

RELAÇÃO ENTRE OS PILARES DE SEGURANÇA VIÁRIA E A TAXA DE MORTALIDADE DOS PAÍSES MEMBROS DA OMS: UM ESTUDO UTILIZANDO MODELOS DE EQUAÇÕES ESTRUTURAIS

Caio Assunção Torres

Vanessa Jamille Mesquita Xavier

Flávio José Craveiro Cunto

Departamento de Engenharia de Transportes
Universidade Federal do Ceará

RESUMO

O fenômeno das mortes no trânsito enseja o desenvolvimento de estudos que considerem a complexa relação de causalidade entre os fatores que o influenciam ao nível compatível com a definição de políticas públicas que promovam a segurança viária. O presente artigo analisa a influência de 48 indicadores de desempenho da segurança na taxa de mortalidade de 175 países para o ano de 2016. Foram propostos modelos de equação estrutural para avaliar a proposição e utilização de variáveis latentes que representem cinco grandes áreas de atuação em políticas públicas de promoção da segurança no trânsito e sua influência nas taxas de mortalidade. Os resultados indicaram que políticas voltadas ao incentivo de comportamento seguro dos usuários apresentaram maiores influência na redução das mortes no trânsito, seguida por incentivo em políticas nas áreas de veículos seguros, gestão da segurança viária, vias seguras e mobilidade e resposta ao acidente.

ABSTRACT

Road deaths phenomenon suggests the development of studies that consider the complex causal relationship between the factors that influence it at the compatible level with the definition of road safety policies. This paper analyzes the influence of 48 road safety performance indicators, on the mortality rate of 175 countries in 2016. Structural equation models were proposed to evaluate the proposition and use of latent variables that represent five major road safety policy areas and its influence on mortality rates. The results indicated that policies aimed at encouraging users' safe behavior were the ones that had the greatest influence in reducing road deaths followed by policies in safer vehicles, road safety management, safer road and mobility and post-crash response.

1. INTRODUÇÃO

Com o objetivo de coordenar esforços globais e convocar os países para atuarem na promoção da segurança viária, a Organização das Nações Unidas (ONU) decretou, em 2010, o *Global Plan for the Decade of Action for Road Safety* (Década de Ação pela Segurança no Trânsito) de 2011 a 2020. Apesar das diversas ações conjuntas, as fatalidades apresentam tendência de crescimento, tornando consideravelmente desafiador atingir a meta proposta pela década de ação pela segurança viária que estabelece a redução em 50% dos óbitos esperados para 2020.

A cada três anos a Organização Mundial de Saúde (OMS) produz relatórios sobre a situação global da segurança no trânsito, esses documentos são a ferramenta oficial para monitorar a Década de Ação. O mais recente mostrou que pouco progresso foi feito, destacando a necessidade urgente de ampliar as políticas públicas e investimentos baseados em evidências (WHO, 2018). De maneira global, em 2010, a OMS reportou as fatalidades em torno de 1,24 milhões em comparação a 1,36 milhões em 2016. Observou-se ainda que, entre 2013 e 2016, o número de mortes aumentou em 104 dos 175 países monitorados pela OMS.

A promoção da segurança no trânsito sugere o desenvolvimento de estudos que permitam uma melhor compreensão dos diversos fatores que influenciam as mortes e lesões no trânsito, considerando a complexa relação de causalidade com o fenômeno. Uma ferramenta muito utilizada para investigar a segurança viária são os modelos estatísticos aplicados ao desempenho da segurança viária (DSV), como os modelos lineares generalizados (poisson ou binomiais negativos), modelos categóricos (ordenados e hierárquicos), modelos de parâmetros

aleatórios, modelos inflacionados de zero, além de modelos espaciais (Lord e Persaud, 2004; Mannering e Bhat, 2014; Gomes et al., 2017).

Apesar de sua contribuição ferramental, a grande maioria dos estudos de DSV, envolvendo a modelagem estatística, se destaca em uma abordagem mais desagregada, no qual aspectos específicos da via, veículo ou mesmo do usuário ocupam papel central na modelagem (AASHTO, 2010, Barbosa et al., 2014). Dentro dessa abordagem, predominam ainda modelos de caráter preditivo, em que, com raras exceções, os resultados da modelagem são pouco informativos sobre a relação de causalidade entre os fatores contribuintes e a acidentalidade viária (Hauer, 2015). Desta forma, este paradigma de modelagem preditiva parece inadequado. Este método não reproduz as inferências objetivas de causa e efeito entre as mortes e lesões no trânsito e as diversas variáveis comportamentais, de gestão, de infraestrutura do sistema e veículos e de ambiente construído que compõem o conjunto de eixos de ação de políticas públicas voltadas à segurança viária

Os modelos de equações estruturais (SEM) têm sido utilizados com sucesso na área de ciências sociais e economia e, nos últimos anos, ganharam força na aplicação em estudos de segurança viária (Lee et al., 2008). Dentre as vantagens dessa abordagem na modelagem do DSV, encontram-se a possibilidade de modelagem multivariada, a incorporação de variáveis latentes e a definição de relações complexas entre as variáveis independentes e as variáveis respostas. Os modelos SEM possuem um arcabouço mais adequado permitindo inferências de causa-efeito entre as variáveis envolvidas, possibilitando a incorporação de variáveis mais compatíveis com a análise do fenômeno e do desempenho de políticas públicas (Schumacker e Lomax, 2010; Farias e Santos, 2000).

Este artigo tem como objetivo avaliar a proposição e utilização de variáveis latentes que representem cinco grandes áreas de atuação em políticas públicas, com foco na segurança viária, para representar a taxa de mortalidade no trânsito de 175 países membros da OMS. Essa abordagem visa a compreensão mais abrangente da problemática das mortes no trânsito, a nível de nações, como forma de auxiliar definições de políticas públicas de promoção da segurança no trânsito. A principal hipótese do presente estudo é que há informações latentes no conjunto de dados coletados e que tais estruturas têm uma relação causal com as mortes no trânsito dos países analisados.

2. PARADIGMA DE SISTEMAS SEGUROS E OS PILARES DE AÇÃO PELA SEGURANÇA NO TRÂNSITO

O conceito do Sistema Seguro teve início na década de 1990 por meio de programas como Visão Zero, na Suécia, e Segurança Sustentável, na Holanda (Tingvall, 1998; Wegman et al., 2008). Nessa abordagem sistêmica, a responsabilidade deve ser compartilhada pelos usuários da via e os projetistas do sistema, os quais devem criar um sistema de mobilidade que seja seguro e estimule a conduta segura seguindo a premissa de que humanos são falíveis e vulneráveis (Belin et al., 2012).

A Austrália e a Nova Zelândia, bem como os estados norte-americanos de Minnesota e Washington, além de cidades como Nova York e São Francisco, adotaram práticas semelhantes nas décadas seguintes (SWOV, 2013; ITF, 2016). Mais recentemente, cidades em países de renda média, incluindo Bogotá e Cidade do México, começaram a redirecionar suas estratégias de segurança viária para uma abordagem sistêmica (CDMX, 2017).

De acordo com o *International Road Traffic and Accident Database* (IRTAD), o número de mortes no trânsito caiu, em média, 42% entre 2000 e 2013 em 32 países que aplicaram a abordagem dos sistemas seguros (OECD/ITF, 2015). O IRTAD conclui que esse bom desempenho geral reflete a implementação de estratégias e programas sistemáticos de segurança viária dos quais abordam questões educacionais e de fiscalização; aprimoram as normas técnicas para a infraestrutura viária e para os veículos; melhoram o atendimento de saúde e nas emergências (OECD/ITF, 2015).

O *World Resources Institute* (Welle et al., 2018) realizou uma análise adicional das mortes no trânsito em 53 países entre 1994 e 2015. A análise revelou que os países que adotaram a abordagem de Sistema Seguro apresentam tanto as mais baixas taxas de mortalidade, quanto as mais rápidas reduções no seu valor. O avanço mais significativo tem sido observado nos países que foram pioneiros na abordagem: Suécia e Holanda. Somente 3 em cada 100 mil suecos morrem no trânsito a cada ano, e a taxa de mortes caiu 55% entre 1994 e 2015. A Holanda tem menos de 4 mortes por 100 mil residentes, e a taxa caiu em mais de 50% no mesmo período (Weijermars e Wegman, 2011).

Como resultado de sua implementação bem-sucedida em diversas regiões e escalas de governo, a abordagem de Sistema Seguro chamou a atenção em âmbito global. O Plano de Ação Global das Nações Unidas (ONU) para a Década de Ação pela Segurança no Trânsito 2011-2020 (WHO, 2011) adotou uma abordagem sistêmica e abrangente para a segurança viária. O plano trouxe diretrizes das quais orientam que as ações de promoção da segurança no trânsito devam ser multisetoriais e orientadas a partir de cinco pilares básicos, que representam grandes áreas de atuações para a promoção da segurança viária, como apresenta a Figura 1.

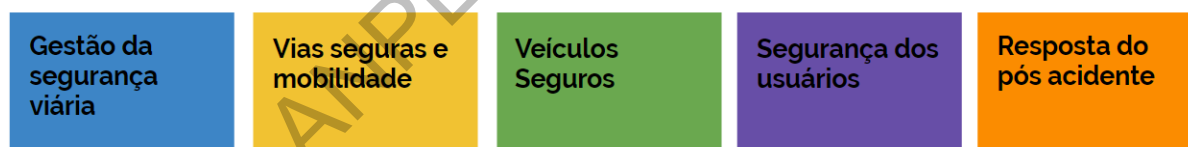


Figura 1. Pilares de ação da década mundial pela segurança no trânsito.
Fonte: WHO (2011).

Conforme definido no Relatório do Plano Global para a Década de Ação pela Segurança no Trânsito 2011–2020 (WHO, 2011), proposta pela Comissão para a Segurança Viária Global, os objetivos de cada pilar são:

1. **Gestão da Segurança Viária:** Incentivar, nos países, a criação de parcerias para que o desenvolvimento e a elaboração de estratégias nacionais de segurança no trânsito sejam realizados, assim como planos de ações;
2. **Via Segura e Mobilidade:** Aumentar a segurança das redes viárias, proporcionando um ambiente seguro a todos, principalmente aos usuários mais vulneráveis, como os pedestres, ciclistas e motociclistas;
3. **Veículos Seguros:** Incentivar o uso de tecnologias comprovadas para que a segurança dos veículos possa estar assegurada aos condutores e passageiros;

4. **Segurança dos Usuários:** Promover, aos usuários do trânsito, programas completos para que o mau comportamento seja evitado, estabelecendo medidas que combinem fiscalização, educação e conscientização dos usuários;
5. **Resposta ao Acidente:** Melhorar a capacidade do sistema de saúde e dos demais sistemas envolvidos para que seja fornecido tratamento emergencial adequado e urgente às vítimas, assim como oportunidade de reabilitação.

3. SEM APLICADOS NA ANÁLISE DO DSV

A modelagem baseada em equações estruturais (SEM) vem sendo usada desde a década de 1950 por economistas e cientistas sociais que buscam uma estrutura formal para permitir análises causais mais adequadas (Pearl, 2009). Esses modelos permitem avaliar a significância e a força de uma relação particular no contexto do modelo completo, além de fornecer uma boa plataforma para considerar a multicolinearidade e eliminar o erro de medição, com a utilização das variáveis latentes (não medidas).

Alvarado (2018 apud Hair et al.,1999) afirmam que as análises que empregam os SEM possuem premissas similares às técnicas de análises multivariadas de dados: i) independência das observações, ii) amostras aleatórias e iii) linearidade dos construtos latentes. Os SEM apresentam dois principais componentes os modelos de mensuração e o modelo estrutural (Figura 2). Os modelos de mensuração, os quais podem servir às variáveis exógenas (X) ou endógenas (Y), representam variáveis observadas diretamente para as quais estão previstos erros de mensuração (covariância). O modelo estrutural, por sua vez, consolida a ligação entre as variáveis exógenas e as variáveis endógenas através de diferentes construtos (variáveis latentes) definidas.

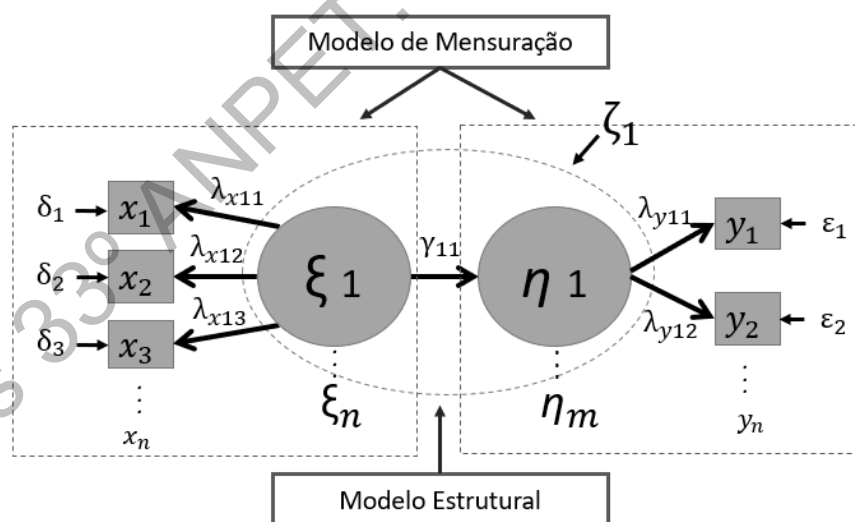


Figura 2: Exemplo de modelo de equação estrutural.
Fonte: Adaptado de Lee et al. (2008).

Na Figura 2, δ e ε representam os erros de mensuração das variáveis exógenas e endógenas, respectivamente. As variáveis latentes costumam ser representadas por círculos ou elipses (ξ e η), λ e γ são os respectivos coeficientes dos modelos, enquanto ζ representa o erro na estimativa da relação entre as variáveis latentes do modelo estrutural. Retângulos ou quadrados representam variáveis observadas. As setas direcionais podem ser interpretadas como um indicativo de dependência estatística, causada pela variável no início da seta sobre a

variável no final dela. Uma seta com duas pontas indica uma correlação entre as variáveis (Al-Mahameed et al., 2018). Na estrutura de caminhos geral, apresentada na Figura 2, os modelos de mensuração assumem as estruturas apresentadas nas Equações 1 e 2.

$$Y = \Lambda_y \eta + \varepsilon \quad (1)$$

$$X = \Lambda_x \xi + \delta \quad (2)$$

Em que Y e X são o vetor coluna de variáveis endógenas e exógenas observadas, respectivamente, e ε e δ são seus respectivos erros de medição. Λ_y e Λ_x são as matrizes de coeficientes das variáveis endógenas e exógenas com seus respectivos indicadores latentes. Em termos do modelo estrutural, o conjunto dessas variáveis é coletado em um vetor η e é expresso pela Equação 3.

$$\eta = \beta \eta + \gamma \xi + \varepsilon \quad (3)$$

Onde β e γ são vetores estimados de coeficientes de regressão para as variáveis dependentes e independentes, respectivamente, ε é um vetor de erros de regressão e ξ é um vetor que contém as variáveis independentes coletadas. A premissa básica dos modelos de equações estruturais está em assumir que a matriz de variância-covariância das variáveis observadas é função dos parâmetros do modelo, desta forma, caso o modelo esteja bem especificado, essa matriz de variância-covariância é equivalente a mesma matriz da população (Schumaker e Lomax, 2010).

A utilização mais frequente dos modelos SEM em relação à segurança viária dizem respeito a validação de construtos de natureza psicológica na influência de aspectos comportamentais como trafegar em alta velocidade, travessias em situações de risco e uso adequado do capacete. Nestes estudos, observa-se a utilização de questionários como forma de obtenção das variáveis exógenas, as quais, por sua vez, são utilizadas para a definição dos construtos como busca de sensação e experiência, atitude instrumental, norma descritiva e risco percebido (Chen e Chen, 2011; Zhou, Romero, e Qin 2016; Rosli et al., 2016).

Mais recentemente, Nikolau, Dimitriou, e Antoniou, (2019) analisaram os fatores socioeconômicos e demográficos de 121 países objetivando expor possíveis relações explicativas para as mortes no trânsito. Os autores assumiram a existência de informação latente para a compreensão do fenômeno, validando essa hipótese através do SEM. A implementação da abordagem metodológica propostas forneceu descobertas úteis sobre como fatores socioeconômicos e demográficos tendem a afetar as mortes no trânsito, com importantes implicações para os formuladores de políticas, bem como para fins de conscientização pública.

4. BANCO DE DADOS DA OMS E DEFINIÇÃO DOS MODELOS SEM

Este trabalho utilizou o banco de dados de 175 países disponível no último Relatório Sobre a Situação da Segurança no Trânsito publicado pela OMS (2018). A Tabela 1 apresenta o conjunto de dados coletados o qual foi composto por 48 indicadores inicialmente associados de forma específica às possíveis variáveis exógenas (pilares de segurança viária). As variáveis exógenas (indicadores observados) são do tipo categórica ordinal ou binária.

A concepção preliminar dos modelos SEM neste trabalho teve como pontos centrais: i) avaliar a influência dos diversos indicadores disponibilizados no relatório da OMS nas variáveis latentes propostas para representar os pilares da segurança viária; ii) definir o tipo e a intensidade da relação de causalidade (direta/indireta) entre as variáveis latentes (5 pilares) e; iii) estimar a importância relativa dos pilares de segurança viária na taxa de mortalidade dos países membros da OMS (variável endógena).

Desta forma, um modelo inicial, dito exploratório, foi estimado considerando todas as 48 variáveis observadas exógenas relacionadas diretamente com seus respectivos construtos latentes (cinco pilares), considerando-se ainda uma estrutura de influência mútua entre todas as variáveis latentes (covariância). O modelo exploratório foi utilizado para a proposição de diversos modelos confirmatórios em que eram testadas diferentes configurações de dependências entre as variáveis latentes e entre as variáveis latentes e a variável endógena.

A retirada de variáveis observadas endógenas e as configurações de dependência foram efetivadas através da significância estatística ($p < 0,05$) dos fatores de carregamento e de seus respectivos valores. Inicialmente, foram removidas variáveis que não apresentaram significância estatística, seguidas das variáveis com valores de carregamentos baixos ($< 0,4$) ou com alta correlação com outra variável associada à mesma latente. Sempre que uma variável era retirada do modelo, os parâmetros eram estimados para a nova estrutura. Esse processo buscou simplificar a estrutura do modelo e melhorar suas métricas de ajuste.

A estimativa dos parâmetros dos modelos foi obtida a partir da otimização de uma função que relaciona a matriz S (variância-covariância observada) com $\Sigma(\theta)$ (matriz de variância-covariância do modelo), construída a partir das premissas em relação às distribuições das variáveis observadas e da estrutura proposta para os modelos de mensuração (Nachtigall et al., 2003).

Todos os modelos foram estimados com a utilização da biblioteca *lavaan* do aplicativo estatístico R através do método da máxima verossimilhança (ML). A rotina permitiu ainda a utilização de testes de multiplicadores de Lagrange (função *modindices()*) os quais permitem alterações na estrutura para melhorar o ajuste do modelo. As sugestões foram consideradas desde que fosse teoricamente coerente para a modelagem do fenômeno.

Em relação aos critérios de ajuste do modelo, foram considerados na comparação entre os modelos: (i) a raiz do erro quadrático médio (RMSE) que está relacionada à diferença nos dados da amostra e ao que seria esperado se o modelo fosse considerado correto, (ii) o índice de ajuste comparativo (CFI) que é a razão entre o ajustamento do modelo em estudo e o ajustamento do pior modelo possível e (iii) a relação entre qui-quadrado e graus de liberdade (χ^2/gl).

Segundo Chen e Chen (2011 apud Hair et al., 2006), os valores CFI iguais ou acima de 0,9 e RMSE iguais ou abaixo de 0,05 indicam um bom ajuste entre o modelo e os dados. Pereira (2013 apud Arbuckle, 2008) sugere observar a relação entre o qui-quadrado e graus de liberdade (χ^2/gl), já que o χ^2 é altamente sensível ao tamanho da amostra. Se a hipótese nula do teste χ^2 de ajustamento for verdadeira, o valor esperado dos graus de liberdade é igual ao valor esperado da estatística de teste. Um modelo que represente adequadamente a amostra terá a relação $\chi^2/gl = 1$.

Tabela 1: Banco de dados de indicadores de Desempenho da Segurança Viária da OMS

| Pilar | Abreviatura da Variável | Definição da variável | Descrição e codificação dos valores de variáveis | Média | Desvio padrão |
|---------------------------|---------------------------------|---|--|-------|---------------|
| Gestão | lead_Ag | Agência Líder | (1)Não (2)Sim, sem financiamento (3)Sim, com financiamento | 2,66 | 0,62 |
| | ag_func | Funções da Agência | (1)Não há (2)Coordena (3)Coordena e Legisla (4)Coordena, Legisla e Avalia | 4,50 | 1,16 |
| | strateg | Estratégias de Segurança Viária | (1)Não (2)Sim, sem financiamento (3)Sim, parcialmente financiada (4)Sim, financiada | 2,71 | 0,95 |
| | target | Metas de Segurança Viária | (1)Não (2)Sim, para feridos (3)Sim, para fatais (4)Sim, para feridos e fatais | 2,65 | 1,33 |
| Veículos Seguros | seatbelt | Cinto de Segurança | (1)Não (2)Sim, cinto de segurança com sistema de ancoragem (2)Sim, cinto e cadeirinha | 1,55 | 0,88 |
| | protec | Proteção do ocupantes | (1)Não (2)Impacto frontal (3)Impacto frontal e lateral (4)Impacto frontal e lateral e proteção de pedestre | 1,79 | 1,28 |
| | stab_cont | Controle de estabilidade | (1)Não (2)Sim | 1,26 | 0,44 |
| | abs_motor | Sistemas de freios ABS para motos | (1)Não (2)Sim | 1,20 | 0,40 |
| Vias Seguras e Mobilidade | audits | Auditoria em novas vias | (1)Não (2)Parcial (3)Sim | 2,32 | 0,74 |
| | inspec | Inspeção em vias existentes | (1)Não (2)Sim | 1,65 | 0,48 |
| | des_stand | Padrões de desenho viário para segurança dos usuários vulneráveis | (1)Não (2)Parcial (3)Sim | 2,29 | 0,65 |
| | upgrade | Tratamento de locais críticos | (1)Não (2)Sim | 1,66 | 0,47 |
| | public_transp | Políticas e investimentos em transporte público | (1)Não (2)Sim | 1,73 | 0,44 |
| | walk_cyc | Políticas de promoção da mobilidade ativa | (1)Não (2)Parcial (3)Sim | 1,99 | 0,92 |
| | uni_number | Número único de contato para emergência | (1)Não (2)Parcial (3)Múltiplos números (4)Número | 3,35 | 0,95 |
| Pós acidente | trauma_reg | Registro de traumas por acidentes | (1)Não (2)Subnacional (3)Nacional | 2,06 | 0,79 |
| | emer_care | Sistema único de emergência | (1)Não (2)Sim | 1,23 | 0,42 |
| | spec_doct | Médicos especializados em lesões | (1)Não (2)Medicina emergencial ou cirurgia traumática (3)Ambos | 2,29 | 0,86 |
| | post_grad | Curso de pós graduação em trauma | (1)Não (2)Sim | 1,58 | 0,50 |
| | form_cert | Certificação formal de técnicos | (1)Não (2)Sim | 1,55 | 0,50 |
| Velocidade | speed_law | Lei de limites de velocidade | (1)Não (2)Sim | 1,97 | 0,18 |
| | mod_allow | Permissão de alteração dos limites da lei | (1)Não (2)Sim | 1,48 | 0,50 |
| | urban_max | Limites de velocidade em áreas urbanas | (1)Não ou >79kmh (2)entre 79 e 51km/h (3)<51km/h | 2,34 | 0,79 |
| | rural_max | Limites de velocidade em áreas rurais | (1)Não ou >99kmh (2)entre 99 e 61km/h (3)<61km/h | 1,71 | 0,60 |
| | mway_max | Limites de velocidade em vias rápidas | (1)Não ou >119kmh (2)entre 119 e 81km/h (3)<81km/h | 2,11 | 0,83 |
| | speed_enf | Nível de fiscalização da velocidade | Escala* (0)não eficaz a (10)altamente eficaz | 5,35 | 2,38 |
| | type_enf | Tipo de fiscalização predominante | (1)Não há (2)Manual (3)Automatizada (4)Ambas | 2,48 | 0,94 |
| Usuários Seguros | dd_law | Lei de condução sobre influência do álcool | (1)Não (2)Sim (3)Sim, baseada em limites BAC/BrAC | 1,78 | 0,41 |
| | dd_level | Limites de nível de álcool | (1)Não (2)>0,05 para todos (3)<=0,05 para todos (4)Zero para alguns grupos (5)Zero para todos | 2,98 | 1,48 |
| | rand_test | Execução de teste aleatórios | (1)Não (2)Sim | 1,79 | 0,41 |
| | fat_test | Execução de teste em casos fatais | (1)Não (2)Alguns condutores (3)todos os condutores | 2,13 | 0,83 |
| | dd_enf | Nível de fiscalização do nível de alcoolemia | Escala* (0)não eficaz a (10)altamente eficaz | 5,39 | 2,63 |
| | drug_law | Lei de condução sobre efeito de drogas | (1)Não (2)Sim | 1,89 | 0,31 |
| | alcohol_prohi | Lei de proibição de ingestão de álcool | (1)Não (2)Sim | 1,10 | 0,30 |
| | helm_law | Lei de uso do capacete | (1)Não (2)Somente condutores (3)Todos os | 2,87 | 0,45 |
| | helm_approad | Aplicação da lei por ocupantes | (1)Não (2)Sim | 1,93 | 0,25 |
| | helm_appleng | Aplicação da lei por tipo de moto | (1)Não (2)Sim | 1,87 | 0,34 |
| helm_fast | Lei de afivelamento do capacete | (1)Não (2)Sim | 1,47 | 0,50 | |
| Cinto de Seg. | helm_stand | Padronização de capacetes | (1)Não (2)Sim | 1,53 | 0,50 |
| | child_pass | Lei de proibição de crianças em motos | (1)Não (2)<10 anos (3)<15 anos (4)sem estatura adequada | 1,56 | 0,82 |
| | helm_enf | Nível de fiscalização do capacete | Escala* (0)não eficaz a (10)altamente eficaz | 5,79 | 2,90 |
| | seatb_law | Lei de uso do cinto | (1)Não (2)Só condutores (3)Condutores e passageiros da frente (4)Todos os ocupantes | 3,37 | 0,95 |
| Cinto de Seg. | seatb_enf | Nível de fiscalização do cinto | Escala* (0)não eficaz a (10)altamente eficaz | 5,51 | 2,66 |
| | child_restrlaw | Lei de uso da cadeirinha | (1)Não (2)Até 5 anos (3)Até 12 anos | 1,85 | 0,96 |
| | child_front | Limites de idade para passageiros na frente | (1)Não (2)Até 7 anos (3)Até 12 anos (4)Proibido | 2,30 | 1,23 |
| Cel. | child_restrenf | Nível de fiscalização da cadeirinha | Escala* (0)não eficaz a (10)altamente eficaz | 2,57 | 3,26 |
| | mob_phonelaw | Lei de uso do telefone celular | (1)Não (2)Ligações (3)Ligações e mensagens | 2,06 | 0,59 |
| Y | mob_phonedata | Informações de uso de celular durante | (1)Não (2)Sim | 1,49 | 0,50 |
| | deaths | Mortes no trânsito por 100 mil habitantes estimado pela OMS** | (1)<7,19 (2)7,19 a 14,36 (3)14,37 a 21,54 (4)21,55 a 28,72 (5)>28,72 | 2,82 | 1,31 |

* Os valores dessas variáveis foram coletados a partir de questionários aplicados pela OMS para medir o nível de fiscalização dos países para os fatores de risco prioritários. O valor varia de zero (não eficaz) a 10 (altamente eficaz).

** Valores modelados, seguindo metodologia da Organização Mundial de Saúde disponível no Relatório de Situação Global da Segurança no Trânsito (2018).

5. DESENVOLVIMENTO DOS MODELOS E RESULTADOS

Conforme descrito acima, inicialmente foi desenvolvido um modelo de mensuração com todas as variáveis observadas exógenas com dependência estatística aos seus respectivos construtos latente (pilares de ação) e esses à variável endógena *deaths* (taxa de mortalidade). A Figura 3 apresenta a estrutura proposta do modelo exploratório.

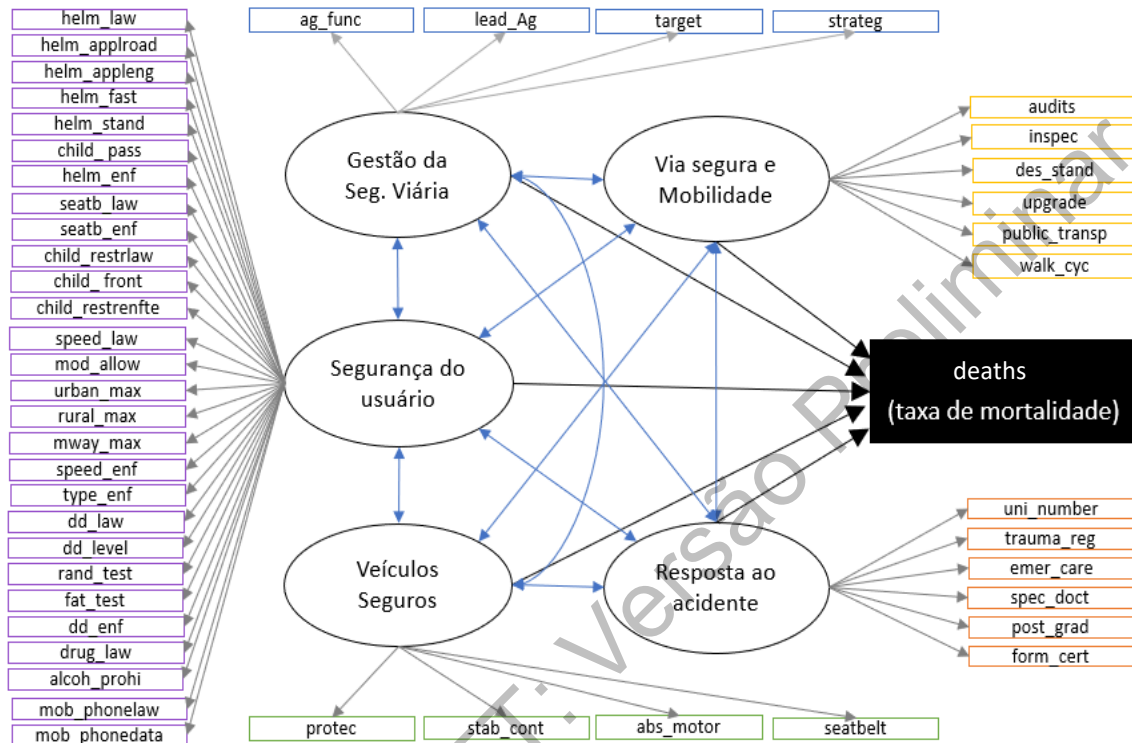


Figura 3: SEM exploratório.

O modelo da Figura 3 convergiu com 143 interações e apresentou qui-quadrado (χ^2) = 2590,81, graus de liberdade = 1113 ($\chi^2/gl = 2,33$), com valor- $p < 0,05$ indicando a rejeição do teste de ajuste exato do modelo. O modelo ainda produziu as métricas CFI = 0,65 e RMSE = 0,087, os quais não indicaram bom ajuste da estrutura proposta.

Em relação ao modelo de mensuração entre as variáveis latentes e a variável endógena, observou-se que nem todas as variáveis latentes, que representam os pilares de ação, foram significativas. As variáveis *gestão da segurança viária* e *via segura e mobilidade* não apresentaram relação causal direta com a taxa de mortalidade. Dentre as variáveis de influência direta, *veículos seguros* apresentou o maior fator de carregamento ($-0,34$), seguido pela *resposta ao acidente* ($-0,11$) e *Segurança do usuário* ($-0,08$). Os sinais dos coeficientes indicam concordância entre as relações hipotetizadas, ou seja, quanto maior o investimento em veículos seguros, por exemplo, menores serão as taxas de mortalidade.

Após a verificação inicial da estrutura ligando diretamente todos os construtos (pilares) à taxa de mortalidade, passou-se para a avaliação dos parâmetros de novas configurações de estruturas, verificando a significância e os fatores de carregamento das relações de influência direta e mútua (covariâncias). Ressalta-se que o modelo com a estrutura de influência direta (seta unidirecional) da *gestão da segurança viária* e *mobilidade segura e vias* nas outras variáveis latentes não indicaram um ajuste adequado.

Na estrutura final, permaneceram no modelo apenas as relações diretas e mútuas (covariâncias) significativas e os indicadores significativos e com maiores fatores de carregamento com seus respectivos construtos latentes. Após análise dos índices de modificação de Lagrange, algumas alterações coerentes na estrutura do modelo foram realizadas. O indicador *nível de fiscalização de velocidade* foi realocado para a variável *via segura e mobilidade* e foram adicionadas algumas correlações entre os indicadores. Essas alterações melhoraram as medidas de ajuste da configuração final da estrutura do SEM, apresentada na Figura 4.

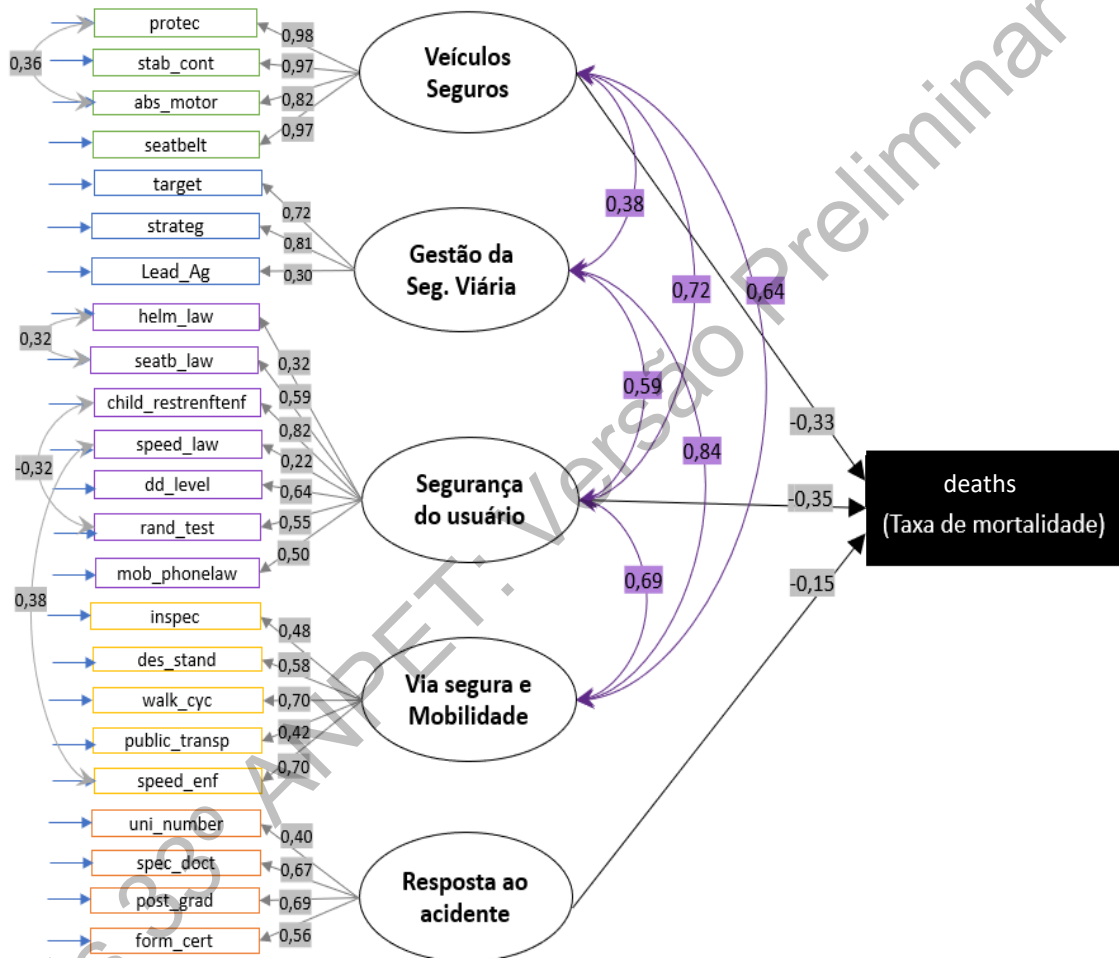


Figura 4: Estrutura SEM proposta.

O modelo apresentou um melhor ajuste que o modelo exploratório (Figura 3) e convergiu com 96 iterações. O valor da relação entre o qui-quadrado e os graus de liberdade foi próxima ao ajuste perfeito de 1 ($\chi^2/gl = 1,37$). Os indicadores CFI e RMSE apresentaram um bom ajuste com valores de 0,96 e 0,046, respectivamente, embora o teste qui-quadrado de ajuste exato não tenha sido positivo.

As variáveis latentes *veículos seguros* (-0,33), *resposta ao acidente* (-0,15) e *segurança do usuário* (-0,35) possuem um efeito direto negativo significativo sobre a taxa de mortalidade. Os resultados indicaram que as variáveis latentes *gestão da segurança viária* e *via segura e mobilidade* tiveram um efeito indireto na taxa de mortalidade. A Tabela 02 apresenta os efeitos totais, diretos e indiretos das variáveis latentes na taxa de mortalidade.

Tabela 2: Efeitos das variáveis latentes na taxa de mortalidade.

| Variável Latente (Pilares de Ação) | Efeito | | |
|---------------------------------------|--------|----------|-------|
| | Direto | Indireto | Total |
| Segurança do Usuário | -0.35 | -0.63 | -0.98 |
| Veículos Seguros | -0.33 | -0.49 | -0.82 |
| Gestão da Segurança Viária | - | -0.68 | -0.68 |
| Via Segura e Mobilidade | - | -0.37 | -0.37 |
| Resposta ao Acidente | -0.15 | - | -0.15 |

A análise dos efeitos apresentados na Tabela 2 permite verificar comparativamente a importância de cada construto na redução da taxa de mortalidade, seja de forma direta ou indireta. Observa-se que políticas voltadas ao incentivo de comportamentos seguros (*segurança do usuário* = $-0,98$) foram as que apresentaram maior influência na redução da taxa de mortalidade seguida pelos pilares *veículos seguros*, *gestão da segurança viária*, *via segura e mobilidade* e *resposta ao acidente*.

6. CONCLUSÕES

Esse trabalho apresentou uma análise da influência de 48 indicadores disponibilizados no relatório de segurança viária de 2018 da OMS em variáveis latentes propostas para representar os pilares da segurança viária e a taxa de mortalidade de 175 países. Inicialmente, foram propostos modelos de equação estrutural considerando todas as variáveis observadas sendo relacionadas diretamente com seus respectivos construtos latentes (pilares de ação da Década), considerando-se ainda uma estrutura de influência mútua entre as variáveis latentes (covariância). Em seguida, foram propostos diversos modelos confirmatórios alterando a estrutura relacional de causalidade entre as variáveis latentes e a variável endógena.

Em relação ao nível de gestão da segurança viária, a existência de metas, estratégias e uma agência líder em segurança viária foram os fatores de maior importância. O melhor modelo indicou que a gestão, como esperado, tem um papel estratégico nas políticas públicas, apresentando influência indireta na redução da taxa de mortalidade através de veículos seguros, segurança do usuário e via segura e mobilidade.

Estabelecer uma política legislativa de veículos seguros contribuiu significativamente para a redução da taxa de mortalidade ($-0,33$). Esta política deve ser voltada para o incentivo a presença de dispositivos ativos e passivos de proteção de seus ocupantes, como a presença de cinto de segurança, sistema de ancoragem, *airbags*, sistemas de controle de estabilidade eletrônica e sistemas de freios ABS para motos. Ressalta-se que muitos destes dispositivos não são itens obrigatórios em veículos novos em vários dos países analisados.

O modelo de mensuração final indicou que legislações mais rigorosas que promovam o comportamento seguro do usuário foi o pilar de ação com maior impacto na redução da taxa de mortalidade ($-0,35$). Dentre as 28 variáveis exógenas testadas, aquelas que influenciaram de forma incisiva foram: o nível de fiscalização do uso da cadeirinha, a existência de leis para limite de velocidade, uso do cinto de segurança, capacete e do telefone celular, os limites de alcoolemia permitidos e a execução de testes de alcoolemia de forma aleatória nos países.

Políticas que promovam vias seguras e mobilidade influenciam indiretamente na redução da

taxa de mortalidade através dos pilares de segurança do usuário, gestão da segurança viária e veículos seguros. Dentre as variáveis mais importantes para *via segura e mobilidade*, destacam-se a promoção da mobilidade ativa, existência de padrões de desenho viário para usuários vulneráveis e a existência de níveis de fiscalização da velocidade.

A melhoria da capacidade de resposta ao acidente resulta da existência de cursos de graduação em trauma, certificação formal de técnicos, médicos especializados em tratamento de lesões, além da existência de um número único emergencial. Políticas voltadas à melhoria da qualidade de resposta aos acidentes influenciam diretamente na redução da taxa de mortalidade nos países analisados (0,15). De forma comparativa, os resultados indicaram que a promoção de veículos seguros e segurança dos usuários têm maior impacto na redução da mortalidade quando comparados ao atendimento pós-acidente. Desta forma, existe um indicativo de que apesar da importância do atendimento pós-acidente, iniciativas de prevenção podem ser ainda mais eficazes na redução global da mortalidade.

Ao se investigar mortes no trânsito em um nível de nações surgem algumas especulações para a heterogeneidade não observada dentro do conjunto de dados. Isso pode ser justificado pelo contexto sociopolítico de cada região e seu engajamento nas definições de políticas públicas de promoção da segurança no trânsito nacionais. Essa pesquisa assumiu a hipótese de que há informação latente dentro do conjunto de dados que pode ter um efeito significativo na compreensão do fenômeno das mortes e lesões no trânsito.

Apesar da amplitude e relevância das conclusões obtidas neste estudo, principalmente no que diz respeito à definição e avaliação de políticas públicas, considera-se importante avaliar a estabilidade do modelo proposto (validação) em outros intervalos de agregação temporal e em uma escala regional, ou seja, entre estados ou cidades de uma mesma jurisdição. Além disso, a abordagem SEM, permite que os impactos de políticas públicas a nível nacional sejam avaliados utilizando várias métricas simultâneas, como taxa de acidentes com vítimas feridas, acidentes com danos materiais, além de acidentes categorizados por tipo de usuário e/ou veículo. O possível efeito dos pilares de segurança viária em tais variáveis pode ampliar significativamente a definição/ajuste de políticas públicas existentes.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq e a Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Funcap).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO – American Association of State Highway and Transportation Officials (2010). *Highway Safety Manual*. Washington, DC, Part D.
- Alvarado, A. H. R. (2018) *Modelagem da satisfação produzida pelas características do ambiente construído nas viagens a pé*. Dissertação de mestrado. Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Brasília, DF.
- Al-mahameed, F. J.; , Qin, X.; Schneider e R. J.; Shaon, R. R. (2018) Analyzing Pedestrian and Bicyclist Crashes at the Corridor Level: A Structural Equation Modeling Approach. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*.
- Barbosa, H., Cunto, F., Bezerra, B., Nodari, C., e Jacques, M. A. (2014). Safety performance models for urban intersections in Brazil. *Accident Analysis & Prevention*, v. 70, p. 258-266.
- Belin, M. Å., Tillgren, P., & Vedung, E. (2012). Vision Zero—a road safety policy innovation. *International journal of injury control and safety promotion*, v. 19, n.2, p. 171-179.
- CDMX - Ciudad de Mexico (2017). *Official Gazette*, v 59, p. 19-138.

- Chen, C. e Chen, C. (2011) Speeding for fun? Exploring the speeding behavior of riders of heavy motorcycles using the theory of planned behavior and psychological flow theory. *Accident Analysis & Prevention*, v. 43, n. 3, p. 983-990.
- Farias, S. A., Santos, R. C. (2000) Modelagem de equações estruturais e satisfação do consumidor: uma investigação teórica e prática. *Revista de Administração Contemporânea*, v. 4, n. 3, p. 107-132.
- Gomes, M. J. T. L., Cunto, F. J. C., e da Silva, A. R. (2017). Geographically weighted negative binomial regression applied to zonal level safety performance models. *Accident Analysis & Prevention*, v 106, p. 254-261.
- ITF - International Transport Forum. (2016). *Zero Road Deaths and Serious Injuries: Leading a Paradigm Shift to a Safe System*. Paris, França: OECD Publishing.
- Hauer, E. (2015). *The art of regression modeling in road safety*. New York: Springer.
- Lee, J.; Chung, J. e Son, B. (2008) Analysis of traffic accident size for Korean highway using structural equation models. *Accident Analysis & Prevention*, v. 40, n. 6, p. 1955-1963.
- Lord, D., e Persaud, B. N. (2004). Estimating the safety performance of urban road transportation networks. *Accident Analysis & Prevention*, v. 36, n. 4, p. 609-620.
- Mannering, F. L.; Bhat, C. R. (2014) Analytic methods in accident research: Methodological frontier and future directions. *Analytic Methods in Accident Research*, v. 1, p. 1-22.
- Nachtigall, C; Kroehne, U.; Funke, F. e Steyer, R. (2003) Pros and cons of structural equation modeling. *Methods Psychological Research Online*, v. 8, n. 2, p. 1-22.
- Nikolau, P., Dimitriou, L., e Antoniou, C. (2019) Global Road Traffic Fatalities: explanatory Analysis Based on Alternative Structural Equations Modeling Approaches. *Transportation Research Board*, v. 3, p. 379-384.
- OECD/ITF - International Transport Forum (2015). *Road Safety Annual Report*. Paris, França: OECD Publishing.
- Pearl, J. (2009) *Causality*, Cambridge university press.
- Pereira, S. dos S. (2013) Modelagem de Equações Estruturais no Software R. Trabalhos de Conclusão de Curso de Graduação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Rosli, N.; Ambak, K.; Daniel, B.D. e Sanik, M. E. (2016) Structural equation modelling in behavioral intention to use safety helmet reminder system. In: *MATEC web of conferences*. EDP Sciences, p. 03002.
- Schumacker, R. E. e Lomax, R. G. (2010) *A Beginner's Guide to Structural Equation Modeling (3rd Edition)*, New York: Taylor & Francis Group.
- SWOV (2013). *Sustainable Safety: Principles, Misconceptions, and Relations with Other Visions*. Haia, Países Baixos.
- Tingvall, C. (1998). *The Swedish 'Vision Zero' and how Parliamentary approval was obtained*. In Road Safety Research, Policing, Education Conference, 1998, Wellington, New Zealand, v 1.
- Wegman, F., Aarts, L., e Bax, C. (2008). Advancing sustainable safety: National road safety outlook for The Netherlands for 2005-2020. *Safety Science*, v. 46, n.2, p. 323-343.
- Weijermars, W. A. M.; Wegman, F. C. M. (2011) Ten Years of Sustainable Safety in the Netherlands: An Assessment. *Transportation Research Board*. Washington, D.C.
- Welle, B., Sharpin, A. B, Adriazola-Steil, C., Soames J., Shotten M., Bose D., Bhatt A., Alveano S., Obelheiro M. e Imamoglu C. T., (2018). *Sustainable & Safe: A Vision and Guidance for Zero Road Deaths*. Washington, DC: World Resources Institute
- World Health Organization (WHO). (2018) *Global Status Report on Road Safety*. (Vol. III).
- World Health Organization (WHO). (2011) *Global Plan for the Decade of Action for Road Safety 2011-2020*.
- Zhou, H.; Romero, S. B. e Qin, X. (2015) An extension of the theory of planned behavior to predict pedestrians' violating crossing behavior using structural equation modeling. *Accident, Analysis and Prevention*. v. 95, p. 417-424.

Caio Assunção Torres (caio@det.ufc.br)
Vanessa Jámille M. Xavier (vanessajámille@det.ufc.br)
Flávio José C. Cunto (flaviocunto@det.ufc.br)
Departamento de Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará.