

**“Do conhecimento acadêmico à transformação sustentável: inovação com validação científica”****ESTUDO DE INDICADORES PARA AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA VIÁRIA EM RODOVIAS: ESTUDO DE CASO DE SINISTROS NA BR-381**Juliane Carla Rodrigues<sup>1</sup>(IC), Dalva Maria de Castro (PQ)<sup>1</sup>,<sup>1</sup>Universidade Federal de Itajubá**Palavras-chave:** AHP. Análise Espacial. Gestão de Risco. Indicador de Segurança. Segmentos Críticos.**Introdução**

Um dos principais obstáculos à mobilidade no Brasil é a segurança viária, que se manifesta por meio de altas taxas de mortalidade e morbidade no trânsito. Os dados do Painel CNT de Acidentes Rodoviários (2025) mostram que, apenas em 2024, ocorreram 73.114 acidentes nas rodovias federais, resultando em 78.308 feridos e 6.153 óbitos, uma média de 13 mortes diárias. Esse cenário indica um crescimento de 8% no total de acidentes e feridos e de 9,5% no número de óbitos em comparação com 2023.

A literatura especializada tem mostrado que apenas contabilizar acidentes não é suficiente para entender o risco viário, já que não diferencia os sinistros conforme sua severidade, o que pode gerar distorções na priorização de trechos críticos (FERRAZ et al., 2012). Para superar essa limitação, a Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT) passou a utilizar o Índice de Severidade de Sinistros (ISs), que combina frequência de ocorrências, volume de tráfego e gravidade, oferecendo uma visão mais consistente da acidentalidade nas rodovias (ANTT, 2023). Além disso, métodos de apoio multicritério à decisão, como o *Analytic Hierarchy Process* (AHP), têm se mostrado ferramentas valiosas para a gestão da infraestrutura de transportes. Conforme demonstrado por Moura e Costa (2020) em seu estudo, a aplicação do método AHP é eficaz para priorizar trechos rodoviários críticos, fornecendo uma base técnica sólida e hierarquizada que direciona ações de intervenção e otimiza a alocação de recursos.

A rodovia BR-381 é essencial para os estados de Minas Gerais, São Paulo e Espírito Santo, pois faz parte de uma das principais rotas de escoamento de produção e

de passageiros da região Sudeste. Dessa forma, este estudo visa analisar os indicadores de segurança viária, sugerindo uma classificação da gravidade dos sinistros com base em índices compostos e técnicas multicritério, a fim de identificar trechos críticos e apoiar estratégias de intervenção.

**Metodologia**

Para o início da pesquisa foram realizadas a revisão bibliométrica e a revisão sistemática que juntas fornecem a base teórica e justificam a relevância e originalidade da pesquisa.

1. Revisão bibliométrica: foi realizada nas bases *Scopus* e *Web of Science* e analisou quantitativamente 451 artigos após a remoção de duplicatas. A análise dos dados, processada no *RStudio* e no *Biblioshiny*, visou mapear a estrutura intelectual do campo de estudo, identificando tendências e autores-chave.
2. Revisão sistemática: utilizada como forma de embasar a seleção de variáveis e métodos de análise. Um protocolo estruturado foi aplicado à base de artigos selecionados, extraindo informações como: objetivo, método, tipo de dados utilizados, resultados e limitações.
3. Tratamento e Análise descritiva dos dados abertos: para a análise, foram extraídos dados abertos de sinistros ocorridos na BR-381 (Segmento Minas Gerais-São Paulo) no período de 2017 a 2023, disponibilizados pela Polícia Rodoviária Federal (PRF) (PRF-2017-2023). Após uma etapa de tratamento para limpeza e consolidação das informações, os dados de sinistros foram cruzados com os segmentos da rodovia e com o indicador de

## “Do conhecimento acadêmico à transformação sustentável: inovação com validação científica”

Volume Médio Diário Anual (VMDa) (DNIT, 2023), O VMDa, calculado é fornecido pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), é um parâmetro fundamental para a gestão rodoviária, representando a demanda média de tráfego em um ponto ao longo do ano.

4. Cálculo Índice de Severidade de Sinistros (ISs): o ISs foi calculado conforme a equação 1:

$$ISs = \frac{UPS \times 10^6}{P \times V \times E} \quad (1)$$

Sendo:

ISs = Índice de Severidade de Sinistros (número de UPS por milhão de veículos x km);

UPS = Unidade Padrão de Severidade (sinistros sem vítimas x 1 + sinistros com vítimas não fatais x 4 + sinistros com atropelamento x 6 + sinistros com óbitos x 13);

P = período de tempo (365 dias);

V = volume diário médio anual de veículos;

E = extensão do trecho em km.

O fator  $10^6$  (um milhão) foi incorporado ao cálculo do ISs para normalizar os resultados em uma base de milhões de veículos-quilômetro, facilitando a comparação e interpretação dos dados. Um ISs elevado em segmentos com baixa frequência de ocorrências sinaliza um alerta crítico, revelando uma ilusão de segurança: embora os sinistros sejam raros, suas consequências são severas. Para visualização geográfica, o ISs foi espacializado por meio de um mapa de calor, utilizando a ferramenta "Heatmap" do QGIS, que permitiu identificar padrões de severidade ao longo dos segmentos da BR-381.

Os segmentos da BR381 foram agrupados em segmentos de 10 Km para melhor distribuição e análise.

5. Processo de análise multicritério para seleção de indicadores da severidade de sinistros de trânsito: os critérios foram organizados em uma hierarquia e comparados entre si por meio de Matrizes de Comparação Pareada, seguindo a metodologia AHP proposta por Saaty (1980). Esta abordagem permite derivar pesos prioritários para cada critério de forma sistemática e fundamentada.

O método AHP foi utilizado para ponderar

diferentes fatores de risco associados aos sinistros. Foram estabelecidas três combinações principais de variáveis:

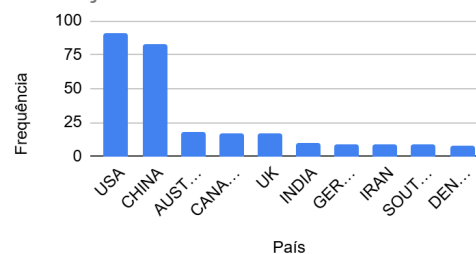
1. Comportamento do Condutor(Ousado) – relacionado a falhas humanas, recebeu peso máximo (9), por ser considerado fator predominante.
2. Condições de Visibilidade – associadas a fatores climáticos e período do dia, classificadas em categorias de maior ou menor risco. As classificadas com maior risco receberam peso máximo (7).
3. Traçado da Via – vinculado à geometria do trecho com pesos proporcionais à frequência de acidentes em cada condição, sendo o valor máximo (6).

Após a atribuição dos pesos, cada ocorrência recebeu um valor de AHP variando de 0 a 9. Assim como no ISs, os trechos foram agrupados em segmentos de 10 km, calculando-se as médias e valores máximos para cada bloco, além da contagem de sinistros graves (AHP  $\geq 7$ ). Para visualização geográfica, o AHP foi espacializado por meio de um mapa de calor, utilizando a ferramenta "Heatmap" do QGIS, que permitiu identificar padrões de severidade ao longo dos segmentos da BR-381.

### Resultados e discussão

#### 1. Revisão Bibliométrica

Produção Científica dos Países



Vale ressaltar que, durante a condução da Revisão Bibliométrica, constatou-se a ausência de estudos brasileiros entre as principais publicações internacionais sobre análise de severidade de sinistros rodoviários. Essa lacuna evidencia a necessidade de pesquisas contextualizadas à realidade do Brasil

“Do conhecimento acadêmico à transformação sustentável: inovação com validação científica”

2. Revisão Sistemática de Literatura  
 Conforme exposto na introdução, a Revisão Sistemática de Literatura foi realizada para sistematizar evidências sobre metodologias de análise de risco e severidade em rodovias.

3. Índice de Severidade de Sinistros (ISs)  
 A Tabela 1 apresenta os cinco trechos mais críticos da BR-381, conforme indicador ISs médio para segmentos de 10 km, principal causa e tipo de sinistro.

**Tabela 1:** Segmentos da BR-381 com maiores Índices de Severidade de Sinistros (ISs) e seus indicadores associados.

| Segmento (Km) | Média ISs | Município                 | Principal Causa do Sinistro        | Tipo de sinistro <sup>1</sup> |
|---------------|-----------|---------------------------|------------------------------------|-------------------------------|
| 120–129       | 1,01      | Belo Oriente              | Desatenção                         | Atropelamento de Pedestre     |
| 130–139       | 0,91      | Rio Casca                 | Desrespeito distância de segurança | Atropelamento de Pedestre     |
| 210–219       | 0,97      | Naque                     | Excesso velocidade                 | Tombamento                    |
| 370–379       | 0,93      | São Gonçalo do Rio Abaixo | Excesso velocidade                 | Saída de leito carroçável     |
| 380–389       | 0,99      |                           |                                    | Colisão frontal               |

<sup>1</sup>Sinistro com maior contribuição para o cálculo do ISs.

Fonte: As autoras

Em todos os segmentos, a principal causa de sinistros severos é o fator humano, seja por respeito às normas ou por desatenção. Destaca-se que quatro dos cinco segmentos com sinistros mais graves estão situados em segmentos retos da rodovia. A única exceção é o trecho do Km 370 ao 379, uma curva onde a velocidade incompatível resulta na saída do leito carroçável como a causa mais frequente das ocorrências registradas. Ainda observa-se que em todos os segmentos,

2. Índice *Analytic Hierarchy Process* (AHP).

A Tabela 2 apresenta os segmentos da BR-381(SP-MG) com as maiores médias do índice AHP, permitindo identificar os segmentos mais críticos quanto à ocorrência de sinistros no período analisado (2017 a 2023).

Nota-se que no trecho entre os Km 480 a 509 da BR-381, no município de Betim, região metropolitana de Belo Horizonte, todos os segmentos apresentaram AHP médio > 4,40, sendo 27% dos sinistros classificados como graves (AHP > 7,0). E em São Paulo, o trecho mais crítico está compreendido entre os Kms 70 a 89, com AHP médio > 4,30. No entanto, observa-se que o segmento entre os Kms 80 a 89 apresenta a maior taxa de acidentes graves, 39% com AHP igual a 4,96.

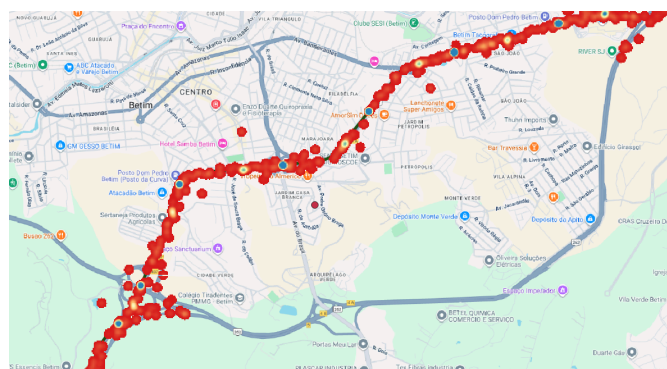
**Tabela 2:** Segmentos da BR-381 com maiores valores médios de AHP, municípios e número de sinistros.

| Segmento Km | Média AHP | Município | Sinistros | Sinistros Graves (AHP ≥ 7) |
|-------------|-----------|-----------|-----------|----------------------------|
| 480–489     | 4,39      | Betim     | 1784      | 467                        |
| 490–499     | 4,44      | Betim     | 1245      | 335                        |
| 500–509     | 4,42      | Betim     | 791       | 215                        |
| 70–79       | 3,73      | São Paulo | 693       | 114                        |
| 80–89       | 4,96      | São Paulo | 1001      | 394                        |

Fonte: As autoras.

Para ilustrar, a Figura 1 apresenta o mapa de calor dos sinistros de trânsito ponderado por AHP do segmento compreendido entre os Kms 480 a 499 da BR-381 (MG).

**Figura 1:** Mapa de Calor dos sinistros de trânsito conforme AHP no segmento Km (480-499) da BR-381 em Betim.



Fonte: As autoras.

De modo geral, a análise apresenta que tanto Betim quanto São Paulo concentram segmentos críticos da BR-381, sendo necessários investimentos em infraestrutura, fiscalização e medidas preventivas para reduzir a severidade dos sinistros. Embora todos os segmentos listados estejam na categoria moderada, a

**“Do conhecimento acadêmico à transformação sustentável: inovação com validação científica”**

quantidade de sinistros graves e as médias AHP próximas de 5 indicam que os mesmos possuem relevância para intervenções de caráter prioritário.

**Conclusões**

Esta pesquisa constatou-se que o ISs foi mais sensível a fatores relacionados ao comportamento do condutor enquanto o AHP foi influenciado pela taxa de ocorrências mais graves.

A análise mostrou que determinados segmentos da BR-381 que cruzam as regiões metropolitanas de Belo Horizonte e São Paulo concentraram tanto maior número de sinistros quanto maior severidade. O valor máximo de AHP observado foi (7), o que indica que, embora nenhum sinistro tenha atingido o grau máximo teórico (9), ainda assim ocorreram situações graves com valores entre 4 e 5 na escala definida.

Comparando os dois indicadores, observa-se que o ISs e o AHP possuem relação complementar. Dessa maneira, segmentos com baixa média de ISs podem ainda apresentar valores elevados de AHP quando ocorrem sinistros de maior impacto, justificando sua priorização em medidas de segurança viária. A combinação dos dois indicadores oferece uma visão mais completa: enquanto o ISs identifica segmentos da rodovia com problemas frequentes, o AHP aponta os locais onde a gravidade dos sinistros demanda ações mais imediatas. Portanto, os segmentos destacados na tabela (especialmente entre os quilômetros 480 a 509 em Betim e 80 a 89 em São Paulo) devem ser tratados como prioritários para ações de engenharia, fiscalização e campanhas de conscientização, visto que o comportamento do condutor é um indicador prioritário.

**Agradecimentos**

As autoras agradecem à Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) pelo suporte institucional e apoio financeiro, por meio da concessão de bolsa que foi essencial para a realização deste trabalho

**Referências**

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES (ANTT). **Boletim Anual de Sinistros de Trânsito em Rodovias – 2023**. ANTT, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/antt/pt-br/assuntos/rodovias/informacoes-gerais/boletim-anual-de-acidentes/boletim-anual-de-sinistros-de-transito-em-rodovias-2023.pdf> Acesso em: 26 maio 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde. Departamento de Informática do SUS – DATASUS. **Indicadores de mortalidade por causas externas**. Brasília, DF: DATASUS, 2021. Disponível em: <http://tabnet.datasus.gov.br/>. Acesso em: 11 abr. 2025.

CARVALHO, M. S.; SOUZA-SANTOS, R. **Análise de dados espaciais em saúde pública: métodos, problemas, perspectivas**. *Cadernos de Saúde Pública*, Rio de Janeiro, v. 21, n. 2, p. 361–378, 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csp/a/HJ3R3BCKPCbCsk9YTgKqRW/N/>. Acesso em: 12 maio 2025.

Denatran (2018) **Plano Nacional de Redução de Mortes e Lesões no Trânsito – PNATRANS**. Brasília: Ministério das Cidades. Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/pnatrans> Acesso em 12 mai. 2025.

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Malha viária federal - Shapefile**. Brasília: DNIT, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/dados-de-transportes/bit/bit-mapas>. Acesso em: 25 maio 2025.

Ferraz, A. C. P.; A. C. "Coca" Ferraz et al. (2023) **Segurança no trânsito**. São Carlos: Núcleo de Estudos de Segurança no Trânsito – USP; Observatório Nacional de Segurança Viária.

FORMAN, E. H.; GONZALEZ, A. **Multi-criteria decision analysis: methods and software**. New York: Wiley, 2018.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Relatório mundial sobre a situação da segurança viária 2023**. Genebra: OMS, 2023. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240086517>. Acesso em: 19 abr. 2025.

Polícia Rodoviária Federal (Brasil) (2023) **Relatório estatístico de sinistros nas rodovias federais: 2017–2023**. Brasília: PRF. Disponível em: <https://www.gov.br/prf> Acesso em: 18/ jan.2025.

SAATY, T. L. **The Analytic Hierarchy Process**. New York: McGraw-Hill, 1980.