

O método aplicado neste trabalho é um passo importante para investigar o nível da segurança viária nos municípios brasileiros, sendo um passo inicial para o estabelecimento de metas de redução de mortes no trânsito neste nível. A precisão dos cálculos aplicados depende diretamente da quantidade e da qualidade dos indicadores disponíveis no nível municipal. É importante utilizar diversos indicadores de exposição ao comparar diferentes localidades, como a quantidade de habitantes e veículos. Caso houvesse dados de quilômetros percorridos por veículos para cada município brasileiro, seria possível aprimorar o método com mais um indicador de comparação. É importante que haja uma revisão periódica dessas metas, com a aplicação de novos indicadores e a atualização de indicadores já utilizados. A aplicação de novos indicadores aprimora o processo de clusterização, assim criando metas de redução com uma melhor precisão. Futuras pesquisas devem testar outros métodos de comparação de desempenho entre municípios, como o DEA, e outras técnicas de clusterização, como a clusterização hierárquica.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Observatório Nacional de Segurança Viária pelo suporte financeiro para o desenvolvimento da pesquisa, por meio do Acordo de Parceria de PD&I junto à Universidade Federal do Paraná (Contrato 95/2020).

REFERÊNCIAS

Abdi, H. e Williams, L. J. (2010) Principal component analysis. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*, 2(4), p. 433–459. DOI: 10.1002/wics.101.

Al-Haji, G. (2007) *Road Safety Development Index (RSDI) - Theory, Philosophy and Practice.* Tese (doutorado). Linköping University. Linköping.

Allsop, R. E.; Sze, N. N. e Wong, S. C. (2011) An update on the association between setting quantified road safety targets and road fatality reduction. *Accident Analysis & Prevention*, v. 43(3), p. 1279–1283. DOI: 10.1016/j.aap.2011.01.010.

Anwaar, A. *et al.* (2012) Factors affecting highway safety, health care services, and motorization - an exploratory empirical analysis using aggregate Data. *Journal of Transportation Safety & Security*, v. 4, p. 94–115. DOI: 10.1080/19439962.2011.619372.

Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil (2020) AtlasBR - Consultas. Disponível em: <http://www.atlasbrasil.org.br/consulta> (acesso em: 03/01/2021).

Bastos, J. T. (2014) Análise Estratégica da Segurança Viária no Brasil: Pesquisa de índices e indicadores. Tese (doutorado). Universidade de São Paulo / Hasselt University. São Paulo.

Bastos, J. T. *et al.* (2015) Traffic fatality indicators in Brazil: State diagnosis based on data envelopment analysis research. *Accident Analysis & Prevention*, v. 81, p. 61–73. DOI: 10.1016/j.aap.2015.01.024.

Bastos, J. T.; Suguinoshita, M.C.; *et al.* (2016) Estimativa de Metas de Redução do Número de Mortes no Trânsito no Brasil. Em *Anais do XXX Congresso da Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes.* Rio de Janeiro: ANPET.

Bastos, J. T.; Orellana, J. P.; *et al.* (2016) Mortalidad de ocupantes de motocicleta en Brasil: diagnóstico y establecimiento de metas de reducción. Em *V Congreso Iberoamericano de Seguridad Vial.*

Bliss, T. e Breen, J. (2012) Meeting the management challenges of the Decade of Action for Road Safety. *IATSS Research*, v. 35(2), p. 48–55. DOI: 10.1016/j.iatssr.2011.12.001.

Brasil (2012) Lei nº 12.587, de 3 de janeiro de 2012. *Política Nacional de Mobilidade Urbana*. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12587.htm>.

Brasil (2018) Lei nº 13.614, de 11 de janeiro de 2018 - Cria o Plano Nacional de Redução de Mortes e Lesões no Trânsito (PNATRANS). Brasília: Presidência da República.

Chen, F. *et al.* (2016) Benchmarking road safety performance: Identifying a meaningful reference (best-in-class). *Accident Analysis & Prevention*, v. 86, p. 76–89. DOI: 10.1016/j.aap.2015.10.018.

DENATRAN (2000) Municipalização do trânsito - roteiro para aplicação. *Departamento Nacional de Trânsito - Ministério da Infraestrutura*. Disponível em: <http://www.destran.com.br/links/transito/legislacao_manual.pdf>.

DENATRAN (2020) Estatísticas - Frota de veículos. *Departamento Nacional de Trânsito - Ministério da Infraestrutura*. Disponível em: <https://www.infraestrutura.gov.br/component/content/article/115-portal-denatran/8552-estatísticas-frota-de-veículos-denatran.html>.

Elvik, R. (2001) *Quantified road safety targets: An assessment of evaluation methodology*. Oslo: Institute of Transport Economics - Norwegian Centre for Transport Research. Disponível em: <https://www.toi.no/publications/quantified-road-safety-targets-an-assessment-of-evaluation-methodology-article18040-29.html>.

European Commission (2019) *COMMISSION STAFF WORKING DOCUMENT - EU Road Safety Framework 2021 - 2030 - Next steps towards 'Vision Zero'*. DOI: 10.2832/391271

European Road Safety Observatory (2018) *Quantitative Road Safety Targets 2018*. European Commission.

Gaygisiz, E. (2009) Economic and cultural correlates of road-traffic accident fatality rates in OECD countries. *Perceptual and Motor Skills*, v. 109, p. 531–545. DOI: 10.2466/PMS.109.2.531-545.

Gitelman, V.; Auerbach, K. e Doveh, E. (2013) Development of road safety performance indicators for trauma management in Europe. *Accident Analysis & Prevention*, v. 60, p. 412–423. DOI: 10.1016/j.aap.2012.08.006.

Hermans, E. *et al.* (2009) Benchmarking road safety: Lessons to learn from a data envelopment analysis. *Accident Analysis & Prevention*, v. 41(1), p. 174–182. DOI:10.1016/j.aap.2008.10.010.

IBGE (2020) Produto Interno Bruto dos municípios. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/>.

James, G. *et al.* (2021) An Introduction to Statistical Learning with Applications in R. Second edition. New York: Springer. DOI:10.1007/978-1-4614-7138-7

MacQueen, J. (1967) Some methods for classification and analysis of multivariate observations. Em *Proceedings of the Fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability, Volume 1: Statistics.* Berkeley, Calif.: University of California Press, p. 281– 297. Disponível em: <https://projecteuclid.org/euclid.bsmsp/1200512992>.

Ministério da Infraestrutura. (2021). *RESOLUÇÃO CONTRAN Nº 870, DE 13 DE SETEMBRO DE 2021. Dispõe sobre o Plano Nacional de Mortes e Lesões no Trânsito (PNATRANS), instituído pela Lei nº 13.614, de 11 de janeiro de 2018*. CONTRAN. Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/conteudo-contran/resolucoes/resolucao8702021.pdf>

Ministério da Saúde (2020a) Óbitos Por Causas Externas. *Departamento de Informática do SUS - DATASUS*. Disponível em: <http://tabnet.datasus.gov.br/>.

Ministério da Saúde (2020b) População residente em 2019 - Estimativas para o TCU. Disponível em: <http://tabnet.datasus.gov.br/>.

Ministério da Saúde (2021) Rede Assistencial, Departamento de Informática do SUS - DATASUS. Disponível em: <http://www2.datasus.gov.br/DATASUS/index.php?area=0204>.

Nikolaou, P. e Dimitriou, L. (2018) Evaluation of road safety policies performance across Europe: Results from benchmark analysis for a decade. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, v. 116, p. 232–246. DOI:10.1016/j.tra.2018.06.026.

PIARC (2021) *Road Safety Manual*. World Road Association.

Shen, Y. *et al.* (2012) Road safety risk evaluation and target setting using data envelopment analysis and its extensions. *Accident Analysis & Prevention*, v. 48, p. 430–441. DOI: 10.1016/j.aap.2012.02.020.

Shen, Y. *et al.* (2015) Inter-national benchmarking of road safety: State of the art. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, v. 50. DOI: 10.1016/j.trc.2014.07.006.

Sun, L. *et al.* (2019) Road traffic safety: an analysis of the cross-effects of economic, road and population factors. *Chinese Journal of Traumatology*, v. 22, p. 290–295. DOI: 10.1016/j.cjtee.2019.07.004.

Wegman, F. *et al.* (2008) SUNflowerNext: Towards a composite road safety performance index. Leidschendam: SWOV (Cdv). Disponível em: <www.swov.nl>.

Wegman, F. (2016) Road safety data collection, analysis, indicators and targets. Em *Halving the Number of Road Deaths in Korea*. Korea: OECD, p. 83–102.

Wegman, F. e Oppe, S. (2010) Benchmarking road safety performances of countries. *Safety Science*, v. 48(9), p. 1203–1211. DOI: 10.1016/j.ssci.2010.02.003.

WHO (2011) Global Plan for the Decade of Action for Road Safety 2011-2020.

WHO (2020) Stockholm Declaration - Third Global Ministerial Conference on Global Safety: Achieving Global Goals 2030. Stockholm.

WHO (2021) Global Plan - Decade of Action for Road Safety 2021-2030. Disponível em: <https://cdn.who.int/media/docs/default-source/documents/health-topics/road-traffic-injuries/global-plan-for-road-safety.pdf?sfvrsn=65cf34c8{_}33{\&}download=true>.

Wong, S. C. *et al.* (2006) Association between setting quantified road safety targets and road fatality reduction. *Accident Analysis & Prevention*, v. 38(5), p. 997–1005. DOI: 10.1016/j.aap.2006.04.003.

Yu, Q. *et al.* (2015) A Forecasting Model for Setting Road Safety Targets Based on Time Series Analysis. Em *CICTP 2015*. *15th COTA International Conference of Transportation Professionals*, Beijing, China: American Society of Civil Engineers, p. 2985–2992. DOI:10.1061/9780784479292.275.