UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

SEGMENTOS CRÍTICOS EM RODOVIAS FEDERAIS DO DISTRITO FEDERAL: DIAGNÓSTICO E CONTRAMEDIDAS PARA MOTOCICLISTAS

DANIEL KÜMMEL

ORIENTADORA: MICHELLE ANDRADE

PROJETO FINAL EM ENGENHARIA CIVIL

BRASÍLIA/DF: DEZEMBRO/2025

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

SEGMENTOS CRÍTICOS EM RODOVIAS FEDERAIS DO DISTRITO FEDERAL: DIAGNÓSTICO E CONTRAMEDIDAS PARA MOTOCICLISTAS

DANIEL KÜMMEL

TRABALHO DE PROJETO FINAL SUBMETIDO AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL.

APROVADO POR:

_____
MICHELLE ANDRADE, Dra (UnB)
ORIENTADORA

_____
PAULO CESAR MARQUES DA SILVA, PhD (UnB)
EXAMINADOR INTERNO

_____
GABRIEL ANDRADE LANZARO, MSc (UBC)
EXAMINADOR EXTERNO

BRASÍLIA/DF, 18 de DEZEMBRO de 2025.

FICHA CATALOGRÁFICA

KÜMMEL, DANIEL

Segmentos Críticos em Rodovias Federais do Distrito Federal: Diagnóstico e Contramedidas para Motociclistas. Distrito Federal, 2025.

vii, 101p., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Civil, 2025).
Trabalho de Projeto Final – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Segmentos Críticos	2. Contramedidas de engenharia
3. Sinistros de trânsito	4. Segurança viária
I. ENC/FT/UnB	II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

KÜMMEL, D. (2025). Segmentos Críticos em Rodovias Federais do Distrito Federal: Diagnóstico e Contramedidas para Motociclistas. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, DF, 100p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Daniel Kümmel

TÍTULO DO TRABALHO DE PROJETO FINAL: Segmentos Críticos em Rodovias Federais do Distrito Federal: Diagnóstico e Contramedidas para Motociclistas

GRAU/ANO: Bacharel em Engenharia Civil / 2025.

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta monografia de Projeto Final e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Daniel Kümmel
Via Professor João Ribeiro, CH 1.
CEP: 71681-991– Brasília/DF – Brasil.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Rosemeire e José Ricardo, meus maiores incentivadores e exemplos de vida. Graças ao apoio incondicional, ao amor e aos sacrifícios de vocês, pude trilhar este caminho e concretizar o sonho da graduação.

À minha namorada, Mel, minha parceira de todas as horas. Obrigado por todo o amor, compreensão e suporte que sustentaram nossa trajetória desde antes do início do curso até esta conquista. Dividir sonhos e celebrar cada pequena vitória ao seu lado tornou tudo mais especial.

Um agradecimento especial à minha irmã, Sabrina, pela sorte de dividirmos o curso e, agora, o diploma. Ter você como companheira nessa jornada tornou cada desafio mais leve. Estendo minha gratidão ao seu companheiro, Gabriel, pela amizade e torcida constantes.

À minha orientadora, Profa. Dra. Michelle Andrade, expresso minha profunda gratidão. Agradeço não apenas pela orientação de excelência, mas também pela paciência, parceria e por me introduzir ao universo da segurança viária com tanto entusiasmo. Sua condução foi determinante para o amadurecimento deste trabalho e para minha formação profissional.

Agradeço ao pesquisador Lucas Fermi, pelo desenvolvimento da ferramenta SASCR e pelo suporte técnico. Estendo meus agradecimentos à PRF e ao DNIT, pela disponibilização dos dados que serviram de base para esta pesquisa.

Aos meus amigos e colegas de curso da Universidade de Brasília, Lucas, Marco, Tomás e Vitor Hugo, obrigado por compartilharem as noites de estudo, os trabalhos em grupo e os momentos de descontração que tornaram a carga mais leve.

Por fim, agradeço a todos os professores do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da UnB que contribuíram para o meu desenvolvimento, e a todos que, direta ou indiretamente, fizeram parte desta jornada.

RESUMO

A elevada sinistralidade envolvendo motociclistas configura um grave problema de saúde pública e segurança viária no Brasil. Este trabalho teve como objetivo identificar, diagnosticar e propor contramedidas de engenharia para os segmentos críticos de sinistros com motocicletas nas rodovias federais do Distrito Federal. A pesquisa baseou-se em uma abordagem reativa, utilizando uma base de dados consolidada da Polícia Rodoviária Federal (PRF) e do DNIT, abrangendo o período de 2019 a 2024. A metodologia empregou três métodos distintos para a identificação de locais críticos: Determinação do Valor Crítico, Método Empírico de Bayes e Estimativa de Densidade de Kernel (KDE), ponderados pelo índice de Unidade Padrão de Severidade (UPS). Os resultados revelaram uma concentração de ocorrências nas rodovias BR-040, BR-020 e BR-070, com perfis de risco distintos: enquanto a BR-040 apresenta saturação e conflitos de fluxo (colisões traseiras e corredores), as demais rodovias destacam-se pela severidade associada à velocidade e saídas de pista. A análise temporal evidenciou que a concentração de sinistros nos horários de pico matutinos reflete o movimento pendular do tráfego em dias úteis. Com base no diagnóstico e nos conceitos de Sistemas Seguros e Rodovias que Perdoam, foram propostas contramedidas de engenharia escalonadas (mínima, intermediária e ideal), incluindo gerenciamento de velocidade, dispositivos de contenção com proteção para motociclistas (*rub-rails*) e melhorias na sinalização e iluminação, visando a mitigação da severidade e a preservação da vida.

Palavras-chave: Segurança Viária. Motociclistas. Segmentos Críticos. Engenharia de Tráfego. Contramedidas.

ABSTRACT

High crash rates involving motorcyclists constitute a serious public health and road safety problem in Brazil. This study aimed to identify, diagnose, and propose engineering countermeasures for critical crash segments involving motorcycles on federal highways in the Federal District. The research relied on a reactive approach, using a consolidated database from the Federal Highway Police (PRF) and National Department of Transport Infrastructure (DNIT), covering the period from 2019 to 2024. The methodology employed three distinct methods for identifying critical locations: Critical Value Determination, Empirical Bayes Method, and Kernel Density Estimation (KDE), weighted by the Standard Severity Unit (UPS) index. The results revealed a concentration of occurrences on highways BR-040, BR-020, and BR-070, with distinct risk profiles: while BR-040 presents saturation and flow conflicts (rear-end collisions and lane filtering), the other highways are characterized by severity associated with speeding and run-off-road crashes. Temporal analysis confirmed that crash patterns reflect commuting flows, concentrated during morning peak hours on weekdays. Based on the diagnosis and the concepts of Safe Systems and Forgiving Roads, scaled engineering countermeasures were proposed (minimum, intermediate, and ideal), including speed management, containment devices with motorcyclist protection (rub-rails), and improvements in signage and lighting, aiming at severity mitigation and life preservation.

Keywords: Road Safety. Motorcyclists. Critical Segments. Traffic Engineering. Countermeasures.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 1
1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA 2
1.2 OBJETIVOS 2
1.3 JUSTIFICATIVA 3
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO 4
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 5
2.1 SINISTROS NO TRÂNSITO 5
2.1.1 DEFINIÇÃO E TERMINOLOGIA 5
2.1.2 CONTEXTUALIZAÇÃO DOS SINISTROS NO BRASIL 10
2.2 GESTÃO DE SEGURANÇA VIÁRIA 12
2.2.1 MÉTODOS DE IDENTIFICAÇÃO DE SEGMENTOS CRÍTICOS 16
2.3 CONTRAMEDIDAS DE ENGENHARIA 18
2.3.1 DISPOSITIVOS DE CONTENÇÃO VIÁRIA 19
2.3.2 REMOÇÃO DE OBJETOS RÍGIDOS 22
2.3.3 GERENCIAMENTO DE VELOCIDADE 26
2.3.4 ILUMINAÇÃO 29
2.3.5 SONORIZADORES NA PISTA 32
3 MÉTODO 34
3.1 BASE DE DADOS 35
3.2 SEGMENTAÇÃO DA MALHA VIÁRIA 35
3.3 IDENTIFICAÇÃO DOS SEGMENTOS CRÍTICOS 36
3.4 ANÁLISE COMPARATIVA DAS TRILHAS 37
3.5 PROCEDIMENTO PARA DEFINIÇÃO DE CONTRAMEDIDAS 38
4 APLICAÇÃO DO MÉTODO E ANÁLISE DOS RESULTADOS 39
4.1 COLETA E TRATAMENTO DA BASE DE DADOS 39

4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS SINISTROS 42
4.3 SEGMENTAÇÃO DA MALHA VIÁRIA NA BASE DE DADOS 46
4.4 IDENTIFICAÇÃO DOS SEGMENTOS CRÍTICOS 47
4.4.1 TRILHA 1: ANÁLISE DE VALOR CRÍTICO 49
4.4.2 TRILHA 2: ANÁLISE ESTATÍSTICA 51
4.4.3 TRILHA 3: ANÁLISE ESPACIAL 53
4.5 COMPARAÇÃO E CONVERGÊNCIA DAS TRILHAS 57
4.5.1 ANÁLISE DE SOBREPOSIÇÃO 58
4.5.2 CORRELAÇÃO DE *RANKINGS* 59
5 DEFINIÇÃO DE CONTRAMEDIDAS 61
5.1 DIAGNÓSTICO DE TRECHOS CRÍTICOS 61
5.2 INDICAÇÃO DE CONTRAMEDIDAS DE ENGENHARIA 58
5.2.1 MITIGAÇÃO DE SAÍDA DE PISTA E COLISÃO COM OBJETOS FIXOS 59
5.2.2 GERENCIAMENTO DE CONFLITOS LONGITUDINAIS 60
5.2.3 VISIBILIDADE E SEGURANÇA NOTURNA 61
6 CONCLUSÃO 63
6.1 SÍNTESE DAS CONTRIBUIÇÕES E RESULTADOS 63
6.2 LIMITAÇÕES METODOLÓGICAS E DOS DADOS 64
6.3 PERSPECTIVAS PARA TRABALHOS FUTUROS 65
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 66
APÊNDICE A – BASE DE DADOS 80
APÊNDICE B – TRILHA 2 83
APÊNDICE C – TRILHA 3 84
APÊNDICE D – DETALHAMENTO OPERACIONAL DOS TRECHOS CRÍTICOS 83

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Sinistros com vítimas e mortes por tipo de sinistro em 2024 6

Tabela 2.2 - Distribuição dos fatores causadores de acidentes em países desenvolvidos 10

Tabela 2.3 - Vantagens e limitações da aplicação de cada Trilha 18

Tabela 2.4 - Impactos de dispositivos de divisão de fluxo no número de sinistros, em % 21

Tabela 2.5 - Impactos de dispositivos de borda da pista no número de sinistros, em % 21

Tabela 2.6 - Distribuição das velocidades segundo a distância dos radares fixos 28

Tabela 2.7 - Variações nos Sinistros Noturnos com Melhoria na Iluminação 30

Tabela 4.1 - Trechos rodoviários do estudo 41

Tabela 4.2 - Evolução anual dos sinistros com motocicletas (2019-2024) 42

Tabela 4.3 - Segmentos Críticos pela Trilha 1 51

Tabela 4.4 – Segmentos Críticos Prioritários pela Trilha 2 53

Tabela 4.5 - Segmentos Críticos Prioritários pela Trilha 3 56

Tabela 4.6 – Segmentos Críticos pelos 3 métodos 57

Tabela 4.7 - Sobreposição entre Métodos 58

Tabela 4.8 - Evolução da Correlação de *Rankings* entre Métodos (2019-2024) 59

Tabela 5.1 – Matriz de Recorrência de Causas de Sinistros 1 56

Tabela 5.2 – Matriz de Recorrência de Causas de Sinistros 2 56

Tabela 5.3 - Contramedidas para Saídas de Pista e Choques 60

Tabela 5.4 - Contramedidas para Distração e Colisões Traseiras 61

Tabela 5.5 - Contramedidas para Visibilidade e Iluminação 62

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Distribuição geográfica da letalidade dos sinistros no ano de 2024 7

Figura 2.2 - Distribuição geográfica do percentual de motocicletas, motonetas e ciclomotores em 2024..... 7

Figura 2.3 - Dados das causas dos sinistros no ano de 2024 9

Figura 2.4 - Frota de motocicletas. Brasil, 2011 a 2021 11

Figura 2.5 - Risco de lesão para os condutores e passageiros de ciclomotor, motocicleta e automóvel..... 12

Figura 2.6 - Fluxograma de Gestão da Segurança Viária 13

Figura 2.7 - Definição gráfica de sinistro de trânsito..... 19

Figura 2.8 – Dispositivos de contenção na divisão de fluxo..... 20

Figura 2.9 - Fluxograma para projeto seguro das laterais das vias 26

Figura 2.10 - Distância de reação, frenagem e parada em função da velocidade 27

Figura 2.11 - Distribuição dos fatores viário-ambientais por severidade 30

Figura 2.12 - Exemplo de sonorizadores transversais 32

Figura 2.13 - Exemplo de sinalização horizontal áudio-tátil longitudinal..... 33

Figura 3.1 - Esquematização do fluxograma metodológico 34

Figura 4.1 – Distribuição percentual dos sinistros com motociclistas por Rodovia Federal (2019-2024)..... 43

Figura 4.2 – Perfil etário dos condutores de motocicleta envolvidos em sinistros 44

Figura 4.3 - Principais tipos de sinistros envolvendo motocicletas no DF 45

Figura 4.4 – Principais causas de sinistros com motocicletas 45

Figura 4.5 - Interface gráfica do *software* desenvolvido para identificação de segmentos críticos 48

Figura 4.6 - Distribuição espacial dos segmentos críticos totais identificados pela Trilha 1 ..50

Figura 4.7 - Distribuição espacial dos segmentos críticos totais identificados pela Trilha 2 ..52

Figura 4.8 - Distribuição espacial dos segmentos críticos totais identificados pela Trilha 3 ..55

Figura 5.1 - Distribuição dos sinistros dos segmentos críticos em função do horário.....57

LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURA E ABREVIAÇÕES

ASV ..... Auditoria de Segurança Viária
CAV ..... Controle Automático de Velocidade
CISA ..... Centro de Informações sobre Saúde e Álcool
CNT ..... Confederação Nacional do Transporte
CPES ..... Centro de Pesquisa e Economia do Seguro
DER ..... Departamento de Estradas de Rodagem
DNIT ..... Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
HSM ..... *Highway Safety Manual*
IBGE ..... Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
KDE ..... *Kernel Density Estimation*
NBR ..... Norma Brasileira
OMS ..... Organização Mundial da Saúde
ONSV ..... Observatório Nacional de Segurança Viária
PIB ..... Produto Interno Bruto
PNATRANS ..... Plano Nacional de Redução de Mortes e Lesões no Trânsito
QIC ..... *Quasi-likelihood under the Independence Model Criterion*
RSL ..... Revisão Sistemática da Literatura
SAUs ..... Serviço de Atendimento ao Usuário
SUS ..... Sistema Único de Saúde
UBAs ..... Unidades Básicas de Atendimento
UNI EN..... *Ente Nazionale Italiano di Unificazione European Norm*
VDM ..... Volume Diário Médio

1 INTRODUÇÃO

Os sinistros de trânsito geram consequências que transcendem as perdas humanas, englobando despesas médicas, ocupação de leitos hospitalares, invalidez permanente, abalos psicológicos, bem como indenizações, pensões e danos materiais (IPEA, 2003). O impacto econômico global é estimado entre 1% e 3% do Produto Interno Bruto (PIB) anual de um país (Banco Mundial, 2002).

Dentro desse cenário de impacto multidimensional, a participação das motocicletas nos sinistros é particularmente relevante. Conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2025), a frota nacional de motocicletas, motonetas e ciclomotores apresentou um crescimento expressivo: de 9 milhões em 2006, saltou para 34 milhões em 2024. Esse rápido crescimento está diretamente associado ao menor custo de aquisição e a maior agilidade que esses veículos oferecem no trânsito urbano. Essa tendência foi amplificada pela pandemia de COVID-19, devido à percepção de maior segurança contra a transmissão viral (ZAFRI *et al*., 2021). Contudo, esses fatores também contribuem para o aumento inerente dos riscos de sinistros envolvendo motocicletas (SILVA, 2023).

Apesar de representarem 27% da frota nacional, as motocicletas estão envolvidas em 74% dos sinistros, com 59% das vítimas sendo os próprios condutores. Essa elevada sinistralidade resulta em uma parcela significativa das internações, casos de invalidez permanente e nos custos hospitalares do Sistema Único de Saúde (SUS), onde motociclistas são responsáveis por mais de 50% desses gastos (AGÊNCIA BRASIL, 2018; OPAS, 2018).

Apesar da relevância crescente do tema, o Brasil ainda carece de uma cultura estruturada de gestão proativa da segurança viária, como preconizado por manuais internacionais (PIARC, 2019; OECD, 2008). Em grande parte das análises, a tomada de decisão depende fortemente de dados de sinistros registrados, caracterizando uma abordagem reativa. Essa limitação metodológica está associada a desafios como a subnotificação, duplicidade de registros e baixa padronização das fontes de dados, o que compromete a precisão das análises (IPEA, 2023; Porath, 2002).

Diante dessas limitações, torna-se necessário adotar métodos que ponderem a gravidade das ocorrências, mitigando as distorções causadas pela subnotificação de eventos leves sem descartar a amostra estatística total. Nesse sentido, a aplicação da Unidade Padrão de Severidade (UPS) permite integrar todos os tipos de sinistros, atribuindo pesos distintos que

privilegiam estatisticamente os eventos de maior gravidade (BRASIL, 2025b). Essa abordagem baseada em dados históricos ponderados tem permitido identificar com maior robustez os segmentos críticos da rede viária, onde o risco real se concentra. A identificação desses trechos é estratégica para orientar ações de engenharia que contribuam para a redução da acidentalidade, podendo ser também adequada para o caso específico dos motociclistas, que representam uma parcela expressiva das vítimas fatais no trânsito brasileiro.

Ainda, a análise pode ser complementada pelo emprego da Abordagem de Sistemas Seguros e Visão Zero. Essa é uma estratégia de segurança no trânsito que assume um compromisso ético de proteger a vida humana, pois considera a morte ou lesão grave no trânsito como inaceitável (FERRAZ *et al*., 2023). A Visão Zero busca a criação de um sistema viário e/ou veicular que seja capaz de perdoar o erro humano e reduzir a severidade do sinistro, evitando as mortes e as lesões graves (VISÃO ZERO 2030, 2021).

1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

A elevada sinistralidade observada na malha rodoviária nacional impõe a necessidade de estudos que visem à sua mitigação. Para tanto, as pesquisas em segurança viária devem priorizar não apenas a redução da frequência de ocorrências, mas também a atenuação da severidade dos sinistros. Essa abordagem é crucial, especialmente considerando as limitações informacionais e orçamentárias existentes.

Diante desse cenário, formula-se o problema central desta pesquisa: como identificar e hierarquizar, a partir de métodos reativos baseados em dados históricos de sinistro de trânsito, os segmentos críticos da malha rodoviária federal do Distrito Federal com maior risco para motociclistas, e quais diretrizes de contramedidas de engenharia são mais adequadas para mitigar a severidade dos sinistros nesses trechos?

1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é analisar a segurança viária de motociclistas nas rodovias federais do Distrito Federal, por meio da identificação, hierarquização e comparação de segmentos críticos obtidos a partir de diferentes métodos reativos, de modo a subsidiar a proposição de diretrizes de contramedidas de engenharia voltadas à mitigação da severidade dos sinistros.

Objetivos específicos:

a) Identificar e caracterizar os segmentos críticos de rodovias federais do Distrito Federal com maior concentração e severidade de sinistros envolvendo motociclistas, utilizando dados históricos ponderados por gravidade;
b) Avaliar a consistência dos resultados obtidos por diferentes métodos de identificação de segmentos críticos, por meio da análise da convergência espacial, correlação de *rankings* e da hierarquização do risco;
c) Diagnosticar os principais padrões de risco associados aos segmentos críticos e propor diretrizes de contramedidas de engenharia, visando à mitigação da severidade dos sinistros envolvendo motociclistas.

1.3 JUSTIFICATIVA

A elevada sinistralidade do trânsito brasileiro, especialmente envolvendo motociclistas, grupo notoriamente vulnerável no trânsito, configura um grave problema de saúde pública, segurança viária e sustentabilidade econômica. A expressiva participação desse grupo nas estatísticas de mortes e internações hospitalares demanda estudos específicos, com foco em estratégias direcionadas à redução de riscos e severidade das ocorrências. Nesse contexto, torna-se essencial desenvolver ferramentas técnicas que subsidiem o planejamento e a priorização de intervenções viárias com base em evidências.

Este estudo busca articular conceitos da segurança viária com a aplicação de uma abordagem reativa, fundamentada em dados georreferenciados e na identificação de segmentos críticos da malha viária. Para contornar a subnotificação típica dos sinistros de menor gravidade, utilizou-se a ponderação via Unidade Padrão de Severidade (UPS). Essa abordagem privilegia estatisticamente os eventos com óbito, garantindo que a análise reativa permaneça ancorada nos dados de maior confiabilidade e integridade disponíveis no sistema.

A principal contribuição do trabalho está na aplicação prática de métodos de identificação de trechos críticos voltados especificamente para motociclistas, público ainda pouco contemplado em estudos acadêmicos com recorte geográfico no Distrito Federal. Além disso, com a proposição de indicar contramedidas de engenharia direcionadas a cada trecho crítico, o estudo

busca gerar impacto direto na formulação de políticas e projetos de segurança viária no Distrito Federal.

Por fim, a metodologia empregada é replicável, podendo ser adaptada a outros territórios e realidades, inclusive por gestores públicos ou concessionárias de rodovias. Ao fornecer uma estrutura de análise acessível, fundamentada em critérios técnicos e com foco em resultados, o estudo se alinha aos princípios de um sistema viário mais seguro, eficiente e baseado em evidências.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado em seis capítulos. O Capítulo 1 apresenta a introdução do estudo, contextualizando o problema da segurança viária envolvendo motociclistas nas rodovias federais do Distrito Federal, bem como o problema de pesquisa, os objetivos e a justificativa do trabalho. O Capítulo 2 reúne a fundamentação teórica, abordando os principais conceitos relacionados à segurança viária, à identificação de segmentos críticos e à segmentação da malha rodoviária, com base em manuais e referências técnicas consolidadas. O Capítulo 3 descreve a metodologia adotada, incluindo a base de dados utilizada, os procedimentos de tratamento das informações, a segmentação da malha viária, os métodos empregados para a identificação dos segmentos críticos e a análise de convergência entre os resultados. O Capítulo 4 apresenta e discute os resultados obtidos, contemplando a identificação, a hierarquização e a análise dos segmentos críticos ao longo do período estudado. O Capítulo 5 dedica-se ao diagnóstico dos segmentos críticos identificados e à proposição de contramedidas de engenharia voltadas à mitigação da severidade dos sinistros envolvendo motociclistas. Por fim, o Capítulo 6 apresenta as conclusões do estudo, destacando as principais contribuições, limitações e sugestões para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 SINISTROS NO TRÂNSITO

2.1.1 DEFINIÇÃO E TERMINOLOGIA

De acordo com a NBR 10697 - Pesquisa de Sinistros de Trânsito – Terminologia (ABNT, 2020), um sinistro de trânsito é definido como:

> [...] todo evento que resulte em dano ao veículo ou à sua carga e/ou lesão a pessoas e/ou animais, e que possa trazer dano material ou prejuízos ao trânsito, à via ou ao meio ambiente, em que pelo menos uma das partes está em movimento nas vias terrestres ou em áreas abertas ao público.

A classificação correta dos tipos de sinistros é crucial para identificar as prováveis causas de sua ocorrência e, consequentemente, para que se possa definir as ações para reduzir a sinistralidade (Ferraz *et al*., 2012). A Confederação Nacional do Transporte – CNT (2025) define e detalha os seguintes tipos de sinistro de trânsito:

d) Atropelamento: sinistro em que o(s) pedestre(s) ou animal(is) sofre(m) o impacto de um veículo, estando pelo menos uma das partes em movimento.
e) Capotamento: sinistro em que o veículo gira sobre si mesmo, em qualquer sentido, chegando a ficar com as rodas para cima, imobilizando-se em qualquer posição.
f) Choque: sinistro em que há impacto de um veículo contra qualquer objeto fixo ou móvel, mas sem movimento.
g) Colisão: sinistro em que um veículo em movimento sofre o impacto de outro veículo, também em movimento.
h) Queda: sinistro em que há impacto em razão de queda livre do veículo, ou queda de pessoas ou cargas por ela transportadas.

A Tabela 2.1 apresenta os dados de sinistros com vítimas e mortes, por tipo de sinistro no Brasil, em 2024.

Tabela 2.1 - Sinistros com vítimas e mortes por tipo de sinistro em 2024

Tipo de Sinistro	Nº de Sinistros	% Sinistros	Nº de Mortes	% Mortes
Colisão	31.772	60,0%	3.361	61,9%
Saída de pista	8.035	15,2%	697	12,8%
Capotamento/Tombamento	6.260	11,8%	328	6,0%
Atropelamento	3.865	7,3%	943	17,4%
Queda de ocupante	2.684	5,1%	77	1,4%
Eventos atípicos	219	0,4%	21	0,4%
Incêndio	60	0,1%	0	0,0%
Derramamento de carga	53	0,1%	5	5,0%
Total	**52.948**	**100,0%**	**5.432**	**100,0%**

Fonte: dados da CNT (2025).

A classificação quanto à gravidade está relacionada aos danos causados às vítimas envolvidas e ao seu entorno. No Brasil, a Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2025) adota uma classificação em três categorias de gravidade para seus registros de ocorrências:

a) Sinistro com ferido: É qualquer sinistro de trânsito em que uma ou mais pessoas sofrem lesões;
b) Sinistro com morte: É qualquer sinistro de trânsito em que ocorra a morte de, pelo menos, uma pessoa. Portanto, é possível que, em um sinistro com morte, também existam feridos;
c) Sinistro com vítima: É o conjunto dos sinistros com feridos e com mortos.

Segundo Ferraz *et al.* (2012), as vítimas fatais são consideradas apenas aquelas que tenham vindo a óbito no local do sinistro ou até o encerramento do boletim de ocorrência. Contudo, a NBR 10697 (ABNT, 2020) adota uma perspectiva mais abrangente, considerando como vítimas fatais aquelas que vieram a óbito imediato ou em até 30 dias após o ocorrido, como resultado dos sinistros ou de suas implicações.

A Figura 2.1 apresenta a distribuição da letalidade no trânsito brasileiro em 2024, ilustrando o número de mortes por 100 sinistros registrados. Evidencia-se a não homogeneidade da segurança viária no país, onde a severidade dos sinistros e a consequente taxa de mortalidade exibem concentrações elevadas que, embora não se localizem na área em análise neste estudo, são de suma importância para a orientação dos órgãos responsáveis em uma possível futura aplicação dos resultados desta pesquisa.

Além disso, a Figura 2.2 apresenta a distribuição geográfica do percentual de motocicletas, motonetas e ciclomotores por veículo registrado. Observa-se uma correlação entre a prevalência de motocicletas e a quantidade de óbitos por sinistro com vítimas.

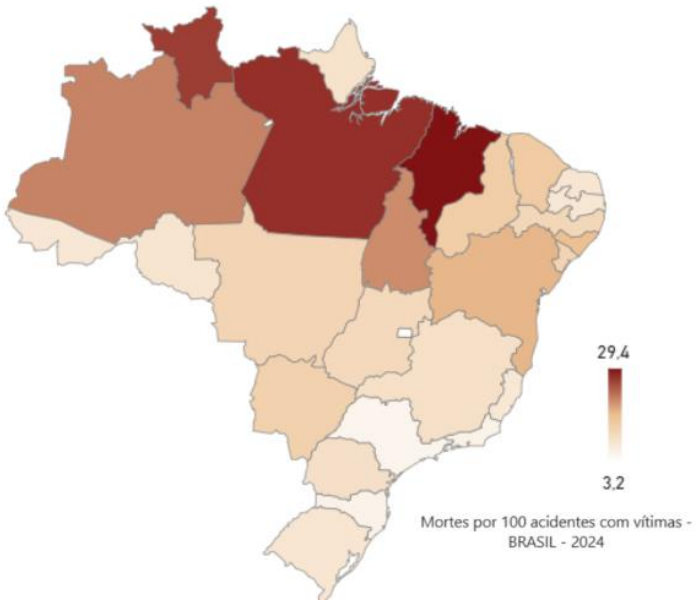


Figura 2.1 - Distribuição geográfica da letalidade dos sinistros no ano de 2024

Fonte: adaptado de CNT (2025).

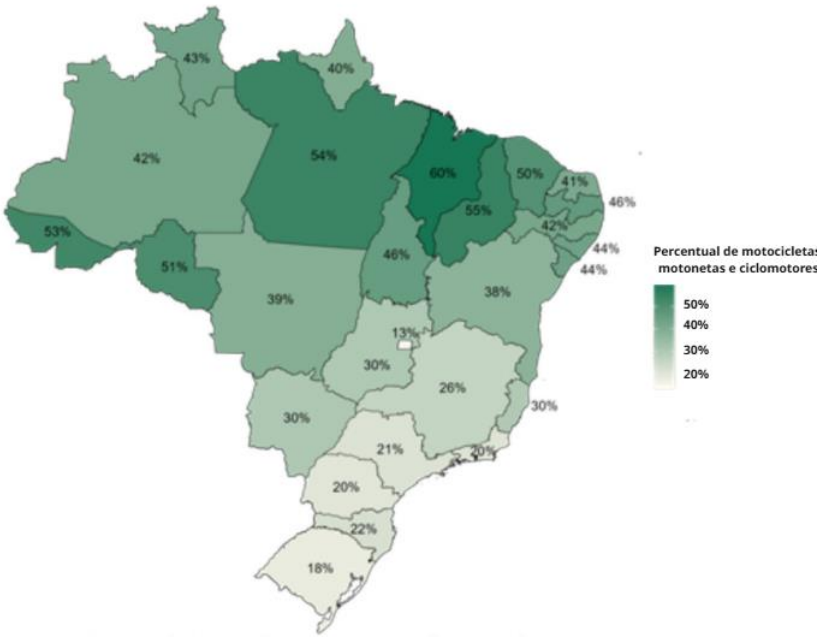


Figura 2.2 - Distribuição geográfica do percentual de motocicletas, motonetas e ciclomotores em 2024

Fonte: adaptado de SENATRAN (2024).

Atualmente, reconhece-se que os sinistros resultam de uma complexa interação de fatores (OGDEN, 1996; GELAU *et al*., 2000), sendo a maioria deles passíveis de prevenção

(ABDETRAN, 1997). Os fatores geradores de sinistros são categorizados pela NBR 10697 (ABNT, 2020), sendo divididos em cinco categorias principais:

a) Fator externo: Condições climáticas, ambientais ou interferências externas que prejudicam a segurança viária, como objetos ou animais na via;

b) Fator humano: Erros cometidos por condutores, passageiros ou pedestres, como excesso de velocidade, ingestão de álcool e falta de atenção.

c) Fator operacional: Problemas relacionados ao transporte de carga, como mau posicionamento ou amarração inadequada, comprometendo a segurança do veículo e dos usuários da via;

d) Fator veicular: Falhas mecânicas ou manutenção inadequada, como problemas nos freios, pneus desgastados e defeitos de fabricação, que contribuem diretamente para a ocorrência de sinistros;

e) Fator viário: Deficiências na infraestrutura, como falta de sinalização, má qualidade da pavimentação, ausência de acostamentos e iluminação inadequada.

A Figura 2.3 apresenta a caracterização dos sinistros com vítimas, por causa do sinistro, para o ano de 2024 no Brasil.

Causa	N	%
Reação tardia ou ineficiente do condutor	9.241	15,1%
Ausência de reação do condutor	8.986	14,7%
Acessar a via sem observar a presença dos outros veículos	6.336	10,3%
Velocidade incompatível	3.776	6,2%
Condutor deixou de manter distância do veículo da frente	3.747	6,1%
Manobra de mudança de faixa	3.700	6,0%
Transitar na contramão	2.233	3,6%
Ingestão de álcool pelo condutor	2.221	3,6%
Condutor Dormindo	1.808	2,9%
Demais falhas mecânicas ou elétricas	1.637	2,7%
Ultrapassagem indevida	1.540	2,5%
Trafegar com motocicleta (ou similar) entre as faixas	1.293	2,1%
Desrespeitar a preferência no cruzamento	1.241	2,0%
Animais na Pista	1.201	2,0%
Total	**61.337**	**100,0%**

Figura 2.3 - Dados das causas dos sinistros no ano de 2024

Fonte: CNT (2025).

Além desses, a NBR 10697 considera outros fatores contribuintes, como a ausência ou ineficiência de legislação, fiscalização, equipamentos de segurança e educação para o trânsito (ABNT, 2020).

Ainda, a Tabela 2.2 apresenta os valores obtidos em pesquisas realizadas em alguns países desenvolvidos e no Brasil sobre a incidência dos fatores de risco associados aos diversos componentes do sistema de trânsito nos sinistros. A análise dos valores permite inferir que a presença de erro humano está presente na maioria dos sinistros, seja no Brasil ou nos países desenvolvidos.

Tabela 2.2 - Distribuição dos fatores causadores de sinistros em países desenvolvidos

Fator	Valores baseados nos trabalhos de Sabey & Staughton e Treat *et al*.	Valores citados por Wienwille	Valores obtidos no Brasil por Scaringella
Humano (H)	67	65	44
Via / Meio Ambiente (A)	3	2	0
Veículo (V)	3	2	0
H + A	23	25	29
H + V	4	5	19
A + V	0	0	0
H + A + V	1	1	8
Total	100	100	100
Presença de H	95	96	100
Presença de A	27	26	37
Presença de V	8	6	27

Fonte: Adaptado Ferraz *et al*. (2012).

O reconhecimento de que o fator humano é o principal elemento estatisticamente associado aos sinistros não deve ser usado para atribuir a responsabilidade exclusiva à vítima. Uma vez que as falhas humanas são inevitáveis, devido a fatores como fadiga e distração, devem ser implementadas estratégias apropriadas.

2.1.2 CONTEXTUALIZAÇÃO DOS SINISTROS NO BRASIL

O Brasil tem enfrentado um cenário preocupante em relação à segurança no trânsito, evidenciado por crescentes índices de sinistros. Em 2001, a taxa de mortos por 10.000 veículos era de 6,3, enquanto em países desenvolvidos esse valor era cerca de 3 (DENATRAN, 2001). A década seguinte registrou a persistência do cenário crítico, entre 2000 e 2010 o número de óbitos registrados em sinistros de trânsito no Brasil cresceu 48,27% (FERRAZ *et al*., 2012). Em 2013, o Brasil se tornou o terceiro país em número de óbitos no trânsito (OMS, 2015). O Ministério da Saúde do Brasil registrou, em 2014, 176.007 internações hospitalares por sinistros de transporte terrestre, correspondendo a uma taxa de 8,6 internações para cada 10 mil habitantes. Esses atendimentos geraram custos para o Sistema Único de Saúde (SUS) da ordem de R$ 244 milhões, com destaque para a alta proporção de motociclistas — responsáveis por mais de 50% desses gastos (OPAS, 2018; SILVA *et al*., 2022). Essa realidade demonstra que os sinistros de trânsito são um grave problema de saúde e segurança públicas.

Em continuidade, estima-se que os sinistros custam entre 1% e 3% do Produto Interno Bruto (PIB) anual de um país (BANCO MUNDIAL, 2002). Em São Paulo, o custo social foi estimado em cerca de 2% do PIB paulista, representando uma perda anual significativa (DER SP, 2023).

Ainda, dentre os sinistros registrados, chama atenção a elevada proporção de sinistros envolvendo motocicletas, que respondem por uma parcela significativa das internações, invalidez permanente e custos hospitalares. Segundo o Centro de Pesquisa e Economia do Seguro (CPES), apesar de representarem 27% da frota nacional, as motos estão envolvidas em 74% dos sinistros e 59% das vítimas são os próprios condutores (AGÊNCIA BRASIL, 2018).

Segundo dados do IBGE, em 2006 a frota nacional somava cerca de 45 milhões de veículos de todos os tipos, dos quais 27 milhões eram automóveis e 9 milhões, motocicletas. Já em 2020, esse número saltou para 107 milhões de veículos, sendo 58 milhões de carros e 28 milhões de motos. O rápido crescimento da frota de motocicletas está diretamente relacionado à expansão dos serviços de entrega em domicílio, uma vez que esse tipo de veículo apresenta menor custo de aquisição, além de maior agilidade no trânsito urbano — fatores que, por outro lado, também contribuem para o aumento dos riscos de sinistros (SILVA, 2023). A Figura 2.4 apresenta o crescimento da frota de motocicletas no Brasil.

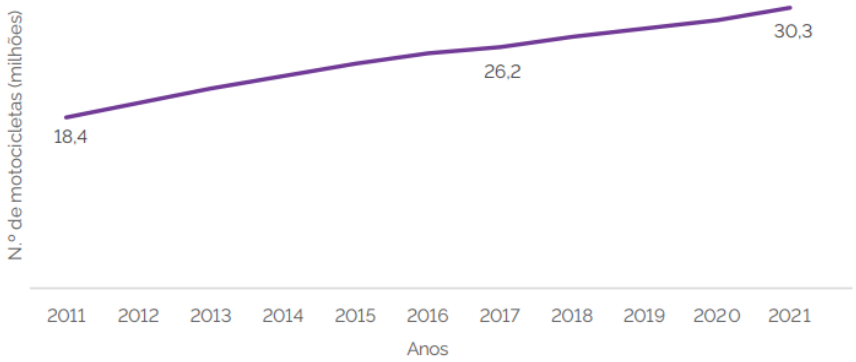


Figura 2.4 - Frota de motocicletas. Brasil, 2011 a 2021

Fonte: BRASIL (2023).

A vulnerabilidade também é um ponto de atenção e pode ser comprovada pelo perfil de internações. Segundo uma análise de 2023 feita pelo CISA (Centro de Informações sobre Saúde e Álcool), com dados de 2008 a 2018, apenas 10% dos motociclistas internados por conta de sinistros de trânsito recebem alta hospitalar sem prejuízos ou incapacidade. Os motociclistas não possuem a mesma proteção que outros tipos de vítimas, tornando as consequências de um

sinistro consideravelmente mais severas (LEITÃO *et al*., 2022). Conforme apontam Silva *et al*. (2018), essa condição é amplificada por múltiplos fatores, como a qualificação deficiente dos condutores, a ausência de equipamentos de segurança, a precariedade dos veículos e o desrespeito generalizado às normas legais de trânsito.

A Figura 2.5 apresenta uma comparação entre os níveis de risco de lesões em condutores e passageiros de automóveis e motocicletas.

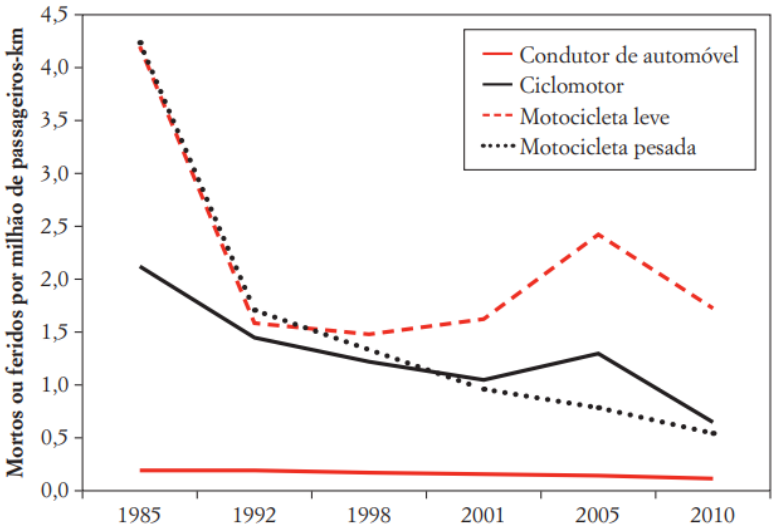


Figura 2.5 - Risco de lesão para os condutores e passageiros de ciclomotor, motocicleta e automóvel

Fonte: Bjørnskau *et al*. (2011).

Ainda, Lima *et al*. (2019) apontam que condutores de motocicletas apresentam uma probabilidade de mortalidade duas vezes superior quando comparados aos condutores de ciclomotores – veículos de duas rodas com velocidade máxima de fabricação de 50 km/h, o que indica, de maneira indireta, a influência da velocidade com que os veículos se deslocam.

2.2 GESTÃO DE SEGURANÇA VIÁRIA

A gestão da segurança viária constitui um processo sistemático que visa reduzir o número e a severidade dos sinistros rodoviários, mitigando as consequências negativas para as pessoas envolvidas nas ocorrências. Um processo eficaz de gestão da segurança viária é fundamental para a seleção e a implementação de estratégias e projetos de segurança viária bem-sucedidos, resultando em uma melhoria na tomada de decisões (OECD, 2002).

O processo de gestão de segurança viária pode ser representado de forma cíclica, como na Figura 2.6.

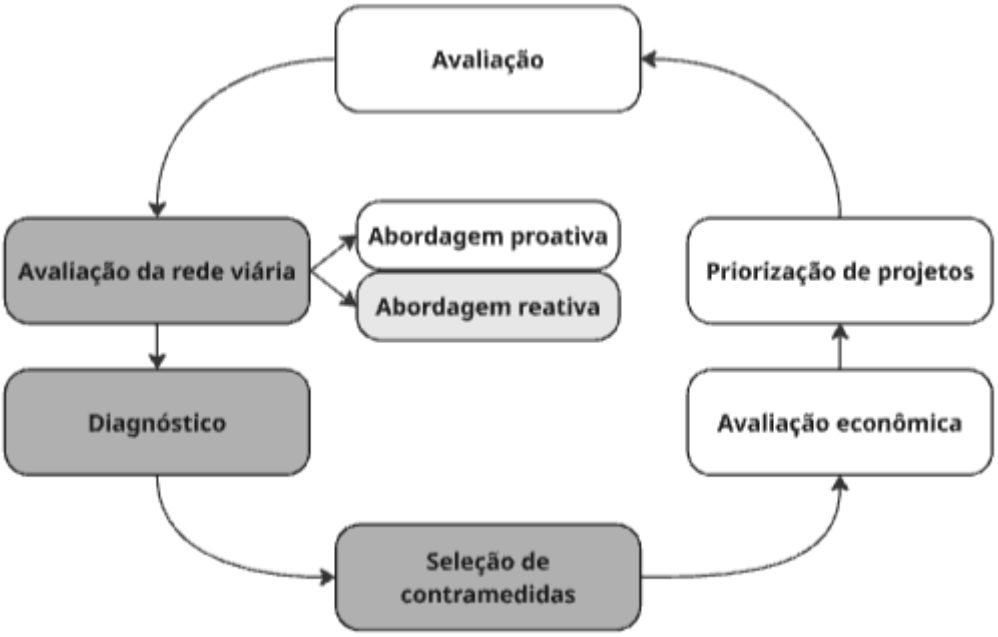


Figura 2.6 - Fluxograma de Gestão da Segurança Viária
Fonte: Adaptado de Brasil (2025a).

A primeira etapa da gestão é a avaliação da rede viária, responsável por identificar e classificar os locais com maior potencial de redução no número de sinistros mediante implementação de contramedidas. Tal avaliação pode ser feita utilizando-se uma abordagem proativa ou reativa. A abordagem proativa refere-se às Medidas de Segurança Complementares (*Surrogate Safety Measures*), que têm como objetivo identificar os fatores que podem causar deficiência de segurança sem se pautar nos dados históricos de sinistros de trânsito. Como principal exemplo, destaca-se a Técnica de Análise de Conflitos. Já a abordagem reativa utiliza os dados de sinistros para análise dos trechos viários, fundamentando-se nestes para a tomada de decisão e implementação de contramedidas (PERKINS & HARRIS, 1968; BARHOUMI *et al*., 2024).

Em paralelo, a identificação de pontos críticos serve como base para o desenvolvimento das demais etapas da gestão de segurança viária. Assim, sua correta aplicação é essencial para a continuidade do procedimento. Ao identificar esses pontos e segmentos, obtém-se uma visão mais direcionada do problema. Tais instrumentos são, portanto, subsídios cruciais para que os órgãos competentes ao âmbito rodoviário tomem as melhores decisões (DEMETERCO, 2022).

A sequência do processo de gestão da segurança viária tem como foco o diagnóstico, cuja função, a partir da identificação dos segmentos na fase anterior, é a realização de estudos mais detalhados sobre os sinistros e características dos fatores de risco presentes.

A partir dos resultados obtidos, são selecionadas as contramedidas ideais para correção dos problemas e promoção da segurança viária, na etapa de seleção de contramedidas, conforme detalhado na metodologia. As contramedidas classificam-se conforme o elemento do sistema de tráfego abordado: infraestrutura (via e meio ambiente), fator humano (usuário e fiscalização) e veículo. O objetivo principal desta etapa é identificar e selecionar as intervenções mais adequadas para eliminar ou, pelo menos, mitigar os fatores de risco e/ou fatores contribuintes identificados no local, reduzindo a frequência e/ou a severidade dos sinistros.

Um desafio preponderante na previsão de frequência de sinistros é a estratégia de segmentação da rodovia, especialmente no que concerne à sua extensão. Segmentos excessivamente longos ou curtos revelam-se inadequados: enquanto segmentos extensos implicam na perda de informações detalhadas, segmentos reduzidos exibem maior variabilidade, o que acarreta a introdução de incerteza nos modelos preditivos (COOK *et al*., 2011; LU *et al*., 2013; GREEN *et al*., 2017).

Diante da complexidade intrínseca dessa escolha, a definição da extensão do segmento é frequentemente condicionada pelas variáveis consideradas e pelo foco da análise de segurança. Tal particularidade demanda atenção e ressalta a necessidade de investigar a influência da extensão do segmento e da quantidade de variáveis no processo de modelagem (COOK *et al*., 2011; GREEN & AGENT, 2011; CAFISO *et al*., 2018).

Resende e Benekohal (1997) afirmam que a utilização de um maior número de variáveis para avaliar a homogeneidade de um trecho resulta em segmentos homogêneos de menores extensões e, consequentemente, dada a característica de aleatoriedade dos sinistros, em mais segmentos com zero sinistros (SOULEYRETTE *et al*., 2007).

Por outro lado, no caso de segmentos com extensão fixa, o desafio reside em estabelecer a extensão ótima (SILVA, 2019). Resende e Benekohal (1997) investigaram a influência da extensão do segmento na previsão de taxas de sinistros em trechos rodoviários, utilizando valores entre 0,1 milha e 1 milha (0,161 km e 1,61 km) com incrementos sucessivos de 0,1 milha. Outros estudos também exploraram diferentes extensões fixas: Cenek *et al*. (1997) empregaram segmentos de 200 m; Zhang e Ivan (2005) dividiram a rodovia em segmentos de

1 km; e Costa (2013) utilizou segmentos de 200 m e 400 m. Em trabalhos na Revisão Sistemática da Literatura (RSL), Chang e Chen (2005) adotaram segmentos de 1 km, e Das e Abdel-Aty (2011) utilizaram 805 m.

Diante da variedade de conceitos e métodos de segmentação, sem uma preferência consensual na literatura, diversos pesquisadores têm dedicado esforços na busca pela segmentação ideal (SILVA, 2019). Um exemplo recente é o trabalho de Cafiso *et al*. (2018), que compararam quatro tipologias em modelos de previsão de sinistros: (i) homogêneos conforme o *Highway Safety Manual* (HSM); (ii) compostos por duas curvas e duas tangentes; (iii) extensão fixa de 650 m; e (iv) homogêneos com todas as variáveis constantes.

Segundo Silva (2019), as diferentes abordagens de segmentação foram comparadas com base na adequação do modelo, utilizando a análise dos resíduos acumulados (CURE *Plot*) e o critério de quasiverossimilhança sob o modelo de independência (*Quasi-likelihood under the Independence Model Criterion* - QIC). Os resultados demonstraram que as abordagens (ii) segmentos compostos por 2 curvas e 2 tangentes e (iii) segmentos de extensão fixa apresentaram os melhores desempenhos. Em contraste, a abordagem (iv) Segmentos Homogêneos onde todas as variáveis são constantes, conduziram aos resultados mais desfavoráveis. Tal desempenho inferior reflete o risco de a segmentação homogênea gerar múltiplos segmentos curtos, com localização imprecisa dos sinistros e um elevado número de segmentos com zero sinistros, o que prejudicou a inferência estatística. Além disso, Fitzpatrick *et al.* (2006) afirmam que a segmentação em trechos estritamente homogêneos nem sempre é exequível, dada a vasta quantidade de variáveis que poderiam ser consideradas.

Nesse sentido, Silva (2019) enfatiza o potencial de uso de segmentos de extensão fixa, ressaltando seus resultados promissores e a maior flexibilidade dessa abordagem em aplicações práticas, nas quais o comprimento ideal do segmento pode ser determinado pela disponibilidade e qualidade dos dados.

Considerando o exposto, e embora a temática ainda esteja em exploração, a segmentação viária em trechos de extensão fixa emerge como uma estratégia promissora e frequentemente adotada, sendo, portanto, empregada neste trabalho. Essa escolha é fundamentada nos resultados de estudos como o de Cafiso *et al*. (2018), a disponibilidade e tipos de dados de sinistros e a precisão dos dados operacionais (KOOREY, 2009; QIN & WELLNER, 2012).

Com a segmentação definida, aplicam-se métodos para identificar locais críticos, viabilizando o desenvolvimento de projetos voltados à redução da sinistralidade viária (SILVA, 2019).

2.2.1 MÉTODOS DE IDENTIFICAÇÃO DE SEGMENTOS CRÍTICOS

Segmentos críticos são definidos como trechos rodoviários cuja geometria e/ou condições de controle de tráfego contribuem significativamente para o aumento da probabilidade de ocorrência de sinistros. Segundo o Manual de Identificação de Segmentos Críticos Rodoviários (BRASIL, 2025b), a identificação adequada de segmentos críticos representa um elemento fundamental para a alocação eficiente de recursos financeiros destinados à mitigação de problemas relacionados à segurança rodoviária, constituindo-se como um aspecto crucial para uma gestão eficaz da segurança viária.

Não há, na literatura, uma definição universalmente consensual sobre o que caracteriza um segmento crítico (GEURTS & WETS, 2003). Inicialmente, diferentes abordagens foram propostas: alguns autores classificavam essas localidades com base na taxa de sinistros, outros utilizavam a frequência absoluta de ocorrências, e há ainda aqueles que adotavam uma combinação de ambos os critérios. Embora tais métodos tradicionais ainda sejam amplamente empregados, abordagens mais robustas, capazes de superar a sensibilidade à variação aleatória nos dados de sinistros e da natureza reativa da análise, têm ganhado destaque, especialmente com o avanço das técnicas estatísticas, do georreferenciamento e da aplicação de inteligência artificial na análise de dados viários (BRASIL, 2025b).

O Manual supracitado indica três métodos, denominados Trilhas, para a identificação desses segmentos. A Trilha 1 refere-se aos métodos de Determinação do Valor Crítico, os quais consideram o valor crítico do número de sinistros, da severidade, da taxa de sinistros e da taxa de severidade. Esses métodos se caracterizam pela comparação direta entre o índice ou taxa analisado e seu respectivo valor crítico, sendo o segmento considerado crítico quando o primeiro excede o segundo. O valor crítico é definido como um limite estatístico superior, calculado com base na média geral dos segmentos, ajustado por um fator que leva em conta a variabilidade estatística, a extensão do segmento (no caso do número de sinistros e severidade) e o volume médio diário (no caso das taxas de sinistro e de severidade) adotando-se a Distribuição Normal Padrão Unicaudal para a definição do nível de confiança.

A Trilha 2 trata do método Empírico de Bayes, utilizado para calcular o número esperado de sinistros de trânsito em um segmento viário por meio de uma média ponderada entre o número

observado de sinistros e uma estimativa estatística obtida a partir de dados de segmentos similares. Esse método considera o fenômeno da regressão à média, ou seja, a tendência estatística de flutuações aleatórias extremas retornarem à média de longo prazo. Sem essa correção, métodos ingênuos tendem a selecionar locais que tiveram um aumento aleatório de sinistros num curto período ("falsos positivos"), os quais diminuiriam naturalmente no ano seguinte mesmo sem intervenção. (SORENSEN & ELVIK, 2007; HAUER *et al*., 2002). Dessa forma, são considerados críticos os segmentos cujo valor esperado de sinistros supera a estimativa estatística (valor previsto), levando-se em conta a incerteza representada pelo desvio padrão.

A Trilha 3 corresponde ao método da Densidade Estimada de Kernel (KDE), um procedimento não paramétrico que estima a densidade de eventos — neste caso, sinistros de trânsito — ao longo de um espaço contínuo. Cada sinistro é tratado como um ponto georreferenciado ao longo das rodovias e, a partir de uma função kernel, o peso do sinistro é distribuído sobre uma região ao redor do ponto, denominada célula. O resultado são áreas com maior ou menor concentração de sinistros, representadas por valores de densidade estimada. Consideram-se críticos os segmentos pertencentes ao quartil superior, ou seja, os 25% com maior densidade.

Nesse sentido, verificou-se que as três metodologias cumprem adequadamente o papel de identificar segmentos críticos em uma rede viária. No entanto, a escolha pelo método mais adequado depende da disponibilidade de dados, do objetivo da análise e dos recursos computacionais disponíveis. A Trilha 1 apresenta-se como uma abordagem mais simples e de fácil aplicação; por sua vez, a Trilha 2 é estatisticamente mais robusta, pois suaviza estimativas e reduz o impacto de dados extremos. Já a Trilha 3 oferece uma análise espacial mais detalhada, sem exigir uma segmentação prévia rígida da malha viária.

Vale ressaltar que a sinalização equivocada de locais críticos, os chamados falsos positivos, e a não identificação de locais realmente críticos, falsos negativos, resultam em alocação ineficiente de recursos públicos e na perda de oportunidades para intervenções eficazes em segurança, respectivamente (CHENG & WASHINGTON, 2005). Dessa forma, o foco na identificação e posterior tratamento de segmentos concentradores de riscos de segurança é a forma mais eficaz e econômica de melhorar a segurança global das rodovias (CUI *et al*., 2022).

As especificações apresentadas e as análises realizadas pelo manual supracitado permitiram a identificação das principais vantagens e limitações de cada Trilha, conforme sintetizado na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 - Vantagens e limitações da aplicação de cada Trilha

Método	Vantagens	Limitações
Trilha 1	- Simples de aplicar e interpretar; - Baixo custo computacional; - Fornece um limite claro e bem definido, facilitando decisões e comparações entre trechos e períodos; - Adaptável a diferentes métricas (número de sinistros, severidade, exposição ao risco).	- Sensível à variação nos dados; - Não considera variações estatísticas naturais, podendo superestimar ou subestimar riscos; - Baixa confiabilidade com amostras pequenas; - Alta dependência da definição e extensão dos segmentos; - Pode gerar valores instáveis em trechos com baixo fluxo veicular.
Trilha 2	- Ajusta taxas de sinistros prevista para reduzir distorções em trechos com pouca exposição; - Utiliza dados observados e referências de segmentos semelhantes; - Corrige problemas de regressão à média, evitando classificações errôneas.	- Depende da procedência similar do trecho base da média usada como referência com a dos trechos em análise; - Pode "diluir" segmentos com muitos sinistros se a média for baixa, não identificando-os como críticos.
Trilha 3	- Representação contínua da densidade de sinistros; - Detecta variações locais sutis, especialmente em áreas de alta concentração de eventos; - Flexível no uso de diferentes funções kernel para o cálculo da densidade; - Permite visualização intuitiva por mapas de densidade (mapas de calor), facilitando a identificação de pontos críticos e padrões espaciais.	- Sensível à escolha da largura de banda (ou raio de busca) do kernel, que afeta a suavidade e o detalhe do mapa de densidade; - Requer maior capacidade computacional e *software* específico para geoprocessamento (GIS); - Considera primariamente a posição geográfica dos sinistros, podendo negligenciar outros fatores contextuais; - A calibração da largura de banda e a interpretação dos resultados exigem validação ou ajuste visual, o que pode ser demorado e subjetivo.

Fonte: Adaptado de Manual de Identificação de Segmentos Críticos Rodoviários (BRASIL, 2025b).

2.3 CONTRAMEDIDAS DE ENGENHARIA

Diversos fatores estão associados à ocorrência de lesões e mortes no trânsito como, por exemplo: as condições da via; aumento da frota de veículos, principalmente motocicletas; o uso do álcool associado à direção veicular; o não uso de equipamentos de segurança (cintos de segurança, capacetes, dispositivo de retenção de crianças), o uso do celular pelo condutor, alta velocidade e desrespeito à legislação vigente (BRASIL, 2021).

Para Ferraz *et al.* (2012), embora o fator humano seja apontado como o principal causador de uma ocorrência de sinistro, não se deve atribuir a responsabilidade exclusivamente ao condutor.

Nesse sentido, uma definição gráfica adequada para sinistro de trânsito pode ser representada conforme a Figura 2.7 na qual o sistema requer certo nível de desempenho do condutor e, quando este não performa conforme a exigência, ocorre o sinistro de trânsito.

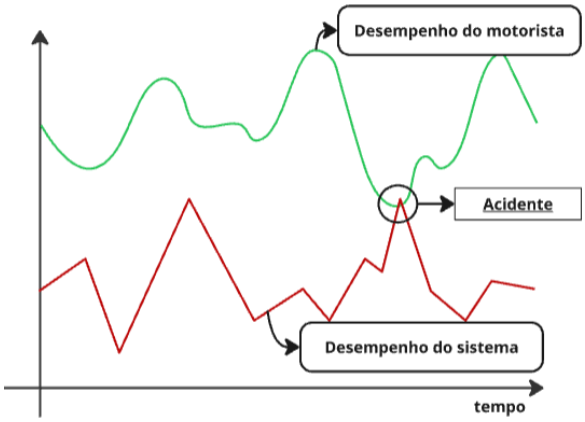


Figura 2.7 - Definição gráfica de sinistro de trânsito

Fonte: Adaptado de Nodari (2016).

Na medida em que os seres humanos sempre cometem falhas, as estruturas viárias devem desempenhar um papel na redução dos sinistros e de suas consequências. Assim, a segurança é um compromisso que recai sobre aqueles que projetam, constroem, operam e utilizam tanto as estradas quanto os veículos. (CHANG & CHEN, 2005; LORD & MANNERING, 2010; COSTA, 2013).

Para tanto, é essencial a adoção de contramedidas de engenharia, de forma a reduzir a exigência do sistema viário (CAFISO *et al*., 2010). Nesse sentido, algumas intervenções podem contribuir para a redução de sinistros envolvendo motociclistas, dentre elas, destacam-se: a adequação das barreiras de contenção; a remoção de postes, colunas e árvores nas proximidades da via; o gerenciamento de velocidade; e, a instalação de sonorizadores na pista (ELVIK *et al*. 2015; ELVIK *et al*., 2022).

2.3.1 DISPOSITIVOS DE CONTENÇÃO VIÁRIA

Os dispositivos de contenção viária são componentes de segurança essenciais instalados ao longo das estradas e vias urbanas, projetados para proteger os condutores e usuários. Sua função principal é conter e/ou redirecionar veículos desgovernados, evitando que adentrem áreas perigosas, colidam com obstáculos fixos ou atinjam usuários vulneráveis (CNT, 2021; ABNT, 2016). Além de conter, muitos desses dispositivos são estruturalmente projetados para absorver e dissipar a energia proveniente das colisões, mitigando a gravidade dos sinistros.

Um exemplo de dispositivo de contenção longitudinal é a Barreira *New Jersey*, apresentada na Figura 2.8 (a). Sua principal característica é o perfil específico que impede o capotamento do

veículo em caso de colisão. Devido à sua eficiência na contenção e alta resistência ao impacto, ocupando pouco espaço, a Barreira *New Jersey* se consolidou como uma solução eficaz em segurança viária. No Brasil, sua produção segue as normas internacionais UNI EN 1317/98-2001 e a ABNT NBR 15486 (CNT, 2021).



(a) Barreira New Jersey (b) Defensa metálica

Figura 2.8 – Dispositivos de contenção na divisão de fluxo
Fonte: AMARAL (2016); ESTRADAS (2015).

As defensas metálicas também são recursos empregados na divisão de fluxo veicular. Essas estruturas têm como finalidade absorver e redirecionar com segurança veículos que perdem o controle de direção, reduzindo a severidade dos sinistros e os impactos sobre os ocupantes.

É recomendada a instalação de lâminas adicionais inferiores (tipo 'saia' ou *rub-rail*) na frente dos postes de sustentação das defensas, estendendo-se até o nível do pavimento. Essa configuração impede que o motociclista deslize sob a lâmina principal e colida com os postes, garantindo a proteção integral de todos os usuários da via (CNT, 2021).

A experiência da CCR ViaLagos, que implantou defensas metálicas duplas ao longo dos 57 quilômetros da rodovia em 2015, resultou em uma redução de 79% no índice de óbitos, contribuindo para que a estrada deixasse de ser conhecida como “rodovia da morte”. Dez anos após essa intervenção, a via segue apresentando resultados consistentes: foi classificada como “ótima” na Pesquisa CNT de Rodovias 2023 e registrou, em 2025, uma queda de 30% no número de sinistros durante o feriado de Carnaval, mesmo com aumento de fluxo, o que reforça a eficácia das medidas implantadas (CNT, 2023; CCR ViaLagos, 2025).

A Tabela 2.4 e a Tabela 2.5 diferenciam a influência dos dispositivos de contenção na quantidade de sinistros, de acordo com o estudo de Elvik *et al*. (2015).

Tabela 2.4 - Impactos de dispositivos de divisão de fluxo no número de sinistros, em %

Tipo de divisão de fluxo	Gravidade do Sinistro	Tipos de sinistros impactados	Melhor estimativa	Intervalo de confiança
Barreira de proteção na divisão central de via com pista dupla (todos os tipos de barreira de proteção)	Fatais	Todos os sinistros	-15	(-33; +7)
	Gravidade não especificada	Todos os sinistros	-13	(-26; +2)
Cabo de aço na divisão central de via com pista dupla	Gravidade não especificada	Todos os sinistros	-7	(-19; +7)
Defensa metálica na divisão central de via de pista dupla (Figura 2.7b)	Fatais	Todos os sinistros	-12	(-32; +13)
	Gravidade não especificada	Todos os sinistros	-4	(-27; +27)
	Fatais	Cruzamento da divisão central	-87	(-96; -59)
	Gravidade não especificada	Cruzamento da divisão central	-91	(-94; -85)
	Fatais	Sinistros na divisão central (s/cruzamento)	+7	(-55; +154)
	Gravidade não especificada	Sinistros na divisão central (s/cruzamento)	+73	(+33; +125)
	Fatais	Outros sinistros	-3	(-46; +73)
	Gravidade não especificada	Outros sinistros	+7	(-8; +24)

Fonte: Adaptado de Elvik *et al*. (2015).

Tabela 2.5 - Impactos de dispositivos de borda da pista no número de sinistros, em %

Gravidade do sinistro	Tipos de sinistros afetados	Melhor estimativa	Intervalo de confiança
Morte em sinistro	Todos os sinistros	-43	(-90; +221)
Ferimento em sinistro	Todos os sinistros	-48	(-76; +14)
Morte em sinistro	Saída de pista	-24	(-49; +15)
Ferimento em sinistro	Saída de pista	-53	(-59; -45)
Morte em sinistro	Capotamento na saída de pista	+38	(-6; +103)
Ferimento em sinistro	Capotamento na saída de pista	-51	(-86; +73)
Morte em sinistro	Choque com objeto na lateral da via	-58	(-68; -44)
Ferimento em sinistro	Choque com objeto na via	-43	(-52; -32)
Morte em sinistro	Saída de pista de motocicleta	+82	(-45; +498)
Dano em sinistro	Saída de pista de motocicleta	+236	(-33; +1571)
Dano em sinistro	Motocicleta, choque com peq. obj. na via	-38	(-80; +94)

Fonte: Adaptado de Elvik *et al*. (2015).

Apesar de serem elementos de proteção, os dispositivos de contenção não eliminam o risco de sinistros, mas sim visam reduzir sua severidade e evitar danos maiores aos usuários e ao entorno. Afinal, as tabelas mostram um *trade-off* claro: a instalação da defensa metálica no canteiro central reduz drasticamente (-87%) as mortes por cruzamento de pista (colisão frontal), mas aumenta significativamente (+73%) o número de sinistros e danos decorrentes do choque contra a própria defensa. Nesse sentido, é crucial ressaltar que a instalação de dispositivos de contenção é uma medida de último recurso, devendo ser considerada apenas quando alternativas de tratamento de elementos de risco não são viáveis. A prioridade é sempre favorecer uma zona livre lateral desobstruída e traspassável. Se a remoção, redesenho ou realocação de um elemento de risco não for possível, ou a redução da rigidez dos suportes for inadequada, a instalação de um dispositivo de contenção se justifica (DER-SP, 2023).

Segundo Bortoli (2024) o impacto de um veículo desgovernado contra o início de um dispositivo de contenção longitudinal, sem uma proteção adequada, ou contra um obstáculo fixo, geralmente resulta em sérias consequências, uma vez que o veículo sofre uma parada abrupta. Isso pode resultar na intrusão de elementos do dispositivo de contenção no compartimento do veículo, causando instabilidade e aumentando o risco para os ocupantes, incluindo o risco de capotamento. Para prevenir esse tipo de impacto, são frequentemente utilizados terminais de dispositivos de contenção longitudinal e dispositivos atenuadores de impacto, os quais atuam desacelerando o veículo gradualmente em impacto até sua imobilização ou redirecionamento seguro.

Similarmente, pontos de risco na própria pista de rolamento, como ilhas e bifurcações, necessitam de proteção por amortecedores de impacto para mitigar as consequências de colisões frontais, e a continuidade da proteção em pontos de interrupção do terreno lateral, como pontes e viadutos, deve ser garantida com transições e terminais de início seguros em dispositivos de contenção (DER-SP, 2023).

2.3.2 REMOÇÃO DE OBJETOS RÍGIDOS

A segurança das laterais da via é um aspecto crucial no projeto viário, visto que as saídas de pista e as colisões contra objetos rígidos são frequentemente associadas a sinistros de alta gravidade. Ao longo das rodovias, elementos como paredões de rocha, encostas, pedras, corpos d'água, árvores e postes representam obstáculos fixos que, se impactados por veículos errantes, podem causar danos significativos (GLENNON e TAMBURRI, 1967).

Elementos de risco são definidos como componentes naturais ou construídos, localizados próximos às laterais das vias, capazes de induzir altas desacelerações ou paradas abruptas em veículos errantes (ABNT, 2016). Eles podem ser classificados em (BRASIL, 2023):

a) Obstáculos pontuais: objetos estreitos e fixos, como árvores com diâmetro maior do que 10 cm, colunas de pórticos, postes de iluminação ou utilitários e suportes de sinalização vertical;
b) Obstáculos distribuídos ou contínuos: elementos que se estendem ao longo das laterais das vias, como taludes de aterro e corte, muros de contenção, rochas e barreiras de segurança que não atendem às normas atuais, bem como a vegetação fechada.

Os elementos de risco mais frequentemente associados a fatalidades nas laterais das vias incluem árvores, postes de iluminação ou utilitários, colunas de pórticos, suportes rígidos de sinalização vertical e dispositivos de drenagem (BROCKENBROUGH, 2009). A presença de múltiplos elementos de risco pode levar a uma sobreposição de perigos, aumentando a ocorrência e a severidade dos sinistros. Segundo Elvik *et al.* (2015), a probabilidade de morte ou ferimentos graves em um sinistro de choque com objeto fixo e vítimas é de 15% para árvores, 14% para paredões de rocha, 10% para postes e 9% para barreiras de proteção. É notável que a taxa de motociclistas mortos ou gravemente feridos em choques contra barreiras de proteção (17%) é superior à taxa observada nos demais tipos de sinistros (abaixo de 12%), sugerindo que muitas colisões graves contra barreiras envolvem motociclistas, frequentemente devido à instalação inadequada das barreiras (ELVIK *et al*., 2015).

O Manual de Segurança Viária do DER-SP (2023) define:

- Elementos Naturais: Árvores (diâmetro > 10 cm), rochas e vegetação densa são obstáculos fixos. O ideal é a remoção da zona livre, mas quando inviável devido a restrições (ambientais, por exemplo), a proteção com dispositivos de contenção ou amortecedores de impacto é recomendada (BROCKENBROUGH, 2009; THOMSON *et al*., 2006).
- Suportes de Sinalização, Iluminação e Utilitários: Postes, suportes de sinalização e colunas de pórticos são obstáculos pontuais que, por sua função, devem estar próximos à rodovia. A prioridade é o uso de suportes colapsáveis, que cedem ou rompem ao impacto, minimizando a severidade (ABNT, 2016). Quando viável, esses suportes devem ser instalados atrás de dispositivos de contenção existentes ou em áreas inacessíveis ao tráfego. Estruturas maiores como pórticos e semipórticos, que não

podem colapsar, exigem proteção por sistemas de contenção rígidos (BRASIL, 2023; THOMSON *et al*., 2006).

- Obras de Arte e Pilares: Pilares de pontes e viadutos, cabeceiras de túneis e inícios de barreiras de obras de arte são estruturas rígidas e de grande porte. Em projetos novos, busca-se eliminar ou afastar esses obstáculos (ex: pilares laterais, sem apoios centrais). Em rodovias existentes, onde a remoção é inviável, a proteção é feita com dispositivos de contenção ou amortecedores de impacto, dimensionados para a rigidez da estrutura e com atenção ao risco de desabamento (THOMSON *et al*., 2006).
- Canteiro Central: Considerado uma área de risco, especialmente em vias de alta velocidade, devido ao potencial de invasão da pista contrária. A gestão de riscos nos canteiros centrais segue a mesma ordem de prioridade. Para canteiros mais estreitos (até 10m com Volume Diário Médio – VDM elevado), a instalação de barreiras de proteção central é frequentemente recomendada. Para canteiros largos com baixo VDM, onde veículos podem recuperar o controle, barreiras podem ser dispensadas (BRASIL, 2023; ABNT, 2016).
- Instalações de Apoio: Edificações como C*all Boxes*, Serviço de Atendimento aos Usuários - SAUs, Unidades Básicas de Atendimento - UBAs e cabines de pedágio, embora essenciais, podem se tornar elementos de risco. Suportes de câmeras e sensores podem ser colapsáveis ou protegidos por contenção. Edificações maiores devem ser instaladas o mais longe possível da faixa de tráfego e, se necessário, protegidas por dispositivos de contenção viária (THOMSON *et al*., 2006).
- Taludes: Inclinam-se para baixo (aterro) ou para cima (corte) e podem ser classificados como recuperáveis, não recuperáveis ou críticos. Taludes críticos e não recuperáveis com elementos de risco exigem dispositivos de contenção lateral (BRASIL, 2023; THOMSON *et al*., 2006). Em cortes rochosos, superfícies protuberantes podem ser perigosas. Taludes transversais (perpendiculares à via), comuns em acessos e interseções, também demandam atenção, com declividades adequadas para altas velocidades e proteção em caso de queda em passagens inferiores ou rios (BROCKENBROUGH, 2009; AASHTO, 2011).
- Dispositivos de Drenagem: Estruturas de drenagem (canais, canaletas, guias, caixas de captação, tubos) devem ser projetadas para serem traspassáveis e seguras, ou seja, sem criar obstáculos rígidos (ABNT, 2016). Se não for possível torná-las traspassáveis, devem ser protegidas por dispositivos de contenção, realocadas ou convertidas em

sistemas fechados (BRASIL, 2023; AASHTO, 2011). Guias e sarjetas devem ter altura limitada e face inclinada para permitir a transposição segura (AASHTO, 2011).

Nesse sentido, os elementos devem ser tratados seguindo uma hierarquia de alternativas de projeto, conforme ilustrado na Figura 2.9 (DER-SP, 2023):

a) Remover (eliminar) o elemento de risco;
b) Redesenhar o elemento de risco para que seja traspassável com segurança;
c) Realocar o elemento de risco para um local com menor probabilidade de ser atingido;
d) Reduzir a severidade do impacto utilizando dispositivo que não seja um obstáculo fixo;
e) Proteger do perigo de atingir o elemento de risco utilizando dispositivo de contenção lateral ou dispositivo amortecedor de impacto autoportante;
f) Delinear, ou sinalizar, o elemento de risco, caso as alternativas anteriores não possam ser cumpridas.

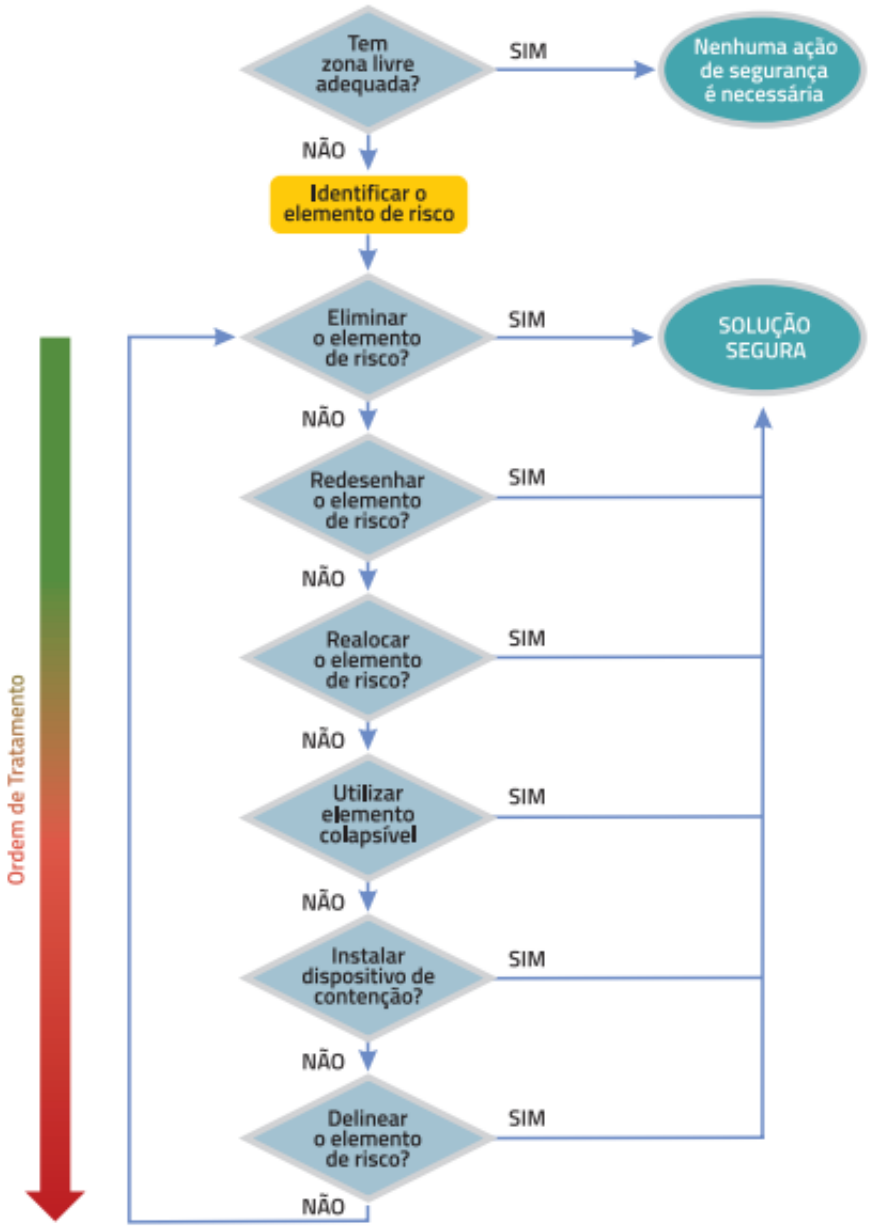


Figura 2.9 - Fluxograma para projeto seguro das laterais das vias

Fonte: DER-SP (2023).

2.3.3 GERENCIAMENTO DE VELOCIDADE

A velocidade é um dos fatores mais críticos e discutidos em segurança viária, exercendo influência significativa tanto na probabilidade de ocorrência quanto na severidade dos sinistros (ELVIK, 2009; AUSTROADS, 2021). Elvik (2009), em sua análise de 115 estudos, concluiu que a velocidade é o fator de risco mais significativo para sinistros e suas consequências, defendendo a necessidade de imposição de limites. A alta velocidade, ainda, foi um fator

determinante em 45% de todos os sinistros fatais na Noruega entre 2005 e 2012 (HALDORSEN, 2013).

Sabe-se que, quanto maior a velocidade, maior será a distância total percorrida pelo motorista caso seja necessário frear. A Figura 2.10 apresenta a variação da distância de reação, da distância de frenagem e da distância total necessária para a parada completa do veículo, em função da velocidade.

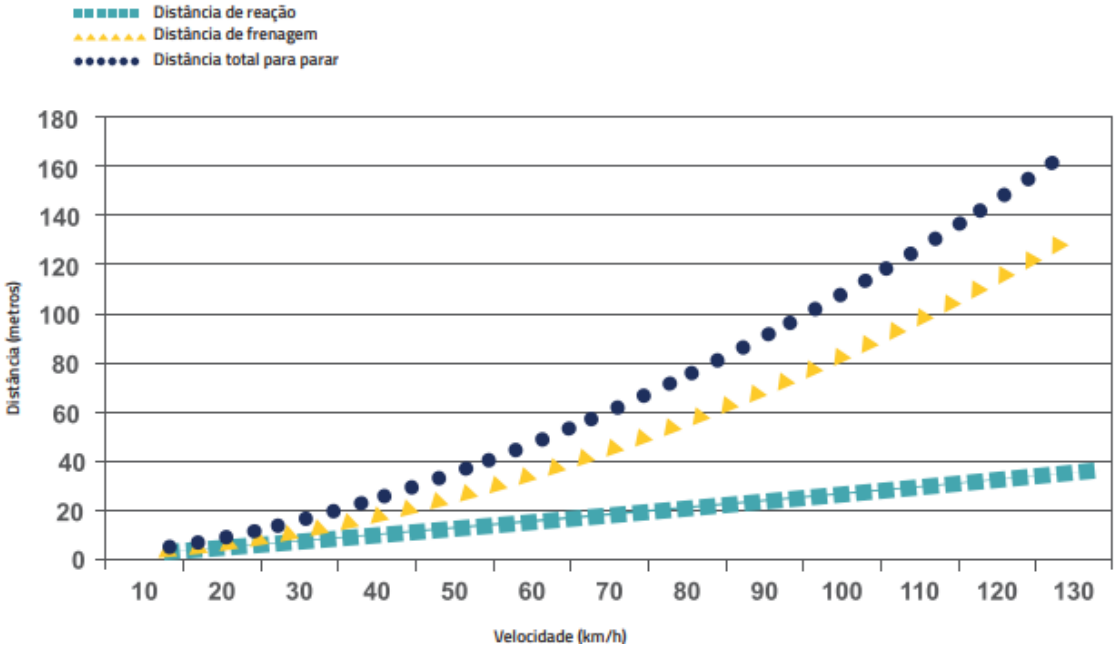


Figura 2.10 - Distância de reação, frenagem e parada em função da velocidade

Fonte: DER-SP (2023).

Consequentemente, em velocidades elevadas, qualquer anormalidade – seja distração do condutor, irregularidade na pista, ou defeito mecânico – pode levar à perda de controle do veículo e à ocorrência de um sinistro (PIARC, 2019). O gerenciamento da velocidade é, portanto, uma etapa fundamental para a construção de um Sistema Seguro (AUSTROADS, 2021).

Nesse sentido, sistemas de Controle Automático de Velocidade - CAV são implementados internacionalmente como uma medida eficaz para reduzir as velocidades praticadas e, consequentemente, a ocorrência de sinistros (ELVIK *et al.*, 2009). O CAV opera por meio de radares eletrônicos, sem a presença policial, e em caso de excesso de velocidade, o veículo e condutor são fotografados para aplicação de multa. Duas modalidades principais são destacadas:

- CAV Pontual: A velocidade é medida em um ponto específico por sentido. Estudos indicam que esta modalidade pode reduzir a velocidade de condução em 6-15% em comparação com o radar eletrônico tradicional, embora a redução de velocidade tenda a diminuir gradualmente após 2 a 3 km do ponto de fiscalização. A redução de sinistros com vítimas pode chegar a 18% (ELVIK *et al*., 2015).
- CAV de Trecho: Mede a velocidade média de um veículo entre dois radares eletrônicos. Esta modalidade tem demonstrado resultados ainda mais expressivos, com uma redução média de 30% nos sinistros com vítimas e de 56% nas vítimas fatais ou feridos graves (ELVIK *et al*., 2015). Segundo o SENATRAN, atualmente, existem radares de velocidade média em teste no Brasil, no entanto, não são expedidas multas por falta de regulamentação.

Em contrapartida, é imperativo ressaltar que o diferencial de velocidades entre veículos na mesma via pode aumentar a ocorrência de sinistros, particularmente colisões traseiras e colisões decorrentes de mudanças de faixa. Segundo Garber *et al*. (2005) a severidade de colisões traseiras entre veículos leves e pesados aumenta com a diferença de velocidades, que ocorre em locais com dispositivos de redução de velocidade.

Ainda, muitas vezes, a redução da sinistralidade decorrente do tratamento de um local crítico é acompanhada por um aumento do número de sinistros nas vizinhanças do local tratado. O fato de os condutores empregarem velocidade maior que o habitual, buscando compensar o tempo perdido, logo após a obrigatoriedade da redução da velocidade em um determinado local, foi observado por Yamada (2005). A Tabela 2.6 apresenta o efeito dos radares fixos em um trecho de rodovia estudado.

Tabela 2.6 - Distribuição das velocidades segundo a distância dos radares fixos

Localização	**% Acima do limite Legal**	**% Acima do Limite Legal + 20 km/h**
2 km antes dos radares	17,5%	4,5%
Nos locais dos radares	10,3%	1,7%
2 km depois dos radares	29,7%	10,0%
Pontos distantes dos radares	16,9%	3,4%

Fonte: Yamada (2005).

Yamada (2005) conclui que a porcentagem de veículos com velocidade acima do valor de referência foi menor nos locais dos radares, conforme esperado, maior 2km antes e em pontos

distantes e muito maiores nos pontos situados 2km depois dos radares – o que mostra a ocorrência do efeito da compensação do tempo perdido. Como consequência, os índices de sinistros nos trechos em torno dos radares aumentaram após a instalação destes. Ainda que isso não tenha sido investigado, tudo indica que houve uma migração dos sinistros próximos dos locais onde foram instalados os radares, onde a velocidade passou a ser menor, para pontos situados logo depois dos mesmos, onde a velocidade passou a ser maior em razão do efeito da compensação do tempo perdido.

Por fim, Silva (2024) complementa, uma importante etapa da gerência das vias é o exercício de relacionar obras de melhorias, tais como, alargamento de faixa, recapeamento, faixas adicionais e acostamentos pavimentados, com a velocidade. Tais iniciativas podem incentivar o desenvolvimento de velocidades excessivas do veículo, contribuindo para ocasionar sinistros.

Estes fenômenos sublinham a necessidade de uma abordagem mais integrada no gerenciamento de velocidade, que considere não apenas o ponto de fiscalização, mas a dinâmica do fluxo de tráfego ao longo de extensos segmentos viários e as contramedidas para visar uma redução efetiva da sinistralidade (OMS, 2013; AGUILERA *et al*., 2014).

2.3.4 ILUMINAÇÃO

A iluminação adequada da via é um fator crítico para a segurança viária, especialmente durante o período noturno, onde a visibilidade é naturalmente reduzida. Estudos demonstram que o índice de sinistros fatais é significativamente maior à noite, podendo ser de duas a três vezes superior ao período diurno (DNIT, 2010). A falta ou deficiência de iluminação em locais críticos compromete a visibilidade de pedestres, ciclistas e do próprio contorno da pista, tornando os sinistros mais severos (FERRAZ *et al*. 2012).

Diversos estudos investigaram a relação entre a iluminação da rodovia e a ocorrência de sinistros, confirmando sua importância para a redução de sinistros e severidade resultante (WANVIK, 2009). Segundo Ferraz (2012), a melhoria da iluminação deficiente em vias é prevista para conduzir reduções nos números de sinistros noturnos, conforme apresentado na Tabela 2.7.

Tabela 2.7 - Variações nos Sinistros Noturnos com Melhoria na Iluminação

Tipo de Sinistros	Faixa de Redução (%)	Melhor Estimativa (%)
Com vítimas fatais	-57% a -62%	-60%
Com vítimas	-11% a -34%	-23%
Sem vítimas	-10% a -23%	-16%

Fonte: Ferraz *et al.*, (2012).

Além disso, Silva (2019), em sua análise, determina através do emprego de técnicas de Aprendizado de Máquina - AM que a iluminação é o segundo fator viário ambiental mais importante na determinação da severidade do sinistro. A utilização dessa ferramenta analítica, que consiste no uso de algoritmos capazes de identificar padrões complexos e não lineares em grandes bases de dados, permitiu hierarquizar a influência das variáveis de risco, conforme apresentado na Figura 2.11.

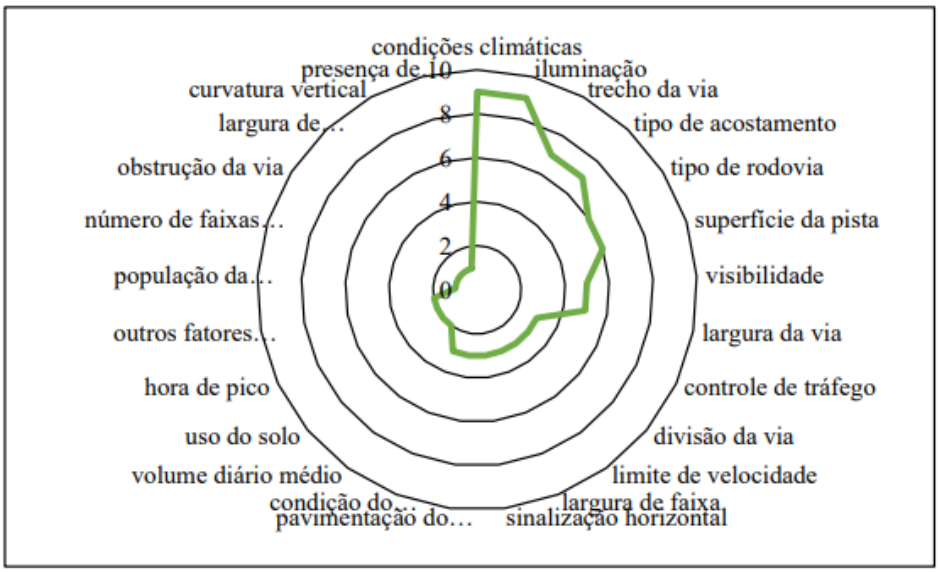


Figura 2.11 - Distribuição dos fatores viário-ambientais por severidade

Fonte: Silva, (2019).

Nesse sentido, para sinistros de motociclistas a iluminação é uma condição determinante. Ciclomotores e motocicletas são mais difíceis de serem detectados no trânsito devido ao seu menor porte. Cerca de dois terços das colisões entre motocicletas e outros veículos são atribuídas ao outro veículo, frequentemente porque seu condutor não percebeu a moto (CLARKE *et al*., 2007; NORDKVIST & GREGERSEN, 2010), sendo, ainda, as ocorrências geralmente mais graves sob condições de visibilidade difíceis (JANOFF *et al*., 1970; WILLIAMS & HOFFMAN, 1979)

O projeto de iluminação deve seguir as diretrizes da NBR 5101, que estabelece parâmetros mínimos para iluminação pública, incluindo classificação de vias, níveis de iluminância, fator de uniformidade, tipos de luminárias, lâmpadas e postes, e estudos luminotécnicos (ABNT, 2018). Adicionalmente, devem ser seguidas as Instruções de Projeto para Iluminação de Rodovias (DER/SP, 2023), para Projeto de Instalações Elétricas (DER/SP, 2005) e as Especificações Técnicas de Materiais e Equipamentos para Iluminação de Rodovias (DER/SP, 2023]). Isto é, a disponibilidade de energia e os custos de manutenção são fatores que influenciam na escolha do sistema.

O uso de iluminação com postes altos é desejável por fornecer ao motorista maior campo de visibilidade, possibilitando melhor orientação sobre as condições da via e do tráfego. Além disso, conforme explicitado, o posicionamento e os materiais que constituem os postes, assim como os suportes utilizados em sinalizações verticais, merecem atenção no projeto, uma vez que podem contribuir para a ocorrência e para maior severidade de eventuais sinistros relacionados a veículos que saem da pista (PERU, 2007).

Por fim, a transição entre áreas com diferentes níveis de iluminação requer atenção, uma vez que a habilidade do olho humano de se ajustar à sensibilidade visual é relativamente lenta, especialmente para motoristas idosos. Recomenda-se projetar transições graduais de iluminação ao longo do segmento viário, permitindo o ajuste da sensibilidade visual do condutor. Um exemplo é a intensificação gradual da iluminação em ilhas de pedágio à medida que se aproxima das cabines de cobrança (DER-SP, 2023).

Apesar dos potenciais benefícios, a implementação de iluminação deve considerar a Teoria da Compensação do Risco (DER-SP,2023) que exemplifica que, embora a iluminação de uma via possa ter um potencial de redução de sinistros noturnos da ordem de 80%, ao aumentar as distâncias longitudinais e laterais visíveis, a diminuição real é de apenas cerca de 30%. Isso ocorre porque o aumento da segurança percebida (subjetiva) pelo condutor pode levá-lo a alterar seu comportamento no volante, acelerando mais o veículo e reduzindo o seu nível de atenção.

Assim, a escolha de um tratamento para um local crítico deve ser criteriosa para evitar que a redução de sinistros seja irrelevante, nula ou até mesmo negativa.

2.3.5 SONORIZADORES NA PISTA

Os sonorizadores, também conhecidos como sinalização horizontal áudio-tátil ou faixas de alerta, são dispositivos físicos instalados na superfície da via que geram um efeito sonoro-vibratório quando transpostos por veículos. Sua principal função é alertar os motoristas sobre desvios da faixa de tráfego ou perigos à frente (ELVIK *et al*., 2022).

A presença desses elementos é fundamental para a segurança viária. Sua ausência eleva o risco de sinistros, notadamente em cenários de fadiga ou distração do condutor. Para motociclistas, a inexistência de sonorizadores em bordos de pista ou acostamentos implica a privação de um aviso tátil e sonoro vital em desvios involuntários de trajetória (Elvik *et al*., 2015).

Os sonorizadores podem ser implementados de diversas formas, sendo as mais comuns seções elevadas (geralmente em termoplástico) ou fresadas (cortadas) na superfície da via. Podem ser posicionados:

- Longitudinalmente: Ao longo do bordo da via (na borda ou adjacente à linha da borda), como ilustrado na Figura 2.13, ou no centro da via. Quando transpostas, alertam os motoristas que estão saindo da faixa de tráfego.
- Transversalmente: Perpendicularmente à via (marcações transversais), conforme apresentado na Figura 2.12. Neste caso, alertam os motoristas sobre a necessidade de diminuir a velocidade ou sobre a existência de um perigo à frente (NCHRP, 2009).



Figura 2.12 - Exemplo de sonorizadores transversais

Fonte: CNT (2021).



Figura 2.13 - Exemplo de sinalização horizontal áudio-tátil longitudinal
Fonte: CAREC (2018).

A inclusão de sonorizadores é uma intervenção de baixo custo e alta efetividade. Estudos indicam que essas intervenções podem reduzir os sinistros em cerca de 20% a 30% (ELVIK *et al*., 2009), com uma efetividade estimada entre 10% e 25% (ELVIK *et al*., 2022).

3 MÉTODO

Este estudo adota uma abordagem reativa de segurança viária, fundamentada na análise de dados históricos de sinistros de trânsito e de dados operacionais rodoviários, com foco na identificação de padrões recorrentes de ocorrência e severidade. A opção por essa abordagem decorre da disponibilidade desses dados ao longo do período analisado, de 2019 a 2024, abrangendo eventos com vítimas fatais, vítimas feridas e sem vítimas.

Para o estudo, foi utilizada a base completa de sinistros (com vítimas fatais, vítimas feridas e sem vítimas) que amplia a base amostral e favorece a identificação de padrões espaciais e temporais consistentes para o trecho viário relativamente curto do Distrito Federal. Reconhece-se, entretanto, a existência de subnotificação, especialmente nos eventos de menor gravidade; contudo, esse efeito é mitigado por meio da ponderação dos sinistros pelo índice de Unidade Padrão de Severidade (UPS), que confere maior peso estatístico aos eventos mais graves, reduzindo a influência relativa de possíveis distorções associadas aos registros menos severos.

A Figura 3.1 traz a representação dessa metodologia de trabalho por meio de um fluxograma.

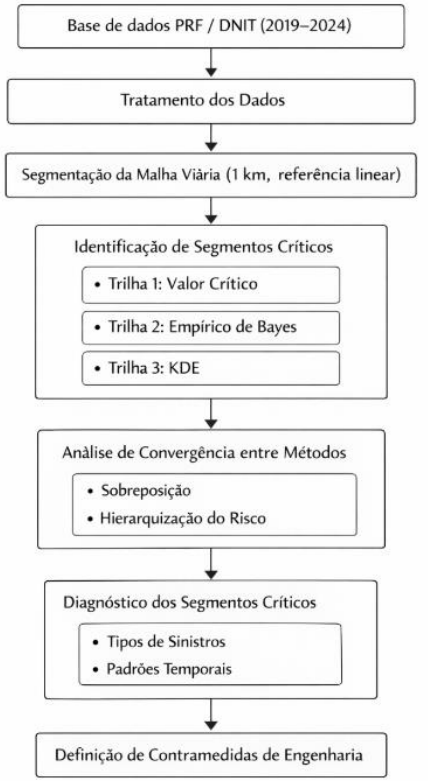


Figura 3.1 - Esquematização do fluxograma metodológico

Fonte: Autoria Própria.

3.1 BASE DE DADOS

A etapa inicial consistiu na estruturação de um banco de dados unificado. Foram analisados todos os registros de sinistros da Polícia Rodoviária Federal (PRF) ocorridos no Distrito Federal, abrangendo um recorte temporal de seis anos (2019 a 2024), atendendo ao critério mínimo de três anos estabelecido na literatura para mitigar flutuações aleatórias.

A localização espacial foi tratada sob duas óticas: a referência linear, utilizando os parâmetros "BR" e "KM" para segmentar a via em trechos de 1 km identificados por um "ID_SEGMENTO" único; e a referência geográfica, através das variáveis "LATITUDE" e "LONGITUDE", para aplicação do método de densidade espacial (KDE). A severidade de cada ocorrência foi definida pela variável "VÍTIMAS", base para o cálculo da Unidade Padrão de Severidade (UPS). Para o diagnóstico causal e proposição de contramedidas, foram analisadas a "CAUSA" principal e a variável "TIPO". Fatores contribuintes foram avaliados através das variáveis "FASE DO DIA", "DIA DA SEMANA" e "HORÁRIO". Por fim, a variável "VMD" foi utilizada durante o cálculo de taxas de risco baseadas na exposição, nos métodos 2 e 3.

3.2 SEGMENTAÇÃO DA MALHA VIÁRIA

A segmentação da malha rodoviária em estudo foi realizada com base nos marcos quilométricos (BR + quilometragem) disponíveis nos registros da Polícia Rodoviária Federal (PRF). Reconhece-se, entretanto, que a quilometragem do Sistema Nacional de Viação (SNV) pode sofrer ajustes ao longo do tempo em função de obras, retificações geométricas ou reconfigurações da infraestrutura viária. Com o objetivo de minimizar os efeitos dessas variações e garantir a consistência espacial da análise ao longo da série histórica de 2019 a 2024, adotaram-se segmentos de extensão fixa de 1 km. Dessa forma, eventuais alterações pontuais na marcação dos marcos quilométricos não comprometem a identificação, a comparação temporal e a interpretação dos segmentos críticos analisados. Além disso, o comprimento de 1 km está alinhado às práticas consolidadas em manuais de segurança viária, como os da AASHTO (2010), a metodologia da pesquisa CNT de Rodovias (CNT, 2024) e estudos acadêmicos como Silva (2019).

Para assegurar a rastreabilidade inequívoca de cada segmento ao longo do período estudado, foi utilizado um sistema de codificação desenvolvido durante a etapa de tratamento dos dados, permitindo a associação consistente entre os segmentos, os registros de sinistros e os resultados obtidos nas diferentes análises.

A identificação de cada segmento foi feita por meio de um código alfanumérico (ID

do Segmento) no formato padronizado XYYYZZZZ, composto por três elementos:

- Identificador da Rodovia (X): Atribuição de um código literal para cada BR (ex: 'A' para BR-010, 'B' para BR-020), facilitando a ordenação categórica, sendo a BR-251 a oitava na ordem numérica crescente, portanto foi atribuída a ela a letra ‘H’;
- Localizador Sequencial (*YYY*): Número do segmento calculado em função da quilometragem do sinistro ($kM_{sinistro}$), conforme a Equação 3.1. Esta abordagem assegura que qualquer ocorrência dentro do mesmo intervalo quilométrico seja automaticamente alocada ao mesmo segmento físico.

$$Segmento = INT\left(\frac{\text{kMsinistro}}{L}\right) + 1 \qquad \text{Equação 3.1}$$

Onde,

L = quilômetros totais da rodovia em análise (km).

- Marcador Temporal (*ZZZZ*): Sufixo indicando o ano da ocorrência, permitindo análises longitudinais e comparativas entre períodos distintos.

Todo o processo de segmentação, cálculo do localizador sequencial e geração dos códigos únicos (IDs) foi automatizado por meio de algoritmos desenvolvidos em linguagem *Visual Basic for Applications* (VBA) no *software* Microsoft Excel. Essa automação viabilizou o tratamento da base de dados e mitigou a possibilidade de erros manuais de classificação.

3.3 IDENTIFICAÇÃO DOS SEGMENTOS CRÍTICOS

A identificação e classificação dos trechos rodoviários foram executadas por meio do Sistema de Análise de Segmentos Críticos Rodoviários (SASCR), programado para aplicar três metodologias distintas, conforme as diretrizes do manual de referência (BRASIL, 2025b).

Trilha 1 - Determinação do Valor Crítico: Este método comparou os índices de severidade de cada segmento com um Valor Crítico estatístico. O limite foi calculado com base na média da malha rodoviária, ajustado pela variabilidade da amostra e adotando um nível de confiança de 95% (k = 1,645). Foram classificados como críticos os segmentos que superarem este limite.

Trilha 2 - Método Empírico de Bayes: O método estimou o Número Esperado de Sinistros através de uma ponderação entre os dados observados e valores previstos por regressão Binomial Negativa. O *software* verificou o coeficiente de dispersão para validar a confiabilidade do modelo frente à variância dos dados. A criticidade foi atribuída aos segmentos onde o Número Esperado de Sinistros superar o valor previsto somado à margem de desvio padrão.

Trilha 3 - Análise Espacial: A análise espacial utilizou a Estimativa de Densidade de Kernel (KDE) para identificar clusters de severidade contínuos, independentemente da segmentação fixa. Foram aplicados parâmetros iniciais de largura de banda de 1.000 metros e tamanho de célula de 500 metros. Foram definidos como críticos os segmentos inseridos nas áreas correspondentes ao quartil superior (25% maiores valores) de densidade.

3.4 ANÁLISE COMPARATIVA DAS TRILHAS

O Manual preconiza que não existe um método universalmente superior, devendo a escolha basear-se na adequação aos dados disponíveis e aos objetivos da análise. A Trilha 1 é indicada para cenários com escassez de dados (ausência de VMD) ou necessidade de diagnósticos expeditos. A Trilha 2 é recomendada quando se dispõe de dados volumétricos e busca-se maior rigor estatístico para a alocação eficiente de recursos, visando mitigar a influência da aleatoriedade dos sinistros. Já a Trilha 3 aplica-se à análise espacial para a identificação de concentrações (*clusters*) que transcendem a segmentação rígida, exigindo, para tanto, coordenadas geográficas precisas.

Considerando que os métodos de identificação de segmentos críticos partem de premissas distintas, ora priorizando o volume absoluto de ocorrências, ora a exposição ao risco ou a gravidade das lesões, é esperado que produzam diagnósticos divergentes sobre a hierarquização da periculosidade da malha viária. Para mitigar os vieses inerentes a cada abordagem isolada e validar a consistência dos resultados, nesta etapa metodológica foi utilizada uma análise comparativa estatística e espacial.

A avaliação da concordância entre os métodos foi realizada através de duas estratégias analíticas complementares: a Análise de Correlação (Ranqueamento e Valores) e a Análise de Sobreposição (*Overlapping*).

Para quantificar o grau de associação entre os resultados gerados pelos diferentes métodos, foram aplicados testes de correlação estatística. O objetivo foi verificar se um segmento classificado como crítico por um método tende a manter sua posição de prioridade quando avaliado por outro critério.

O Coeficiente de Correlação de Postos de Spearman (p), apresentado na Equação 3.2, foi utilizado especificamente para avaliar a diferença no ranqueamento. Este método não considera os valores brutos, mas sim a ordem de classificação (*ranking*) de cada segmento.

$$p = \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)} \qquad \text{Equação 3.2}$$

3.5 PROCEDIMENTO PARA DEFINIÇÃO DE CONTRAMEDIDAS

A etapa conclusiva consistiu na proposição de intervenções para os segmentos prioritários identificados. O processo foi dividido em duas fases: diagnóstico causal e seleção de contramedidas.

Para cada segmento crítico, foi realizada uma investigação detalhada da dinâmica dos sinistros. Foram analisados os padrões de ocorrência através das variáveis "TIPO" (ex: colisão frontal, saída de pista) e "CAUSA" principal. Adicionalmente, foram examinados os fatores contribuintes temporais e ambientais, utilizando as variáveis "FASE DO DIA", "CONDIÇÃO", permitindo distinguir problemas geométricos, operacionais ou de visibilidade.

A escolha das soluções foi sistematizada por meio de checklists de segurança viária, fundamentados na revisão bibliográfica técnica. Esta abordagem visou reduzir a subjetividade na tomada de decisão. Foram indicadas contramedidas de engenharia específicas para a mitigação dos riscos identificados, com foco na segurança dos motociclistas.

A proposta final consistiu na indicação da contramedida mais adequada para cada segmento crítico, justificada pelos dados empíricos extraídos da base de sinistros e alinhada aos conceitos de *Rodovias que Perdoam* e *Sistemas Seguros* (CNT, 2021; VISÃO ZERO 2030, 2021).

4 APLICAÇÃO DO MÉTODO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo, são apresentados os resultados obtidos a partir da aplicação da metodologia proposta para a identificação e análise de segmentos críticos de sinistros envolvendo motociclistas nas rodovias federais do Distrito Federal. A análise baseou-se na matriz de dados consolidada elaborada, compreendendo o período de 2019 a 2024.

4.1 COLETA E TRATAMENTO DA BASE DE DADOS

Dada a natureza dos dados brutos, que apresentam registros múltiplos para uma mesma ocorrência (uma linha por envolvido) e variações de formatação ao longo dos anos, foi necessário aplicar um protocolo de tratamento de dados (*Data Cleaning*) composto pelas seguintes fases:

a) Unificação e Filtragem: Inicialmente, os registros foram agrupados por meio do identificador único do sinistro (ID), consolidando as informações dispersas em várias linhas. Em seguida, aplicou-se um filtro para isolar exclusivamente as ocorrências que envolviam veículos de duas rodas, categorizados na base original como "Motocicleta", "Motoneta" ou "Ciclomotor". Ressalta-se, portanto, que todas as estatísticas, tabelas e análises apresentadas no decorrer deste trabalho referem-se estritamente a este recorte amostral (sinistros com motocicletas).

c) Qualificação do Perfil do Motociclista: Para a caracterização das vítimas, desenvolveu-se um algoritmo de busca lógica para extrair as variáveis de idade e sexo especificamente do condutor da motocicleta. Este procedimento foi necessário para excluir dados de passageiros ou pedestres e para tratar inconsistências de preenchimento (como campos vazios ou classificações genéricas de "vítima") observadas, sobretudo, nos anos de 2022 a 2024. Nos casos em que a base original não permitia a distinção clara entre condutor e passageiro, o registro foi marcado como dado ausente ("Não Informado") para evitar distorções estatísticas.

d) Normalização Geográfica: As coordenadas de latitude e longitude passaram por um processo de padronização para o formato decimal internacional (graus decimais com ponto), corrigindo erros de pontuação e formatação de texto que inviabilizariam o georreferenciamento. Registros sem coordenadas válidas ou com localização inconsistente (fora dos limites do DF) foram segregados da amostra espacial.

Na sequência, realizou-se a integração dos dados de Volume Médio Diário (VMD) à base consolidada. Essas informações foram obtidas junto ao DNIT. A atribuição do VMD a cada segmento exigiu a compatibilização de diferentes fontes de dados, dada a heterogeneidade das publicações oficiais entre 2019 e 2024.

Para os anos recentes (2022 a 2024), utilizou-se o método de correspondência espacial direta (*Spatial Matching*). Algoritmos de busca lógica cruzaram a quilometragem de cada segmento com os intervalos de início e fim dos trechos de contagem oficiais das tabelas de "Fatores VMD e UPE" do DNIT. Para o período histórico onde as publicações oficiais apresentavam descontinuidades na discriminação quilométrica dos trechos (2019 a 2021), adotou-se o Código Sistema Nacional de Viação (SNV) como chave primária de correlação, permitindo recuperar a geometria oficial da base de dados do próprio SNV. Dessa forma, aos segmentos numericamente correspondentes, foram atribuídos os volumes absolutos provenientes das bases de modelagem específicas do Plano Nacional de Contagem de Tráfego (PNCT) e do programa BR-Legal disponíveis para aqueles anos.

Nos casos de segmentos localizados em zonas de transição (fronteira entre dois trechos de contagem do DNIT), adotou-se a média aritmética dos VMDs adjacentes, mitigando distorções de fronteira na estimativa de risco.

Adicionalmente, foram identificadas descontinuidades pontuais na malha onde segmentos específicos não possuíam registro direto de volume nas fontes oficiais. Nessas ocorrências, aplicou-se um critério de interpolação espacial: o VMD ausente foi estimado com base nos valores dos segmentos imediatamente adjacentes (anterior e posterior). Essa abordagem fundamenta-se na premissa da continuidade do fluxo de tráfego em rodovias, mitigando lacunas de informação que poderiam enviesar o cálculo das taxas de risco.

A aplicação desse processo de tratamento e espacialização revelou que a distribuição das ocorrências não é uniforme em toda a rede. Do universo total de 246 segmentos que compõem a malha viária analisada, apenas 164 segmentos (66,7%) apresentaram registros de sinistros envolvendo motocicletas ao longo dos seis anos, enquanto os demais não contabilizaram ocorrências dessa natureza no período.



Figura 4.1 – Ilustração do método de definição dos segmentos
Fonte: Elaborado pelo autor com auxílio de ferramenta de inteligência artificial.

A Tabela 4.1 apresenta a caracterização geral dos trechos rodoviários federais inseridos no escopo do estudo, considerando a extensão de cada rodovia dentro do Distrito Federal, o total de sinistros registrados no período de seis anos e a respectiva taxa de sinistros por quilômetro.

Tabela 4.1 - Trechos rodoviários do estudo

Rodovia Federal (BR)	**Extensão dentro do DF (km)**	**Total de Sinistros em 5 anos**	**Taxa de Sinistros/km (5 anos)**
BR-020*	58,8	703	11,96
BR-040*	32,2	576	17,89
BR-060*	31,3	301	9,62
BR-070*	19,8	905	45,71
BR-080	40,3	94	2,33
BR-251	60,8	78	1,28
Todas BRs	**243,2**	**2557**	**10,92**

* rodovias com taxas de sinistro superiores à média global.

Observa-se uma expressiva heterogeneidade na distribuição dos sinistros entre as rodovias analisadas. Destacam-se as BR-040 e BR-070, que, apesar de apresentarem extensões relativamente reduzidas no território do DF, concentram taxas de sinistros substancialmente superiores à média globa. A BR-020 e a BR-060 também apresentam taxas acima da média, ainda que em patamares inferiores às das rodovias mais críticas. Em contrapartida, rodovias

como a BR-010, BR-080 e BR-251 registram taxas significativamente menores, indicando menor concentração relativa de sinistros ao longo do período analisado.

Esses resultados reforçam a necessidade de análises mais detalhadas, considerando dados de exposição ao risco, com o volume de tráfego, para verificar se as rodovias com taxas acima da média são as que possuem os segmentos mais críticos, sendo indicadas para a priorização de investimentos.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS SINISTROS

A etapa consistiu na caracterização da amostra para compreender a dimensão do problema de segurança viária focado nos usuários de motocicletas. No período analisado, foram registrados 2.557 sinistros envolvendo motocicletas nas rodovias federais delegadas do DF.

A distribuição temporal das ocorrências na Tabela 4.2 revela um comportamento oscilatório, com uma redução observada entre 2020 e 2022, possivelmente influenciada pelas restrições de mobilidade da pandemia de COVID-19, seguida de uma tendência de alta expressiva nos anos de 2023 e 2024, atingindo o pico da série histórica no último ano.

Tabela 4.2 - Evolução anual dos sinistros com motocicletas (2019-2024)

Ano	Frequência Absoluta	Melhor Estimativa (%)
2019	440	-
2020	429	-2,5
2021	380	-11,4
2022	382	+0,8
2023	428	+12,0
2024	500	+16,5

Fonte: Elaboração própria (2025), a partir de dados da PRF.

Quanto à severidade, a análise dos dados confirma a alta vulnerabilidade dos motociclistas. A maioria dos eventos (94,5%) resultou em vítimas, restando uma parcela mínima de sinistros apenas com danos materiais. Foram contabilizados 69 sinistros fatais e 2489 com feridos ou óbitos, evidenciando que, para estes veículos, a ocorrência de um sinistro notificado é quase sinônimo de lesão corporal.

A espacialização dos dados, apresentada na Figura 4.1, revela uma concentração expressiva em três eixos rodoviários principais. A BR-070 destaca-se como a via de maiores ocorrências,

concentrando 31,4% (805 casos) do total de sinistros, seguida pela BR-020 (27,4%) e pela BR-040 (22,5%). Juntas, essas três rodovias respondem por mais de 80% da sinistralidade analisada, indicando corredores prioritários para ações de engenharia e fiscalização.

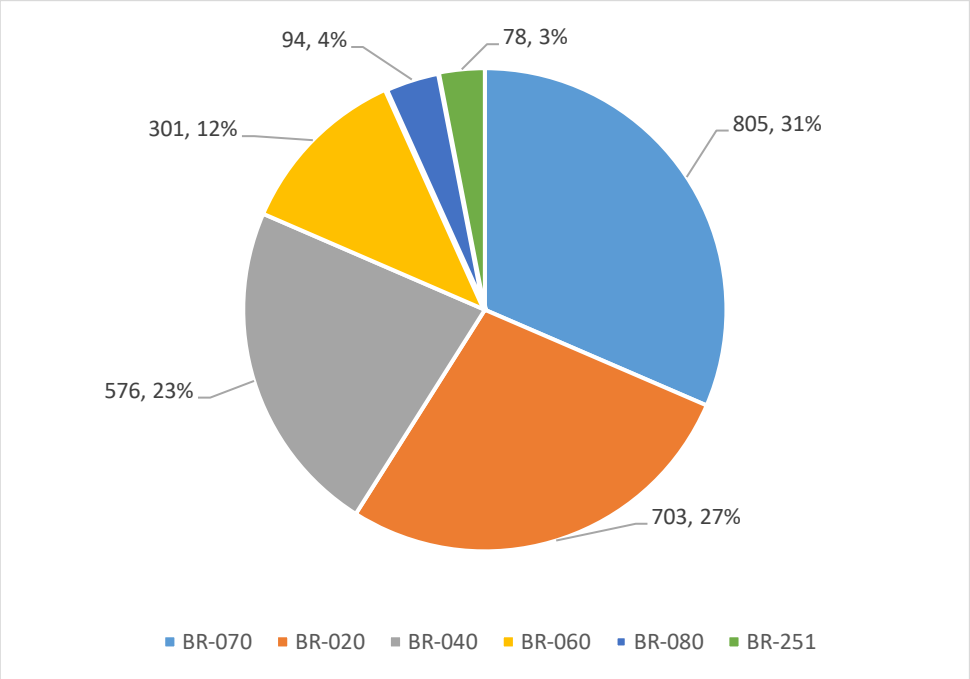


Figura 4.2 – Distribuição percentual dos sinistros com motociclistas por Rodovia Federal (2019-2024)

Fonte: Autoria Própria.

Quanto ao perfil demográfico das vítimas, observa-se uma predominância absoluta de condutores do sexo masculino. Conforme apurado na base de dados, 93,0% (2.383) dos motociclistas envolvidos eram homens, enquanto as mulheres representaram apenas 6,0% (153) dos casos. Em cerca de 1% dos registros, a informação de sexo não foi preenchida ou constava como ignorada. Essa disparidade reflete tanto a exposição ao risco quanto o perfil de utilização da motocicleta como instrumento de trabalho e transporte na região.

A análise etária, ilustrada na Figura 4.3, corrobora a vulnerabilidade da população jovem economicamente ativa. A faixa de 26 a 35 anos é a mais afetada, correspondendo a 35,1% dos condutores, seguida pelo grupo de 18 a 25 anos (25,5%). É alarmante notar que condutores com até 35 anos somam mais de 60% de todas as ocorrências, evidenciando a necessidade de políticas públicas de educação para o trânsito focadas neste público. A definição destas faixas

etárias baseou-se nos padrões de análise epidemiológica de trânsito (IPEA, 2003; ONSV, 2024).

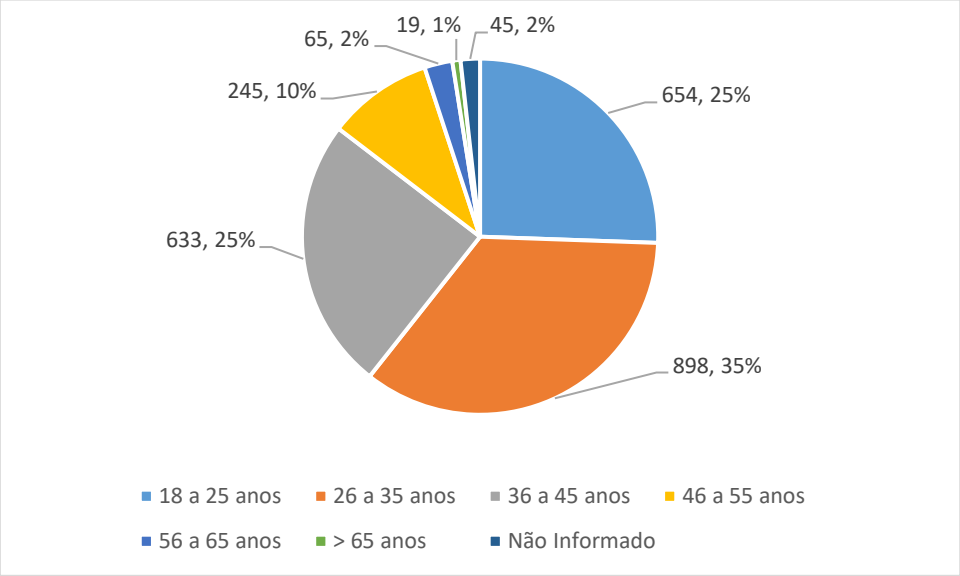


Figura 4.3 – Perfil etário dos condutores de motocicleta envolvidos em sinistros
Fonte: Autoria Própria.

A análise da tipologia dos sinistros na Figura 4.4 aponta para problemas graves de estabilidade e controle veicular. A "Queda de ocupante de veículo" aparece como o tipo mais frequente, com 1.092 registros, o que representa mais que o dobro das colisões traseiras (498), segundo tipo mais comum. O elevado número de quedas e tombamentos (255) sugere que grande parte dos sinistros ocorre sem a interação inicial com outro veículo, decorrente, possivelmente, de perda de controle.

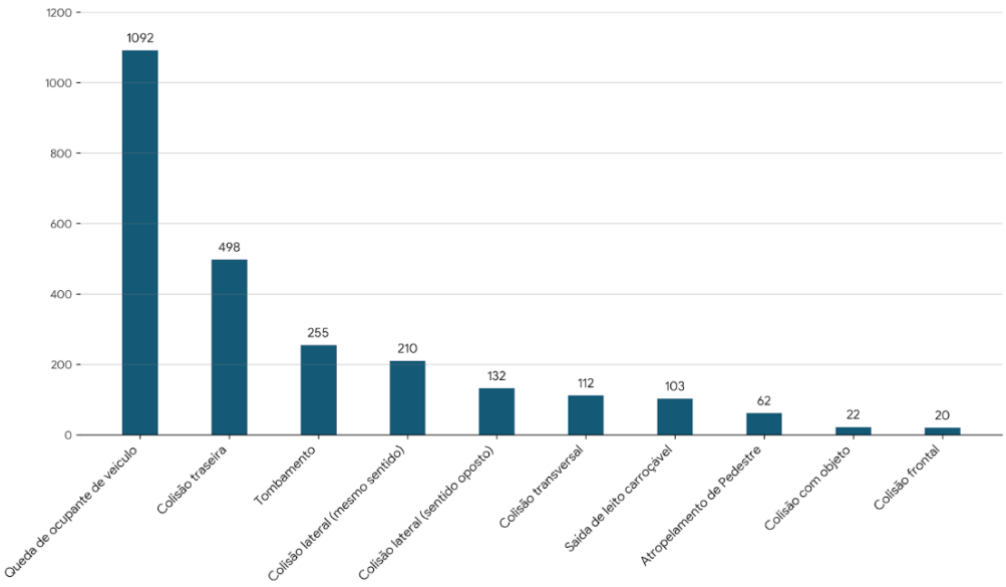


Figura 4.4 - Principais tipos de sinistros envolvendo motocicletas no DF

Fonte: Autoria Própria.

Esse padrão é explicado pelo diagnóstico causal apresentado na Figura 4.5. O fator humano é preponderante, com a "Falta de Atenção à Condução" liderando as causas (451 casos). Destaca-se ainda a influência do comportamento de risco no tráfego denso: a soma de causas como "Manobra de mudança de faixa" (251) e "Trafegar entre faixas" (218) evidencia os conflitos gerados pelo compartilhamento do espaço viário, especialmente em situações de "corredor".

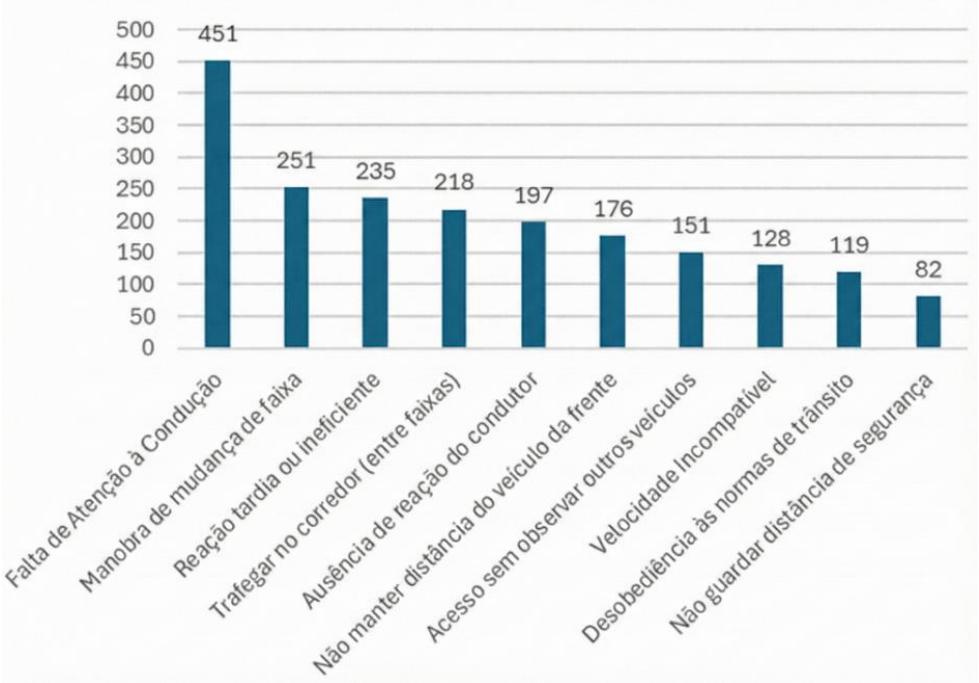


Figura 4.5 – Principais causas de sinistros com motocicletas

Fonte: Autoria Própria.

4.3 SEGMENTAÇÃO DA MALHA VIÁRIA NA BASE DE DADOS

A operacionalização do método de segmentação descrito na seção 3.2 foi aplicada à extensão das seis rodovias federais sob circunscrição da PRF no Distrito Federal. A delimitação física de cada eixo rodoviário respeitou os marcos de jurisdição exclusiva e as divisas geopolíticas estaduais, utilizando a base do Sistema Nacional de Viação (SNV) como referência para a validação dos limites quilométricos.

A aplicação dos critérios de discretização espacial resultou na seguinte configuração para a malha viária analisada:

- BR-020: A análise compreendeu o trecho da Saída Norte de Brasília até a divisa com Goiás (km 0 ao 58,8), totalizando 59 segmentos;
- BR-040: Foi considerado o trecho da Saída Sul até a divisa geopolítica com Valparaíso de Goiás (km 0 ao 32,2), gerando 33 segmentos;
- BR-060: O estudo abrangeu o eixo da Saída Sudoeste até a divisa interestadual (km 0 ao 31,3), compondo 32 segmentos;
- BR-070: A segmentação cobriu a ligação da Via Estrutural até a divisa com Águas Lindas de Goiás (km 0 ao 19,8), resultando em 20 segmentos;
- BR-080: O trecho incorpora a rodovia de ligação entre Brazlândia e a divisa com Padre Bernardo (km 0 ao 40,3), totalizando 41 segmentos;
- BR-251: Devido à existência de trechos coincidentes com outras rodovias, a segmentação restringiu-se ao trecho de jurisdição exclusiva desde a divisa leste (Unaí) até o entroncamento com a BR-040 (km 0 ao 60,8), resultando em 61 segmentos.

Dessa forma, a malha viária do estudo consolidou-se em um universo amostral de 246 segmentos espaciais homogêneos. Essa matriz de segmentos serviu como a base estrutural sobre a qual foram integrados os dados de volume de tráfego (VMD) e os registros de sinistralidade processados, permitindo o cálculo individualizado dos índices de severidade e gravidade para cada quilômetro da rede federal do Distrito Federal.

Por fim, cabe registrar o tratamento dos dados inconsistentes ou insuficientes. Foram descartados três sinistros da base original por não apresentarem a identificação do local ou da rodovia de ocorrência. Adicionalmente, a BR-010 foi excluída da matriz de análise, visto que

registrou apenas um sinistro ao longo do período de seis anos. Essa escassez de registros deve-se à superposição do traçado da BR-010 com os eixos das rodovias BR-020 e BR-060 dentro do Distrito Federal, o que leva à inferência de que os sinistros ocorridos nesses trechos coincidentes foram sistematicamente notificados e contabilizados nas estatísticas destas outras rodovias.

4.4 IDENTIFICAÇÃO DOS SEGMENTOS CRÍTICOS

A identificação e hierarquização dos segmentos críticos foram operacionalizadas por meio do Sistema de Análise de Segmentos Críticos Rodoviários (SASCR), um *software* desenvolvido em linguagem *Python* por Lucas Fermi, no âmbito do projeto "Aprimorando os Sistemas de Dados Rodoviários no Brasil para Prevenção de Sinistros" (BRASIL, 2025c). A ferramenta foi utilizada para automatizar o processamento da base de dados tratada (adaptada da descrita na seção 4.1), garantindo a aplicação das trilhas previstas no manual metodológico.

O sistema foi configurado para executar as análises sob as três abordagens metodológicas definidas no referencial teórico (Trilhas 1, 2 e 3), o que exigiu uma organização dual dos dados de entrada. Para as análises de severidade e frequência (Trilhas 1 e 2), os dados foram consolidados por trecho: todos os sinistros foram atribuídos aos seus respectivos segmentos homogêneos, que passaram a apresentar o somatório acumulado de vítimas feridas, fatais e ilesas como atributos do local, totalizando 164 segmentos com registros. Já para o tratamento espacial da Trilha 3, os dados foram organizados por sinistro: a base foi mantida desagregada, vinculando os trechos a cada ocorrência individualmente. Essa configuração preservou as coordenadas geográficas de cada evento particular, totalizando 2.557 registros de sinistros para o cálculo de densidade. A utilização da ferramenta computacional permitiu, assim, o processamento dessas variáveis espaciais e estatísticas, gerando diagnósticos adaptados para cada trilha. A Figura 4.6 apresenta a interface do *software* utilizado.



Figura 4.6 - Interface gráfica do *software* desenvolvido para identificação de segmentos críticos

Fonte: BRASIL (2025c).

Para a ponderação da gravidade das ocorrências em todas as análises, o *software* utilizou o índice de Unidade Padrão de Severidade (UPS). Foram adotados os pesos padrão do sistema, alinhados às diretrizes do PNATRANS para priorização da vida, conforme a Equação 4.1.

$$UPS = \left(1 \times S_{\text{Sem_vítima}}\right) + \left(4 \times S_{com_vítima}\right) + \left(28 \times S_{Com_óbito}\right) \qquad \text{Equação 4.1}$$

Onde os pesos 1, 4 e 28 foram aplicados, respectivamente, aos sinistros com apenas danos materiais, com feridos e com óbitos.

Como resultado do processamento, a ferramenta forneceu listas hierarquizadas de segmentos críticos e mapas de calor. A estruturação dos resultados baseou-se na consolidação integral da série histórica de seis anos para as três trilhas metodológicas analisadas. Essa consolidação de dados serviu como base quantitativa para a etapa subsequente de análise de resultados e proposição de contramedidas.

4.4.1 TRILHA 1: ANÁLISE DE VALOR CRÍTICO

A Trilha 1 consiste na análise reativa da segurança viária, baseada no histórico de sinistros de trânsito ocorridos na malha rodoviária. Para uma compreensão da dinâmica dos sinistros, a análise não se restringiu ao acumulado do período, foi também segmentada anualmente.

O *software* automatizou a triagem de dados, realizando as seguintes operações sequenciais para aplicar a Trilha 1:

1. Georreferenciamento e Segmentação: Diferente de uma contagem simples, o *software* agrupa os eventos dentro da janela espacial de 1 km definida pelo usuário.
2. Classificação por Severidade: Para cada sinistro registrado no segmento, o algoritmo identifica a gravidade da ocorrência (sem vítimas, com feridos ou com óbitos).
3. Ponderação (Cálculo do UPS): O *software* aplica pesos específicos a cada tipo de sinistro para gerar o índice de severidade acumulada. Ressalta-se que, nesta etapa, o cálculo considera apenas a frequência e a gravidade das ocorrências (números absolutos), sem realizar a normalização pelo Volume Médio Diário (VMD). Portanto, os resultados refletem a concentração espacial da severidade, e não a taxa de risco por veículo.
4. *Ranking* Anual e Consolidação: Ao final, o sistema gera uma lista ordenada (*Ranking*) dos segmentos com maiores índices de UPS, permitindo, com a devida consolidação desses resultados anuais, a visualização da evolução da criticidade ano a ano, bem como o total do período.

Nesse sentido, a análise da Tabela 4.3, que apresenta os segmentos críticos obtidos pela Trilha 1, revela a hierarquia de risco baseada na severidade acumulada (UPS). O segmento C003 (BR-040 km 3) destaca-se isoladamente como o ponto mais crítico de toda a malha analisada, acumulando um UPS total de 409. Esta liderança é seguida de perto pelos segmentos vizinhos C005 (BR-040 km 5) e C002 (BR-040 km 2), que ocupam a segunda e a terceira posições com 369 e 336 UPS, respectivamente.

A configuração do *ranking* aponta, portanto, para a BR-040 como o corredor de maior severidade do estudo, detendo cinco das oito primeiras posições (km 0, 2, 3, 5 e 7).

Embora a BR-040 domine o topo, a BR-070 mantém sua relevância crítica, posicionando o segmento F011 (km 11) na quarta colocação (333 UPS) e o F009 (km 9) na sexta (298 UPS).

Esses dados reforçam a periculosidade do trecho urbano de Ceilândia, que intercala posições de alta gravidade com o corredor da BR-040. Por fim, o segmento E004 (BR-060 km 4) surge na oitava posição (248 UPS), indicando um ponto focal de atenção na saída Sudoeste que destoa da concentração observada nas outras duas rodovias.

A Figura 4.7 espacializa os resultados obtidos pela aplicação do Método do Valor Crítico. Cabe ressaltar que, para a representação cartográfica de cada segmento homogêneo, adotou-se a coordenada geográfica de um dos sinistros ocorridos no trecho como ponto de referência espacial.

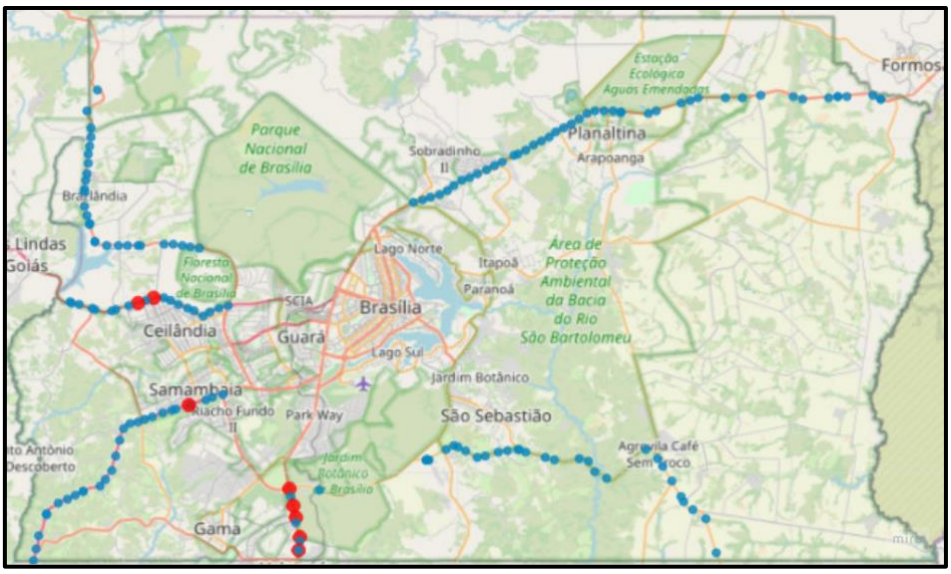


Figura 4.7 - Distribuição espacial dos segmentos críticos totais identificados pela Trilha 1
Fonte: BRASIL (2025c).

Tabela 4.3 - Segmentos Críticos pela Trilha 1

Ranking	Total		
	Código	**Segmento**	**UPS**
1º	C003	BR-040 km 3	409
2º	C005	BR-040 km 5	369
3º	C002	BR-040 km 2	336
4º	F011	BR-070 km 11	333
5º	C000	BR-040 km 0	321
6º	F009	BR-070 km 9	298
7º	C007	BR-040 km 7	258
8º	E004	BR-060 km 4	248

Fonte: Elaboração própria (2025).

4.4.2 TRILHA 2: ANÁLISE ESTATÍSTICA

Enquanto a Trilha 1 se baseia estritamente no histórico acumulado de ocorrências, a Trilha 2 introduz uma camada de refinamento estatístico ao estudo, aplicando o Método Empírico de Bayes.

A aplicação do método sobre a série histórica permitiu refinar o diagnóstico de segurança viária, distinguindo flutuações aleatórias de riscos estruturais reais. Ao comparar os *rankings* das trilhas.

A análise consolidada dos seis anos, detalhada no Anexo B, resultou na identificação de 58 segmentos críticos únicos. A aplicação do ajuste Bayesiano promoveu uma reconfiguração drástica na hierarquia de risco, conforme evidencia o ranking dos dez primeiros colocados apresentado na Tabela 4.4. Diferentemente da abordagem anterior, este método revelou a predominância da BR-020. A rodovia ocupa dez das quinze primeiras posições e responde por 20 dos 58 segmentos críticos totais, configurando-se como o eixo de maior criticidade sistêmica para motociclistas no Distrito Federal.

O segmento B017 (BR-020 km 17) assumiu a liderança do ranking com um valor ajustado de 6,25E+16, indicando um ponto de saturação de risco na região de Planaltina. Logo em seguida, observa-se um empate técnico entre os segmentos B004, B005 e B008, todos na faixa de 6,20E+16. Esse dado sugere que o risco na subida do Colorado e chegada a Sobradinho não é pontual, mas distribuído uniformemente em um patamar elevado de severidade.

Em segundo plano, a BR-070 mantém sua relevância estrutural com 18 segmentos presentes na lista final. Embora seus picos de severidade máxima estejam concentrados no início da rodovia, com destaque para os km 1, 2 e 4, a presença massiva de trechos subsequentes (do km 5 ao 19) no rol dos críticos demonstra que a via possui problemas de segurança contínuos, configurando um corredor ininterrupto de risco até a divisa com Goiás.

Por fim, observa-se que as rodovias BR-040 e BR-060 ocupam um papel secundário nesta hierarquização específica, com seus segmentos aparecendo majoritariamente na metade inferior do ranking e com menor frequência. A BR-040, que liderava na análise da trilha 1, só surge aqui a partir da 15ª posição (C003), indicando que, embora tenha um volume alto de ocorrências, a criticidade pelo modelo é comparativamente menor que a dos eixos Norte (BR-020) e Oeste (BR-070). Merece menção pontual o segmento H034 da BR-251, que figura como um outlier de alta severidade dessa rodovia.

Nesse sentido, a Figura 4.8 espacializa os resultados obtidos pela aplicação da Trilha 2. Reitera-se que, para a representação cartográfica dos segmentos críticos no mapa, utilizou-se a coordenada geográfica de um dos sinistros ocorridos no trecho como ponto de referência espacial.

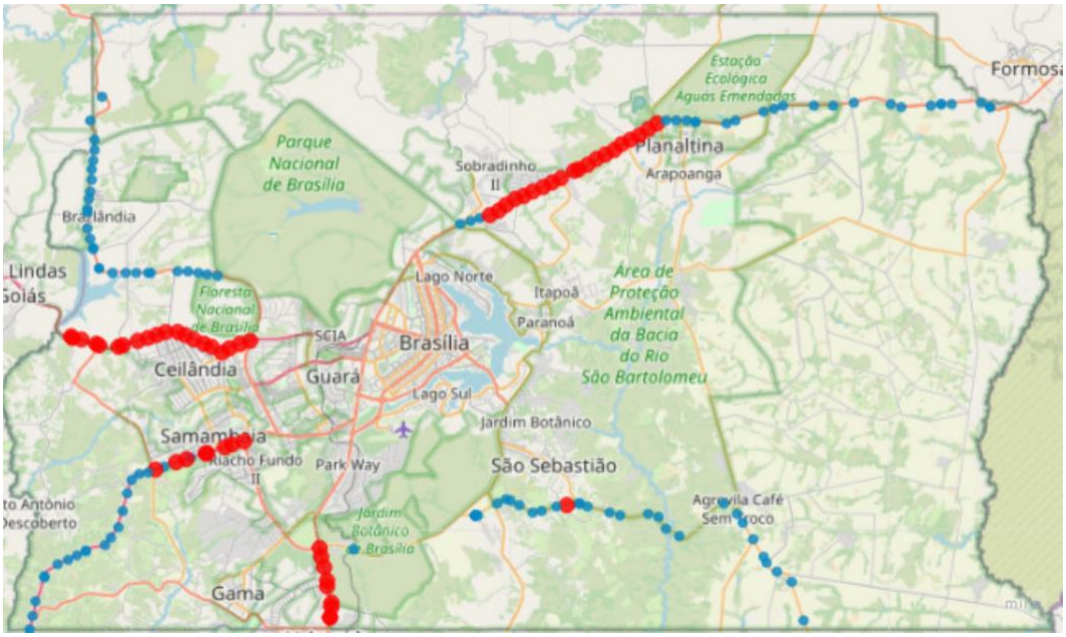


Figura 4.8 - Distribuição espacial dos segmentos críticos totais identificados pela Trilha 2

Fonte: Elaboração própria (2025).

Tabela 4.4 – Segmentos Críticos Prioritários pela Trilha 2

Ranking	Total		
	Código	**Segmento**	**Valor de Bayes**
1º	B017	BR-020 km 17	6.2534E+16
2º	B004	BR-020 km 4	6.2034E+16
3º	B005	BR-020 km 5	6.2034E+16
4º	B008	BR-020 km 8	6.2034E+16
5º	B020	BR-020 km 20	5.8534E+16
6º	F001	BR-070 km 1	5.7081E+16
7º	F002	BR-070 km 2	5.6081E+16
8º	B003	BR-020 km 3	5.5034E+16
9º	F004	BR-070 km 4	5.0581E+16
10º	B018	BR-020 km 18	4.8034E+16
11°	B014	BR-020 km 14	4.6534E+16
12°	B013	BR-020 km 13	4.4034E+16
13°	B015	BR-020 km 15	4.0034E+16
14°	F000	BR-070 km 0	3.6581E+16
15°	C003	BR-040 km 3	2.0467E+16

Fonte: Elaboração própria (2025).

4.4.3 TRILHA 3: ANÁLISE ESPACIAL

Conforme elencado na seção do método, enquanto as Trilhas 1 e 2 segmentaram a rodovia em trechos discretos de quilômetros fixos (análise pontual), a Trilha 3 aplica uma abordagem de análise espacial contínua através da Estimativa de Densidade de Kernel.

O objetivo desta etapa é identificar a concentração espacial da severidade, gerando "manchas de calor" (*hotspots*) que indicam onde o risco de sinistros graves é mais denso. O *software* percorre a malha viária calculando a sobreposição da influência de cada sinistro, ponderada pelo seu UPS. Desta forma, é possível detectar zonas críticas que podem estar situadas entre marcos quilométricos ou concentradas em extensões muito curtas (como uma curva ou interseção específica), situações que poderiam ser diluídas nas análises anteriores.

Diferentemente das abordagens anteriores, que trataram os dados de forma agregada por quilômetro, a operacionalização da Trilha 3 utilizou a base de dados em sua granularidade máxima. Foram processados individualmente todos os 2.557 sinistros registrados no período,

considerando suas coordenadas geográficas exatas (latitude e longitude) para o cálculo das manchas de calor.

O refinamento espacial resultou na identificação de apenas 11 segmentos críticos individuais na malha rodoviária federal do Distrito Federal. A relevância estatística desses pontos é demonstrada pelo alto grau de adensamento das ocorrências: embora representem uma pequena fração da extensão viária total, esses 11 segmentos concentram 608 sinistros. Tal cenário evidencia que aproximadamente 25% da sinistralidade total concentra-se nestes trechos específicos, resultado que corrobora a premissa metodológica da Trilha 3.

A metodologia de classificação priorizou a intensidade da aglomeração espacial. Para tanto, o ranking foi estruturado com base no valor máximo de densidade encontrado em cada um dos 11 segmentos. Também foi levantada a frequência de cada segmento dentro do total de 608 sinistros para contextualizar a representatividade de cada local.

Ainda, devido ao volume expressivo de registros que compõem esses clusters críticos, a apresentação integral dos dados brutos tornaria o documento excessivamente extenso. Por essa razão, optou-se por apresentar no Anexo C o detalhamento apenas dos 10% das ocorrências com maiores valores de densidade individual. Este critério de corte resulta em uma lista de 60 registros, um volume de dados equivalente ao apresentado no Anexo B (que listou os 58 segmentos da Trilha 2), mantendo a paridade dimensional dos apêndices e garantindo a representatividade amostral dos eventos que compõem o núcleo das manchas de calor.

A Figura 4.9 apresenta a distribuição espacial dos segmentos críticos identificados pela Estimativa de Densidade de Kernel.

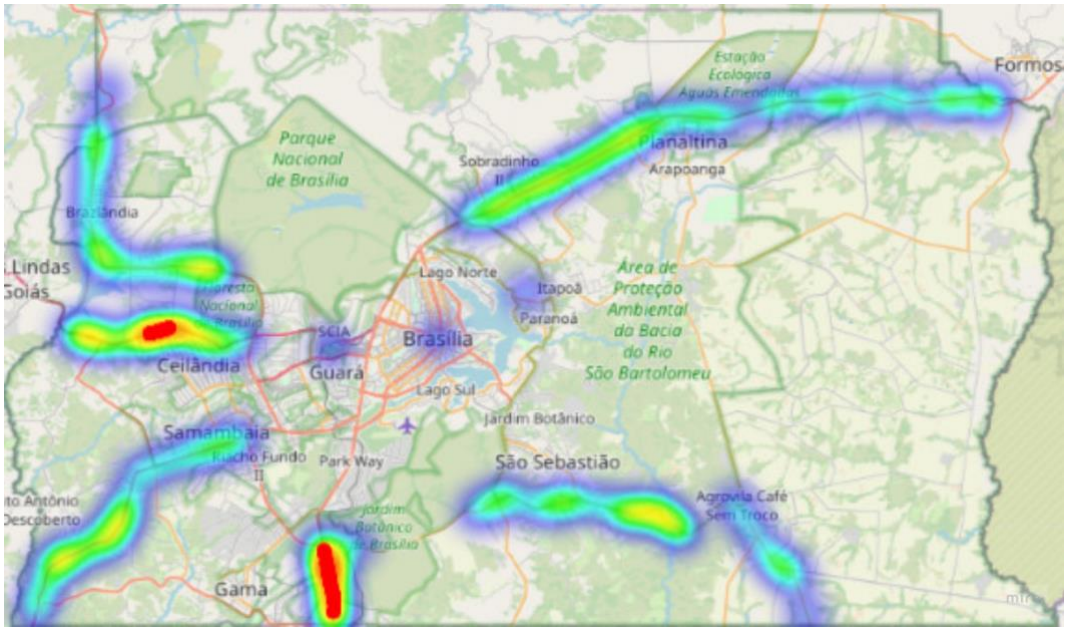


Figura 4.9 - Distribuição espacial dos segmentos críticos totais identificados pela Trilha 3

Fonte: BRASIL (2025c).

Quanto à análise dos dados apresentados na Tabela 4.5, observa-se uma notável dissociação entre os *rankings* de severidade da Trilha 2 e de densidade espacial, da Trilha 3. Enquanto a metodologia anterior destacou a BR-020 e a BR-070 pelo alto índice de mortalidade e gravidade, a análise de densidade revela que a BR-040 concentra, de forma absoluta, o maior volume físico de ocorrências por metro quadrado.

O caso mais emblemático é o do segmento C002 (BR-040 km 2), que assumiu a liderança isolada com uma densidade média de 95,6 milhões, um valor mais de quatro vezes superior ao segundo colocado. Embora este segmento tenha aparecido apenas na 21ª posição no *ranking* de severidade Bayesiana (Trilha 2), ele se configura, pelo método de Kernel, o principal ponto crítico do Distrito Federal. Isso indica que, mesmo que os sinistros neste local tenham menor letalidade individual (possivelmente engavetamentos ou colisões traseiras com danos materiais), eles ocorrem com uma frequência e concentração espacial tão elevadas que o caracterizam com um ponto crítico.

Além disso, a análise espacial refuta a hipótese de riscos isolados na BR-040. Os dados demonstram que a rodovia possui um padrão de risco contínuo e ininterrupto, ocupando todas as posições do 1º ao 7º lugar (km 1 ao km 7), além do 11º (km 0). Essa configuração sugere que toda a extensão urbana da BR-040 na saída sul funciona como um único corredor de alta densidade de sinistros. Em contraste, a BR-070, que liderava em severidade, aparece aqui formando um *cluster* secundário entre os quilômetros 9 e 11. Embora ainda preocupante e

estrutural, a densidade de ocorrências na BR-070 é significativamente menor do que a saturação observada na saída sul, demandando estratégias de intervenção distintas: foco em geometria e controle de velocidade na BR-070 (para reduzir fatalidades) e foco em fluxo e capacidade de via na BR-040 (para reduzir a densidade de conflitos).

Tabela 4.5 - Segmentos Críticos Prioritários pela Trilha 3

Ranking	**Código**	**Segmento**	**Maior Densidade**	**Frequência Absoluta**
1º	C003	BR-040 km 3	1,08E+8	99
2º	C002	BR-040 km 2	1,07E+8	78
3º	C004	BR-040 km 4	1,01E+8	53
4º	C001	BR-040 km 1	1,01E+8	46
5º	C005	BR-040 km 5	9,56E+6	98
6º	C007	BR-040 km 7	9,56E+6	1
7º	C006	BR-040 km 6	9,49E+6	47
8º	F010	BR-070 km 10	8,88E+6	56
9º	F009	BR-070 km 9	8,88E+6	69
10º	C000	BR-040 km 0	8,39E+6	6
11º	F011	BR-070 km 11	8,08E+6	54

Fonte: Elaboração própria (2025).

4.5 COMPARAÇÃO E CONVERGÊNCIA DAS TRILHAS

As três abordagens de identificação de segmentos críticos propostas pela Revisão Bibliográfica apresentam distinções fundamentais no que tange à complexidade estatística, à dependência de dados de exposição e à natureza espacial da análise.

Dessa forma, tanto a identificação do trecho como crítico, como a sua posição na hierarquia, podem ser diferentes. A Tabela 4.6 traz a hierarquização para os 3 métodos.

Tabela 4.6 – Segmentos Críticos pelos 3 métodos

Cód.	Segmento	UPS	Bayes	Kernel
B017	BR-020 km 17	-	**1º**	-
B004	BR-020 km 4	-	**2º**	-
B005	BR-020 km 5	-	**3º**	-
B008	BR-020 km 8	-	**4º**	-
B020	BR-020 km 20	-	**5º**	-
F001	BR-070 km 1	-	**6º**	-
F002	BR-070 km 2	-	**7º**	-
B003	BR-020 km 3	-	**8º**	-
F004	BR-070 km 4	-	**9º**	-
B018	BR-020 km 18	-	**10º**	-
B014	BR-020 km 14	-	**11°**	-
B013	BR-020 km 13	-	**12°**	-
B015	BR-020 km 15	-	**13°**	-
F000	BR-070 km 0	-	**14°**	-
C003	BR-040 km 3 (1)	**1º**	**15°**	**1º**
C002	BR-040 km 2 (2)	**2º**	-	**2º**
C004	BR-040 km 4	-	-	**3º**
C001	BR-040 km 1 (2)	**5º**	-	**4º**
C005	BR-040 km 5 (2)	**2º**	-	**5º**
C007	BR-040 km 7 (2)	**7º**	-	**6º**
C006	BR-040 km 6	-	-	**7º**
F010	BR-070 km 10	-	-	**8º**
F009	BR-070 km 9 (2)	**6º**	-	**9º**
C000	BR-040 km 0	-	-	**10º**
F011	BR-070 km 11(2)	**4º**	-	**11º**
E004	BR-060 km 4	**8º**	-	-

(1) Identificado como segmento crítico pelos 3 métodos.
(2) Identificado como segmento críticos por UPS e Kernel.

Considerando todos os métodos aplicados, 26 segmentos foram identificados como críticos. Desses, apenas 1, do km 3 a 4, da BR-040, foi identificado como crítico pelos 3 métodos. Os métodos UPS e Kernel tiveram 6 segmentos (23%) em comum (km 1-2, 2-3, 5-6 e 7-8 da BR-040 e km 9 a 10, e de 11 a 12 da BR-070).

A avaliação da concordância foi estruturada em duas dimensões: a Sobreposição (*Overlapping*), que mede a coincidência na identificação dos locais, e a Correlação de *Rankings*, que mede a concordância na hierarquização do risco.

4.5.1 ANÁLISE DE SOBREPOSIÇÃO

A análise de sobreposição mensurou o percentual de coincidência entre os segmentos classificados como prioritários por cada par de métodos ao longo de toda a série histórica.

A Tabela 4.7 apresenta a evolução dos índices de concordância. O percentual foi calculado considerando o número de segmentos coincidentes em relação ao conjunto total de segmentos críticos. Lembrando que a Trilha 1 resultou em 8 segmentos críticos e a Trilha 3, em 11 segmentos.

Tabela 4.7 - Sobreposição entre Métodos

Trilha 1 *vs* Trilha 2 (UPS *vs* Bayes)	**Trilha 2 *vs* Trilha 3 (Bayes *vs* KDE)**	**Trilha 1 *vs* Trilha 3 (UPS *vs* KDE)**
12,50%	9,10%	87,50%

Fonte: Elaboração própria (2025).

Observa-se uma forte correlação (87,5%) entre a Trilha 1 (UPS) e a Trilha 3 (Análise Espacial). Isso ocorre porque ambas as metodologias são diretamente influenciadas pela magnitude absoluta das ocorrências: dos 8 segmentos listados pela Trilha 1, sete também foram identificados como *hotspots* pela Trilha 3 (C003, C005, C002, F011, C001, F009 e C007), confirmando que os locais de maior severidade acumulada coincidem com as áreas de maior densidade física de sinistros.

Por outro lado, a comparação com a Trilha 2 (Bayes) evidencia a mudança de paradigma trazida pelo ajuste de risco. Mesmo considerando uma lista ampliada com os 15 primeiros colocados da Trilha 2, a sobreposição com as demais trilhas permaneceu residual:

Trilha 1 *vs* Trilha 2: A concordância foi de apenas 12,5%, restrita unicamente ao segmento C003 (BR-040 km 3), que figura no topo da Trilha 1 mas aparece apenas na 15ª posição da Trilha 2.

Trilha 2 *vs* Trilha 3: De forma similar, a coincidência foi de 9,1%, também isolada no segmento C003.

Essa baixa interseção reforça a tese de que a Trilha 2 captura uma dimensão de risco (criticidade latente da BR-020) que é "invisível" ou subestimada pelos métodos que não ponderam a aleatoriedade estatística, validando a complementaridade das abordagens para um diagnóstico sistêmico da segurança viária.

4.5.2 CORRELAÇÃO DE *RANKINGS*

Para avaliar a consistência na hierarquização da severidade, aplicou-se o Coeficiente de Correlação de Postos de Spearman sobre os segmentos coincidentes para cada trilha. Este indicador varia de -1 a +1, onde valores próximos a 1 indicam que os métodos concordam, independentemente dos valores absolutos dos índices. A Tabela 4.8 apresenta a evolução dos coeficientes de correlação.

Tabela 4.8 - Evolução da Correlação de *Rankings* entre Métodos (2019-2024)

Trilha 1 *vs* Trilha 2 (UPS *vs* Bayes)	**Trilha 2 *vs* Trilha 3 (Bayes *vs* KDE)**	**Trilha 1 *vs* Trilha 3 (UPS *vs* KDE)**
Disjunção Total*	Disjunção Total*	0,61
Independência	Independência	Correlação Positiva

*Nota: Não houve coincidência mínima de segmentos (pares > 2) para o cálculo estatístico da correlação.

Fonte: Elaboração própria (2025).

Primeiramente, observa-se uma correlação positiva de 0,61 entre a Trilha 1 (UPS) e a Trilha 3 (Densidade de Kernel). Este índice estatístico confirma que existe uma relação direta entre a severidade acumulada e a concentração espacial de sinistros: os segmentos que apresentam maior volume físico de sinistros (densidade) tendem a acumular maior pontuação de gravidade. Ambas as metodologias apontaram consistentemente para a BR-040 e os trechos urbanos da BR-070, demonstrando coerência na identificação dos gargalos de alto tráfego.

Em contrapartida, a correlação entre a Trilha 2 (Bayes Empírico) e os demais métodos configurou-se como um cenário de Disjunção Total. Devido à ausência quase completa de sobreposição entre os *rankings* (apenas o segmento C003 coincidiu, em posições distantes), o cálculo do coeficiente de correlação tornou-se inaplicável. Esse resultado comprova a independência metodológica da abordagem Bayesiana. Enquanto as Trilhas 1 e 3 são sensíveis à magnitude absoluta dos eventos (favorecendo rodovias movimentadas como a BR-040), a Trilha 2 isolou o risco intrínseco da via, trazendo à tona a criticidade oculta da BR-020.

Essa divergência comprova que as diferentes análises adicionam camadas de informação inéditas e não redundantes. A utilização isolada de apenas um desses métodos resultaria em um diagnóstico incompleto, ignorando *clusters* de risco severo que não possuem alta densidade volumétrica.

5 DEFINIÇÃO DE CONTRAMEDIDAS

Para a caracterização precisa dos problemas e a correta alocação de recursos, foi realizado um tratamento estatístico da base de dados histórica, visando identificar não apenas onde ocorrem os problemas, mas quais são os padrões recorrentes em cada localidade.

5.1 DIAGNÓSTICO DE TRECHOS CRÍTICOS

Diferentemente das abordagens tradicionais que buscam apenas a interseção entre métodos, este estudo optou pela integração complementar dos resultados. Considerando a divergência metodológica observada, onde as Trilhas 1 e 3 capturaram a magnitude do volume (BR-040) e a Trilha 2 evidenciou o risco latente (BR-020), a definição dos locais prioritários para intervenção resultou da união dos *rankings* das três trilhas.

Após a eliminação das duplicatas entre os 8 segmentos da Trilha 1, os 15 da Trilha 2 e os 11 da Trilha 3, obteve-se uma Matriz de Criticidade composta por 26 segmentos únicos. Estes trechos, embora representem uma fração mínima da malha rodoviária analisada, concentraram 1.137 sinistros no período, validando a premissa de que a insegurança viária no Distrito Federal se manifesta através de *clusters* de concentração.

Para orientar a proposição de contramedidas de engenharia, aplicou-se um tratamento sobre os 1.137 registros isolados nestes 26 segmentos. As causas originais foram categorizadas em sete grupos de macro fatores para identificar o padrão de acidentalidade predominante em cada local.

A Tabela 5.1 e a Tabela 5.2 apresentam a matriz de causas dos 26 segmentos em análise.

Tabela 5.1 – Matriz de Recorrência de Causas de Sinistros 1

Causas	B003	B004	B005	B008	B013	B014	B015	B017	B018	B020	C000	C001	C002
Álcool / Drogas	1	1	1	1	-	2	-	-	-	-	2	1	-
Distância e Reação	10	10	8	12	8	6	11	8	3	5	20	13	22
Falta de Atenção	6	6	4	6	6	4	4	3	6	7	16	8	24
Fatores Externos	2	2	2	2	2	1	1	2	1	3	4	3	7
Manobras Arriscadas	8	10	8	7	5	-	4	10	10	7	20	18	19
Pedestre / Outros	1	-	-	1	-	-	-	-	1	1	4	1	1
Veículo	-	-	-	1	-	-	-	-	2	-	3	-	2
Velocidade	1	2	2	1	1	5	-	3	1	1	6	2	3
Total geral	**29**	**31**	**25**	**31**	**22**	**18**	**20**	**26**	**24**	**24**	**75**	**46**	**78**

Fonte: Elaboração própria (2025).

Tabela 5.2 – Matriz de Recorrência de Causas de Sinistros 2

Causas	C003	C004	C005	C006	C007	E004	F000	F001	F002	F004	F009	F010	F011
Álcool / Drogas	1	3	-	-	2	-	-	2	2	-	7	3	2
Distância e Reação	28	12	28	16	23	7	3	9	8	6	13	11	13
Falta de Atenção	20	13	22	8	12	10	3	7	2	10	15	10	13
Fatores Externos	3	3	3	3	3	5	2	2	-	-	3	4	1
Manobras Arriscadas	32	18	37	18	9	22	8	8	9	7	27	22	23
Pedestre / Outros	-	-	-	1	1	-	-	-	-	1	2	2	1
Veículo	8	3	1	1	-	3	2	2	-	1	1	2	3
Velocidade	8	1	8	2	4	3	1	-	1	1	2	2	4
Total geral	100	53	99	49	54	50	19	30	22	26	70	56	60

Fonte: Elaboração própria (2025).

Cabe pontuar que as Tabelas 5.1 e 5.2 apresentam os dados agrupados por similaridade para permitir a visualização dos perfis de risco. Para uma análise granular, o inventário completo contendo a relação detalhada das causas e tipos de sinistros mais frequentes sem agrupamento, discriminados por segmento, encontra-se disponível no Apêndice D – Detalhamento Operacional dos Trechos Críticos.

A análise dos dados das Tabelas 5.1 e 5.2 evidencia que a distribuição da sinistralidade nos trechos críticos obedece a padrões comportamentais e operacionais intrinsecamente ligados às características de cada corredor viário. Nesse contexto, destaca-se inicialmente um perfil de saturação e conflitos de fluxo, predominante na BR-040, onde as categorias 'Manobras Arriscadas' (366 ocorrências) e 'Distância e Reação' (313 ocorrências) respondem, em conjunto, por cerca de 60% de todos os sinistros mapeados. Este cenário é exemplificado de forma aguda no segmento C005, que apresenta a interação veicular mais crítica do estudo, somando 37 registros por mudanças de faixa ou conversões e 28 por insuficiência de reação. Tal configuração, possivelmente, caracteriza rodovias operando no limite ou além de sua capacidade técnica, onde a densidade do tráfego impulsiona movimentos de entrelaçamento e a redução do distanciamento seguro, resultando em frequentes engavetamentos e colisões laterais.

Transversalmente a esses problemas operacionais, o fator humano desempenha um papel central através da 'Falta de Atenção', que figura como a terceira maior causa global, com 245 ocorrências. Este fator manifesta-se como determinante primário ou secundário em diversos trechos, com destaque para o segmento C002, que acumulou 24 registros dessa natureza.

Estes fatores variam desde a distração por dispositivos eletrônicos até condições fisiológicas críticas, como a fadiga e o mal súbito, que comprometem a capacidade de reação imediata, especialmente em situações de tráfego intermitente.

Por fim, ao contrastar as diferentes rodovias, nota-se uma clara distinção no perfil de risco. Enquanto a BR-040 é dominada pelos conflitos de saturação de fluxo, os segmentos da BR-020 (como B004 e B008) e da BR-070 apresentam uma distribuição causal mais heterogênea. Nestes locais, observa-se uma participação proporcionalmente maior de sinistros motivados por 'Velocidade Incompatível' e 'Fatores Externos' em comparação à Saída Sul. Essa constatação indica a necessidade de estratégias de intervenção distintas: enquanto os gargalos da BR-040 demandam foco em capacidade e fluxo, os pontos críticos das demais rodovias

exigem medidas prioritárias de controle e fiscalização de velocidade e deadequação geométrica.

De forma complementar à identificação das causas e tipos, procedeu-se à análise da distribuição temporal dos sinistros ocorridos nos 26 segmentos prioritários definidos. O objetivo desta etapa é identificar horários críticos de risco e correlacioná-las aos fatores contribuintes já diagnosticados.

A concentração de ocorrências em determinados horários atua como um indicador indireto das condições operacionais da via e do comportamento dos usuários, conforme detalhado na Figura 5.1.

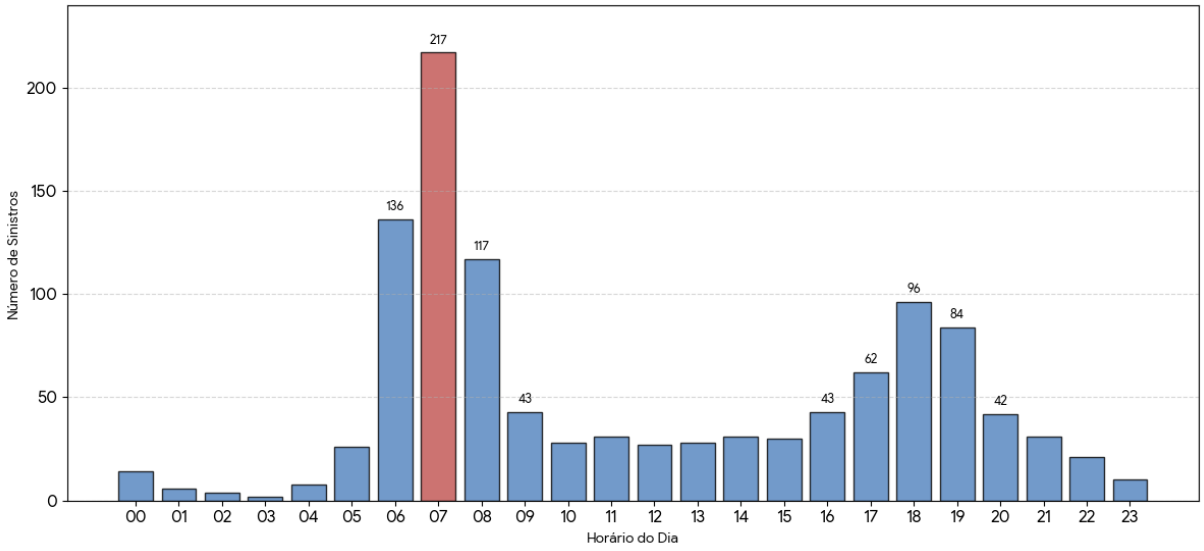


Figura 5.1 - Distribuição dos sinistros dos segmentos críticos em função do horário
Fonte: Elaboração própria (2025).

A consolidação dos dados de sinistros, estratificados por horário, revela um padrão de comportamento de tráfego ligado aos movimentos pendulares, evidenciando gargalos estruturais de capacidade nos corredores analisados.

O indicador mais alarmante extraído da base de dados reside na distribuição horária, que denota uma saturação crítica na janela matutina. O intervalo compreendido entre 06h00 e 08h00 concentra, isoladamente, aproximadamente 41% de todos os sinistros registrados nos trechos críticos, com o ápice absoluto da acidentalidade ocorrendo às 07h00 (217 ocorrências).

É relevante destacar a assimetria observada entre os picos de tráfego. O volume de sinistros registrado no pico da manhã (470 registros) é praticamente o dobro do observado no pico

vespertino (17h00 às 19h00, com 242 registros). Essa disparidade permite inferir que, para além da saturação física da via, fatores comportamentais atuam de forma mais incisiva no início do dia. A pressão pelo cumprimento de horários pela manhã tende a elevar a ansiedade dos condutores e reduzir a tolerância em situações de congestionamento, contribuindo para esse cenário de risco elevado.

Em síntese, o diagnóstico integrado evidencia uma clara dicotomia nos perfis de risco. De um lado, a BR-040 e os trechos urbanos da BR-070 apresentam indícios de saturação, onde 'Manobras Arriscadas' e 'Problemas de Distância' somam mais de 60% das causas, resultando em conflitos laterais e traseiros típicos de saturação.

Em contrapartida, os segmentos da BR-020 (Trilha 2) apresentam um quadro de risco qualitativamente distinto: embora tenham menor volume absoluto, possuem uma incidência proporcional de sinistros por 'Velocidade' (25% no segmento B020) e 'Atropelamentos' (16%) muito superior à média da malha. Isso indica que, nestes locais, a severidade não advém do congestionamento, mas sim da geometria da via e da falha na segregação entre o tráfego rodoviário de alta velocidade e as comunidades lindeiras.

5.2 INDICAÇÃO DE CONTRAMEDIDAS DE ENGENHARIA

O diagnóstico dos segmentos críticos, fundamentado na frequência e severidade dos sinistros entre 2019 e 2024, revelou padrões distintos de risco que demandam respostas específicas da engenharia rodoviária. A definição das contramedidas a seguir alinha-se aos conceitos de *Visão Zero* e *Sistemas Seguros* apresentados na Revisão Bibliográfica (CNT, 2021; VISÃO ZERO 2030, 2021).

A seleção das intervenções obedeceu à hierarquia de tratamento de riscos preconizada pelos manuais técnicos supracitados (BRASIL, 2023), priorizando a eliminação do risco, seguida pela proteção através de dispositivos de contenção e, por fim, a sinalização de alerta. As propostas foram estruturadas em três cenários de implementação: Mínimo (foco em sinalização e baixo custo), Intermediário (dispositivos físicos moderados) e Ideal (soluções estruturais ou tecnológicas avançadas).

5.2.1 MITIGAÇÃO DE SAÍDA DE PISTA E COLISÃO COM OBJETOS FIXOS

A análise detalhada da tipologia dos sinistros nos 26 segmentos críticos permitiu isolar um padrão de alta severidade associado à perda de controle do veículo. O cruzamento das colunas de "Causa" e "Tipo" na base de dados identificou que os segmentos B014 (BR-020) e F000 (BR-070) apresentam uma correlação direta entre a "Falta de acostamento" e a ocorrência de "Saídas de leito carroçável" e "Capotamentos". Adicionalmente, trechos como o F011 e o E004 registraram múltiplas ocorrências de "Colisão com objeto estático" e "Tombamentos", frequentemente associados a causas como "Pista Escorregadia" e "Velocidade Incompatível".

Nestes locais, a ausência de uma área de recuperação segura transforma o erro operacional (seja por falha mecânica, ou falha humana) em eventos de alta letalidade. Diante disso, a estratégia de intervenção deve adotar o conceito de Rodovia Indulgente, visando garantir que a saída de pista não resulte no impacto contra obstáculos rígidos.

Considerando a onipresença da tipologia "Queda de ocupante de veículo" em praticamente todos os segmentos analisados, com destaque para a BR-20 e a BR-40, torna-se imperativo que qualquer dispositivo de contenção instalado contemple a proteção para motociclistas. O uso de defensas metálicas convencionais sem proteção inferior (*rub-rail*) nestes trechos representaria um risco adicional de amputação ou impacto severo nos postes de sustentação durante as quedas.

Dessa forma, a Tabela 5.3 detalha as contramedidas físicas recomendadas para estes cenários identificados na base de dados.

Tabela 5.3 - Contramedidas para Saídas de Pista e Choques

Cenário	Tipo	Justificativa Técnica
Mínimo	Sonorizadores e Marcadores de Alinhamento.	Indicado para segmentos como F011 e E004. O aviso sonoro e vibratório é crítico para motociclistas distraídos, alertando sobre a iminente saída de faixa antes que as rodas atinjam o degrau ou o solo instável do acostamento, evitando a perda de equilíbrio.
Intermediário	Defensas Metálicas com Proteção Inferior (*Rub-rails*).	Essencial para os segmentos B014, B018 e F000, que apresentam histórico de "Tombamentos" e "Capotamentos" combinados com alta frequência de tráfego de motocicletas ("Trafegar entre faixas"). A proteção inferior impede que o motociclista caído atinja as hastes da barreira.
Ideal	Tratamento da Zona Livre e Pavimentação de Acostamento.	Resposta direta às causas "Falta de acostamento" (B014 e F000) e "Objeto estático/Animais" (B015 e B020). Envolve a remoção física de obstáculos fixos e a regularização lateral para permitir a retomada de controle do veículo em segurança.

Fonte: Elaboração própria (2025).

5.2.2 GERENCIAMENTO DE CONFLITOS LONGITUDINAIS

A análise granular dos dados na BR-040 (Segmentos C000 a C005) e nos trechos urbanos da BR-070 evidenciou um cenário crítico de saturação da capacidade viária. Nestes locais, a predominância absoluta de tipologias como "Colisão traseira" e "Engavetamento" (registrado explicitamente no segmento C000) está diretamente correlacionada às causas "Reação tardia ou ineficiente" e "Condutor deixou de manter distância".

Este padrão não é acidental, mas sintomático de regimes com tráfego instável, onde a formação repentina de filas de retenção surpreende condutores distraídos. Os dados apontam ainda a presença de "Falta de Atenção à Condução" e "Condutor Dormindo" como fatores contribuintes em diversos segmentos (ex: C002, B018), sugerindo que a monotonia do congestionamento ou a fadiga reduzem o nível de vigilância, tornando o tempo de reação insuficiente para evitar o impacto longitudinal.

Para mitigar este risco, a estratégia de engenharia deve focar na antecipação da informação. O condutor precisa ser alertado sobre a "quebra" de fluidez antes de visualizar a fila parada. A literatura técnica e os manuais de sinalização recomendam o uso de estímulos sensoriais (visuais e táteis) para romper o estado de distração ou sonolência antes das zonas críticas de retenção.

Tabela 5.4 - Contramedidas para Distração e Colisões Traseiras

Cenário	Tipo	Justificativa Técnica
Mínimo	Sinalização Vertical de Advertência e Marcas Transversais.	Resposta imediata para locais com incidência de "Reação tardia" (ex: C005). A implantação de placas A-48 ("Fila à frente") combinadas com marcas no pavimento aumenta a percepção de risco e estimula a redução preventiva de velocidade.
Intermediário	Sonorizadores Transversais.	Indicado para aproximações de áreas urbanas (C000). O alerta vibratório é transmitido diretamente ao guidão. Além disso, ao alertar condutores de veículos maiores logo atrás, protege o motociclista de ser prensado em engavetamentos iniciados por distração de terceiros.
Ideal	Controle Eletrônico de Velocidade.	Solução para a saturação da BR-040. A harmonização do fluxo reduz as ondas de "para-e-anda" (stop-and-go). Isso diminui drasticamente as trocas bruscas de faixa por automóveis em filas lentas, que são a principal causa de fechadas contra motociclistas trafegando nos corredores.

Fonte: Elaboração própria (2025).

5.2.3 VISIBILIDADE E SEGURANÇA NOTURNA

A investigação temporal destacou o risco elevado durante o período noturno e madrugadas em relação ao fluxo de veículos nesses horários e, segundo a revisão bibliográfica, a iluminação é apontada como o segundo fator viário-ambiental mais importante na determinação da severidade dos sinistros.

Ainda, a análise causal revelou que a deficiência visual é um fator latente de risco em segmentos específicos da malha. Diferente da desatenção generalizada, os dados brutos apontam falhas estruturais de percepção: o segmento B005 (BR-020) registrou explicitamente a causa "Iluminação deficiente", enquanto o B020 associou a "Deficiência do Sistema de Iluminação" a ocorrências críticas como "Atropelamentos" e colisões com "Animais na Pista".

A justificativa técnica para as intervenções reside na dificuldade de detecção visual de motocicletas, que possuem menor porte. A melhoria da iluminação em pontos críticos pode reduzir sinistros noturnos com vítimas fatais em cerca de 60%. Contudo, deve-se atentar para a transição gradual da luminosidade para permitir a adaptação visual do condutor. A Tabela 5.5 apresenta as contramedidas recomendadas nesse contexto.

Tabela 5.5 - Contramedidas para Visibilidade e Iluminação

Cenário	Tipo	Justificativa Técnica
Mínimo	Revitalização da Sinalização Horizontal.	Resposta direta aos problemas de "Restrição de Visibilidade" (C004, C006) e "Ausência de sinalização" (F010). O uso de materiais de alta retro refletividade nas faixas e tachas (olhos de gato) é essencial para guiar o condutor em curvas e situações de chuva/neblina.
Intermediário	Iluminação em Pontos Críticos	Focada nos segmentos B020 e F011, onde a combinação de "Atropelamento de Pedestre" e escuridão exige iluminação dedicada para destacar a silhueta do pedestre e permitir a reação do condutor.
Ideal	Sistema de Iluminação Pública LED em Trechos Urbanos	Necessária para mitigar a causa "Iluminação deficiente" registrada no B005 (BR-020) e para atender aos trechos urbanos saturados da BR-040 (C000-C005), onde a complexidade do tráfego e a presença de "Animais na pista" (B020/C003) exigem visibilidade total do ambiente.

Fonte: Elaboração própria (2025).

6 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo principal identificar, diagnosticar e propor soluções para os segmentos críticos de sinistralidade envolvendo motociclistas nas rodovias federais do Distrito Federal. A partir da estruturação de uma base de dados consolidada e da aplicação comparativa de três métodos de identificação (Valor Crítico, Empírico de Bayes e Densidade de Kernel), foi possível traçar um perfil de risco sistêmico e propor intervenções de engenharia fundamentadas nos conceitos de Sistemas Seguros.

Ressalta-se que o diagnóstico detalhado das causas e a proposição de contramedidas não foram realizados extensivamente para a totalidade dos segmentos da malha viária. Essa delimitação de escopo justifica-se pela lógica da Gestão de Segurança Viária, pois diante da extensão da rede e da limitação de recursos técnicos e financeiros, torna-se inviável tratar todos os quilômetros com a mesma profundidade. Portanto, a metodologia focou na triagem para isolar os segmentos prioritários e concentrar o esforço analítico onde o retorno em preservação de vidas seria estatisticamente maior.

6.1 SÍNTESE DAS CONTRIBUIÇÕES E RESULTADOS

A contribuição deste estudo reside na definição do problema da segurança viária para usuários vulneráveis, superando a análise puramente volumétrica. A análise, consolidada na identificação de segmentos críticos, permitiu concluir que a sinistralidade com motocicletas no Distrito Federal não é homogênea e apresenta padrões distintos de risco conforme o corredor viário.

Identificou-se uma clara distinção nos perfis de sinistralidade: a rodovia BR-040 concentra segmentos críticos devido a conflitos de fluxo e saturação, evidenciada pela predominância de manobras arriscadas, engavetamentos e reações tardias. Em contrapartida, as rodovias BR-020 e trechos da BR-070 apresentam quadros marcados pela severidade e deficiência de infraestrutura, onde fatores como velocidade incompatível, falta de acostamento e iluminação deficiente resultam em tipos de sinistros de maior letalidade, como saídas de pista, tombamentos e atropelamentos.

O estudo também desmistificou a hipótese de acidentalidade difusa e comprovou uma concentração temporal na janela matutina, das 06h às 08h, que sozinha concentra mais de 40%

dos eventos nos trechos críticos. Tal fato caracteriza o sinistro com motociclista como um fenômeno majoritariamente pendular e associado ao deslocamento casa-trabalho sob pressão de horário.

A distribuição dos segmentos críticos identificados ao longo da malha rodoviária, apresenta forte coerência com os padrões observados na análise agregada por rodovia. Verifica-se que a maior parte dos segmentos críticos ocorrem nas rodovias que apresentaram taxas de sinistros superiores à média global no período analisado, com destaque para as BR-040 e BR-070. Cabe ressaltar, entretanto, que embora os trechos rodoviários com maior risco médio tendam a concentrar segmentos críticos, essa correspondência não constitui uma regra geral, como provado pela identificação de pontos isolados de risco na BR-020 (Trilha 2).

6.2 LIMITAÇÕES METODOLÓGICAS E DOS DADOS

Apesar do rigor analítico empregado, o estudo sujeitou-se a limitações inerentes à natureza dos dados de segurança viária e às dinâmicas de registro no Brasil. Inicialmente, no que tange à delimitação territorial da amostra, identifica-se uma possível perda de informações durante a filtragem dos boletins. Existe a possibilidade de que sinistros ocorridos nos limites geográficos do Distrito Federal tenham sido registrados por unidades operacionais ou delegacias situadas em estados adjacentes, o que acarretaria a exclusão desses registros durante o processo de triagem e limpeza da base de dados.

Outro ponto de atenção refere-se à confiabilidade da classificação tipológica realizada pelos agentes em campo. Especificamente quanto à elevada incidência de quedas de ocupante, é plausível inferir que uma parcela desses registros possa derivar de interações prévias não notificadas, como abalroamentos ou fechadas por outros veículos, e não apenas de perda de controle isolada. Essa simplificação no preenchimento do boletim de ocorrência pode mascarar a dinâmica real do conflito e subestimar a participação de terceiros na causalidade dos sinistros.

Além disso, a consistência da referência espacial linear pode ter sido afetada por alterações no Sistema Nacional de Viação ao longo do período analisado. Mudanças no traçado, obras de duplicação ou atualizações na quilometragem oficial das rodovias podem gerar discrepâncias posicionais, onde o local físico de um determinado marco quilométrico no ano base não corresponde exatamente ao mesmo ponto geográfico nos anos subsequentes.

Sob a ótica metodológica, uma limitação relevante na aplicação da Trilha 1 residiu na arquitetura do *software* utilizado para o processamento dos dados. Embora as informações de

Volume Diário Médio (VDM) estivessem disponíveis, a ferramenta computacional empregada não operacionalizou o cálculo da 'Taxa de Severidade' (que pondera o risco pelo volume de tráfego), restringindo a análise aos métodos baseados na densidade de severidade acumulada (UPS/km). A consequência direta dessa restrição instrumental é a não normalização dos dados pela exposição ao risco. Dessa forma, a metodologia aplicada tende a enfatizar rodovias com volumes de tráfego muito elevados, destacando a magnitude absoluta do problema, em detrimento do risco relativo por veículo-quilômetro percorrido.

Adicionalmente, identificou-se uma distorção nos valores absolutos gerados pela Trilha 2 (Método Empírico de Bayes). Os resultados do 'Número Esperado de Sinistros' apresentaram magnitudes atipicamente elevadas, indicando que a Função de Performance de Segurança pré-configurada no software pode não estar perfeitamente calibrada. Essa sensibilidade do algoritmo tende a superestimar o risco potencial em cenários onde a variância dos dados históricos é alta, demandando cautela na interpretação dos valores brutos desta trilha específica.

Por fim, a análise comparativa de sobreposição entre os métodos de identificação encontrou restrições estatísticas devido ao tamanho da amostra de trechos críticos. Em determinados anos da série histórica, a metodologia do Valor Crítico, correspondente à Trilha 1, não identificou um número mínimo suficiente de segmentos, o que limitou a robustez dos testes de concordância e a capacidade de confrontar os resultados entre as diferentes trilhas de forma plena.

6.3 PERSPECTIVAS PARA TRABALHOS FUTUROS

Para a continuidade e aprofundamento desta linha de pesquisa, sugere-se o desenvolvimento de estudos de viabilidade econômica das contramedidas propostas para quantificar o retorno social da redução de mortes e feridos. Outra linha de investigação pertinente é a aplicação de métodos de Análise de Conflitos de Tráfego nos segmentos críticos identificados, utilizando vídeo-monitoramento, por exemplo, para detectar quase-acidentes antes que evoluam para sinistros reais. Por fim, recomenda-se realizar um estudo do tipo Antes e Depois caso alguma das medidas propostas seja implementada, validando a eficácia das soluções no contexto específico do Distrito Federal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AARTS, L. & SCHAGEN, I. (2006) Driving speed and the risk of road crashes: A review. Accident Analysis and Prevention, v. 38, p. 215-224.

ABDETRAN (1997) Impacto do uso de álcool e outras drogas em vítimas de acidentes de trânsito. Brasília, DF: ABDETRAN.

ABNT (2016) BRASIL, Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 15486 — Segurança no tráfego. Dispositivos de contenção viária. Diretrizes de projeto e ensaios de impacto. Brasil, 2016.

ABNT (2018) BRASIL, Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 5101 — Iluminação pública – Procedimento. Brasil, 2018.

ABNT (2020) BRASIL, Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 10697:2020. Pesquisa de sinistros de trânsito — Terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

AGÊNCIA BRASIL (2018) Acidentes no trânsito têm impacto de R$ 199 bi na economia. Entrevista com Natália Oliveira, do CPES da Escola Nacional de Seguros. Disponível em: https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2018-05/acidentes-no-transito-tem-impacto-de-r-199-bi-na-economia. Acesso em: 13 jul. 2025.

AGUILERA, S. L. V. U.; MOYSÉS, S. T. & MOYSÉS, S. J. (2014) Intervenções de segurança viária e seus efeitos nas lesões causadas pelo trânsito: uma revisão sistemática. Revista Panamericana de Salud Pública, v. 36, n. 4, p. 257–65.

AASHTO. (2010) ESTADOS UNIDOS, American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). Highway Safety Manual. 1ª edição. Washington, DC, Estados Unidos.

AASHTO. (2011) ESTADOS UNIDOS, American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). Roadside Design Guide. 4° edição. Washington, DC, Estados Unidos.

AMARAL, C. (2016) Em defesa da fauna, MPE quer retirada de barreira de concreto da SP-270. G1 Presidente Prudente e Região. Recuperado de https://g1.globo.com/sp/presidente-prudente-regiao/noticia/2016/10/em-defesa-da-fauna-mpe-quer-retirada-de-barreira-de-concreto-da-sp-270.html

AUSTRÁLIA, Department of Transport and Main Roads. (2015) Safer roads, Safer Queensland: Queensland's Road Safety Strategy 2015-21. The State of Queensland, Australia.

AUSTROADS (2021) Guide to Road Safety Part 2: Safe Roads. Sydney, Austrália. Disponível em: https://austroads.com.au/publications/road-safety/agrs02. Acesso em: 13 jul. 2025.

BANCO MUNDIAL (s.d.) World Bank Country and Lending Groups: World Bank Data Help Desk. Disponível em: https://datahelpdesk.worldbank.org/knowledgebase/articles/906519. Acesso em: 13 jul. 2025.

BARHOUMI, O.; ZAKI, M. H. & TAHAR, S. (2024) A Formal Approach to Road Safety Assessment Using Traffic Conflict Techniques. IEEE Open Journal of Vehicular Technology, v. 5, p. 606-619.

BBC NEWS BRASIL. (2022) Três Morrem por Hora no Trânsito no Brasil. Disponível em: https://www.bbc.com/portuguese/brasil-61181312. Acesso em: 13 jul. 2025.

BJØRNSKAU, T. (2011) Sikkerhetseffekter av salting. TØI rapport 1171/2011. Transportøkonomisk institutt, Oslo.

BORTOLI, L. P. (2024) Análise de Segurança Viária na PRC 280: Estudo de Caso no Trecho entre Pato Branco-PR e Mariópolis-PR. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação (Bacharel em Engenharia Civil). Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Pato Branco, PR.

BRASIL (2002) Lei Nº 13.281, de 4 de maio de 2016. Altera a Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997 (Código de Trânsito Brasileiro), e a Lei nº 13,146, de 6 de julho de 2015. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2016/lei/l13281.htm. Acesso em: 13 jul. 2025.

BRASIL. CONTRAN - Conselho Nacional de Trânsito (2016) Resolução nº 600, de 24 de maio de 2016. Disponível em: https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/conteudo-contran/resolucoes/resolucao6002016_new.pdf. Acesso em: 13 jul. 2025.

BRASIL. CONTRAN - Conselho Nacional de Trânsito. DENATRAN - Departamento Nacional de Trânsito (2021) Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito Volume IV – Dispositivos Auxiliares. Brasília, Brasil.

BRASIL. DENATRAN - Departamento Nacional de Trânsito (2002) Anuário Estatístico de Acidentes de Trânsito – 2001. Brasília.

BRASIL. IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2021) Pesquisa Nacional de Saúde, 2019: acidentes, violências, doenças transmissíveis, atividade sexual, características do trabalho e apoio social. Coordenação de Trabalho e Rendimento, Rio de Janeiro: IBGE. Disponível em: liv101800.pdf (ibge.gov.br). Acesso em: 13 jul. 2025.

BRASIL (2023) Ministério da Infraestrutura. Senatran. (2023) Estatísticas - Frota de Veículos. Disponível em: https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/conteudo-Senatran/estatisticas-frota-de-veiculos-senatran. Acesso em: 13 jul. 2025.

BRASIL. Ministério da Saúde. DATASUS (2002) Óbitos por causas externas – Brasil. Grande Grupo CID10: V01-V99 Acidentes de transporte. Disponível em: http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/tabcgi.exe?logtabnet/log.def. Acesso em: 13 jul. 2025.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Análise em Saúde e Vigilância de Doenças Não Transmissíveis (2021) Plano de Ações Estratégicas para o Enfrentamento das Doenças Crônicas e Agravos não Transmissíveis no Brasil 2021-2030. Brasília: Ministério da Saúde, 36p.

BRASIL. UNRSF Project (2025a) Manual de Identificação de Segmentos Críticos Rodoviários. Projeto "Aprimorando os Sistemas de Dados Rodoviários no Brasil para Prevenção de Sinistros". Brasília.

BRASIL. (2025b). Manual de identificação de segmentos críticos rodoviários (Relatório Técnico 2, Projeto IMROADDS – Improving Road Data System). Brasília, DF: Autor.

BRASIL. (2025c). Manual de utilização: Sistema de análise de segmentos críticos rodoviários (Relatório Técnico 3, Projeto IMROADDS – Improving Road Data System).

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE (2002) Projeto de redução da morbimortalidade por acidente de trânsito. 2ª Edição Revisada. [Local e editora ausentes no original].

BRASIL. MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES (2002) Programa PARE: Procedimentos para o Tratamento de Locais Críticos de Acidentes de Trânsito. Universidade de Brasília (UnB), Brasília, DF, Brasil.

BRASIL. MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA (2018) Plano Nacional de Redução de Mortes e Lesões no Trânsito 2021 – PNATRANS. Brasília, 161 p.

BROCKENBROUGH, R. L. (2009) Highway Engineering Handbook: Building and Rehabilitating the Infrastructure. 3ª edição. Nova Iorque: The McGraw-Hill Companies.

CAFISO, S.; D'AGOSTINO, C. & PERSAUD, B. (2018) Investigating the influence of segmentation in estimating safety performance functions for roadway sections. Journal of Traffic and Transportation Engineering, v. 5(2), p. 129-136.

CAFISO, S.; DI GRAZIANO, A.; DI SILVESTRO, G.; LA CAVAA, G. & PERSAUD, B. (2010) Development of comprehensive accident models for two-lane rural highways using exposure, geometry, consistency and context variables. Accident Analysis and Prevention, v. 42, p. 1072-1079.

CCR ViaLagos (2025) CCR ViaLagos registra queda de 30% nos acidentes durante a Operação Especial de Carnaval 2025. Recuperado de https://rodovias.grupoccr.com.br/vialagos/noticias/2025/marco/ccr-vialagos-registra-queda-de-30--nos-acidentes-durante-a-opera/

CENEK, P. D.; DAVIES, R. B. & McLARIN, M. W. (1997) Road Environment and Traffic Crashes. Research Report 79, Transfund New Zealand, Wellington, New Zealand.

CHANG, L. & CHEN, W. (2005) Data mining of tree-based models to analyze freeway accident frequency. Journal of Safety Research, v. 36, p. 365-375.

CHENG, W. & WASHINGTON, S. P. (2005) Experimental evaluation of hotspot identification methods. Accident Analysis and Prevention, v. 37, p. 870-881.

CISA (2023) Panorama Álcool Saúde CISA 2023. Disponível em: https://cisa.org.br/images/upload/Panorama_Alcool_Saude_CISA2023.pdf. Acesso em: 13 jul. 2025.

CLARKE, D. D.; WARD, P.; BARTLE, C. & TRUMAN, W. (2007) The role of motorcyclist and other driver behavior in two types of serious accident in the UK. Accident Analysis & Prevention, v. 39, n. 5, p. 974-981.

CNT (2021) Rodovias que perdoam. Transporte em foco, mar. 2021. Disponível em: https://cdn.cnt.org.br/diretorioVirtualPrd/5d10ad26-e26e-4979-9092-024503d49dfc.pdf. Acesso em: 18 nov. 2022.

CNT (2023) Confederação Nacional do Transporte. Pesquisa CNT de Rodovias 2023: levantamento das condições da malha rodoviária pavimentada brasileira. Confederação Nacional do Transporte. Recuperado de https://pesquisarodovias.cnt.org.br/

CNT (2025) Confederação Nacional do Transporte. Painel *CNT de Acidentes Rodoviários*. Disponível em: https://cnt.org.br/painel-acidente. Acesso em: 13 jul. 2025.

COOK, D.; REGINALD, S. & JUSTIN, J. (2011) Effect of Road Segmentation on Highway Safety Analysis. In: Proceedings of the 90th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, USA.

COSTA, J. O. (2013) Desenvolvimento dum modelo de previsão de acidentes. Tese de Doutoramento em Segurança Rodoviária. Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Guimarães, Portugal.

CUI, H.; DONG, J.; ZHU, M.; LI, X.; WANG, Q. (2022) Identifying accident black spots based on the accident spacing distribution. Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition), v. 9 (6), p. 1017-1026.

DAS, A. & ABDEL-ATY, M. (2011) A combined frequency-severity approach for the analysis of rear-end crashes on urban arterials. Safety Science, v. 49, p. 1156-1163.

DEMETERCO, F. M. (2022) Análise Comparativa de Diferentes Metodologias de Identificação de Pontos Críticos Rodoviários. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF.

DER/SP (2023) GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE, INFRAESTRUTURA E LOGÍSTICA DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM. (2023) Manual de Segurança Viária. São Paulo.

DNER (1999) Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais. Publicação 706. 195 p.

DNIT (2007) Terminologias Rodoviárias Usualmente Utilizadas. Versão 1.1. 14 p.

DNIT (2009) Divisão em trechos do PNV versão 2009.

DNIT (2019). Programa BR-Legal 2: Dados de modelagem de VDM 2019 (SNV 202001A). Planilha em Excel. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/infraestrutura-rodoviaria/br-legal-

2/dados/vdm_modelagem_2019_snv_202001a_modelodisponibilizacao.xlsx/view. Acesso em: 20 nov. 2025.

DNIT (2020). Fator UPE e VDM para site (Atualização I). Arquivo PDF. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/rodovias/operacoes-rodoviarias/faixa-de-dominio/fator-upe-e-vmd-para-site-atualizacao-i-dez-2020.pdf. Acesso em: 20 nov. 2025.

DNIT (2021). Portal de Dados Abertos: Recurso de Dados Rodoviários. Disponível em: https://servicos.dnit.gov.br/dadosabertos/dataset/74588ac0-4170-4b51-b642-164a84110955/resource/dca67ce1-fd9e-4e7f-9c9b-35ed9a9d4cd5?activity_id=4a172580-6c75-4d23-b34c-45e16782cb8a. Acesso em: 20 nov. 2025.

DNIT (2021). Portal de Dados Abertos: Recurso de Dados Rodoviários. Disponível em: https://servicos.dnit.gov.br/dadosabertos/dataset/74588ac0-4170-4b51-b642-164a84110955/resource/46266208-5e35-4904-87db-4cc5ec4bd480?activity_id=c377420a-2d7c-4317-85eb-18e413495294. Acesso em: 20 nov. 2025.

DNIT (2021). Valores de UPE e VMD. Arquivo PDF. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/rodovias/operacoes-rodoviarias/faixa-de-dominio/valores-de-upe-e-vmd-ultima-atualizacao-27102021.pdf. Acesso em: 20 nov. 2025.

DNIT (2022). Planilha de Fatores UPE e SNV. Arquivo PDF. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/rodovias/operacoes-rodoviarias/faixa-de-dominio/planilha_f_upe_snv_27-12-22.pdf. Acesso em: 20 nov. 2025.

DNIT (2023). Planilha de Fatores UPE e SNV (07/11/2023). Arquivo PDF. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/rodovias/operacoes-rodoviarias/faixa-de-dominio/planilha_f_upe_snv_07-11-23.pdf. Acesso em: 20 nov. 2025.

DNIT (2024). Planilha de Fatores UPE e SNV (14/05/2024). Arquivo PDF. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/rodovias/operacoes-rodoviarias/faixa-de-dominio/planilha_f_upe_snv_14-05-2024.pdf. Acesso em: 20 nov. 2025.

ELVIK, R.; HØYE, A.; VAA, T. & SØRENSEN, M. (2009) The Handbook of Road Safety Measures. 2ª edição. Emerald Publishing Group, Bingley, Reino Unido, 1124p.

ELVIK, R.; HOYE, A.; VAA, T. & SORENSEN, M. (2015) O manual de medidas de segurança viária. Fundación MAPFRE, Madri, Espanha.

ESTRADAS (2015) Estradas.com.br. Defesas duplas na ViaLagos reduzem o índice de óbitos em 79%. Recuperado de https://estradas.com.br/80848/

FERRAZ, C.; RAIA JR., A.; BEZERRA, B.; BASTOS, T. & RODRIGUES, K. (2012) Segurança Viária. Suprema Gráfica e Editora, São Carlos, SP, 322p.

FERRAZ, A.; RAIA JUNIOR, A.; BEZERRA, B.; BASTOS, J. & SILVA, K. (2023) Segurança Viária. Suprema Gráfica e Editora, São Carlos, SP.

FITZPATRICK, K.; SCHNEIDER, W.; CARVELL, J.; FITZPATRICK, K. & SCHNEIDER, W. (2006) The TRB Highway Safety Manual Using the Rural Two-Lane Highway Draft

Prototype Chapter. In: Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board.

GARBER, N. J.; MILLER, J. S., YUAN, B., & SUN, X. (2005) The Safety Impacts of Differential Speed Limits on Rural Interstate Highways. Turner-Fairbank Highway Research Center, Federal Highway Administration, Department of Transportation. Estados Unidos.

GELAU, G.; GITELMAN, V., HAGENZIEKER, M., HEIDSTRA, J., JAYET, M.-C., BIECHELER-FRETEL, M.-B., FISCHER, P., & MACOUN, T. (2000) "ESCAPE" Project: review of descriptive variables for evaluating police enforcement. Working paper 10. Technical Research Centre of Finland (VTT), Finlândia, 34p.

GEURTS, K. & WETS, G. (2003) Black spot analysis methods: Literature review.

GLENNON, J. C. & TAMBURRI, T. N. (1967) Objective criteria for guardrail installation. Highway Research Record, v. 174.

GREEN, E. R. & AGENT, K. R. (2011) Evaluation of the Locations of Kentucky's Traffic Crash Data. In: Proceedings of the 3rd International Conference on Road Safety and Simulation, Indianapolis, USA.

GREEN, E.; NIKIFOROS, S. & REGINALD, S. (2017) Segment Length and Highway Safety Analysis: Does It Matter? In: Proceedings of the 96th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, USA.

HALDORSEN, I. (2013) Sikre biler 2012. Notat. Statens vegvesen, Oslo.

HAUER, E., HARWOOD, D. W., COUNCIL, F. M., & GRIFFITH, M. S. (2002) Estimating safety by the empirical Bayes method: A tutorial. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 1784(1), 126–131. https://doi.org/10.3141/1784-16

IBGE (2006) Índice de Frotas de Veículos. Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/22/28120?ano=2006. Acesso em: 10 jun. 2025.

IBGE (2025) Anuário Estatístico do Brasil. Rio de Janeiro. Disponível em: https://anuario.ibge.gov.br/ . Acesso em: 22 nov, 2025.

IPEA - INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (2003) Impactos sociais e econômicos dos acidentes de trânsito nas aglomerações urbanas. Síntese da pesquisa. Brasília, DF, 21p.

iRAP - INTERNATIONAL ROAD ASSESSMENT PROGRAMME (2022) Road Safety Toolkit. Disponível em: https://toolkit.irap.org/pt/crash-type/run-off-road/. Acesso em: 10 jun. 2025.

JANOFF, M. S.; CASSEL, A.; FERTNER, K. S. & SMIERCIAK, E. S. (1970) Daytime Motorcycle Headlight and Taillight Operation. Report DOT HS-800 321. US Department of Transportation, National Highway Safety Bureau, Washington DC.

KOOREY, G. (2009) Road data aggregation and sectioning considerations for crash analysis. Transportation Research Record, v. 2103, p. 61-68.

LEE, A. S.; LIN, W. H.; GILL, G. S. & CHENG, W. (2019) An enhanced empirical bayesian method for identifying road hotspots and predicting number of crashes. Journal of Transportation Safety and Security. [Volume/Páginas ausentes no original].

LEITÃO, FRANCISCO; BEZERRA, ÍTALLA; PIMENTEL, RENATA; PEREIRA, GABRIELLE; MONTEIRO, ADILSON; SILVA, ALAN; BEBIANO, BEATRIZ; RIERA, ANDRÉS (2022) Fatores associados à incidência e mortalidade por sinistros de estrada envolvendo motociclistas e pedestres: uma revisão sistemática rápida. Journal of Human Growth and Development, p. 12, jan.

LIMA, J.; SANTOS, A. & MAIA, M. (2019) Modelo logit com fatores sociais para gravidade de sinistros com motocicletas. In: 33° Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte da ANPET, Balneário Camboriú, SC. p. 11. nov.

LORD, D. & MANNERING, F. (2010) The statistical analysis of crash-frequency data: A review and assessment of methodological alternatives. Transportation Research Part A, v. 44, p. 291–305.

LU, J.; ALBERT, G.; KIROLOS, H. & WANYANG, W. (2013) Clustering-based roadway segment division for the identification of high-crash locations. Journal of Transportation Safety & Security, v. 5(3), p. 224-239.

MONTELLA, A. (2010) A comparative analysis of hotspot identification methods. Accident Analysis and Prevention. [Volume/Páginas ausentes no original].

NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM (NCHRP) (2009) Highway Safety Manual Knowledge Base. Washington, DC: Transportation Research Board, National Research Council.

NODARI, C. T. (2016) Minicurso Auditoria de Segurança Viária. Material didático. 45ª Reunião Anual de Pavimentação/19º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária, Brasília.

NORDKVIST, M. & GREGERSEN, N. P. (2010) Study on motorcyclist's behavior and attitude towards road safety. Sveriges MotorCyklister, SMC; Nationalföreningen för Trafiksäkerhetens Främjande, NTF.

OECD. (2002) Road safety performance: trends and comparative analysis. Paris: Road Transport and Intermodal Linkage Research Programme (RTR), OECD.

OECD. (2008) Towards zero: Ambitious road safety targets and the safe system approach. OECD Publishing. Disponível em: https://doi.org/10.1787/9789282101964-en. Acesso em 25 jul. 2025.

OGDEN, K. W. (1996) Safer roads: a guide to road safety engineering. Cambridge: Ashgate Publishing Limited/University Press.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS) (2012) Sistema de dados: Um Manual de Segurança Viária para Gestores e Profissionais da Área. Brasília, DF, Brasil.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS) (2013) Global status report on road safety 2013: supporting a decade of action. Genebra: OMS.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS) (2015) Global status report on road safety. Itália: OMS.

ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE (OPAS). (2013) Segurança de pedestres: Manual de segurança viária para gestores e profissionais da área. Brasília, DF: OPAS.

ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DE SAÚDE (OPAS) (2018) Trânsito: um olhar da saúde sobre o tema. Brasília.

PERKINS, S. R. & HARRIS, J. L. (1968) Traffic conflict characteristics-accident potential at intersections. Highway Res. Rec, v. 225, p. 35-43.

PERU, Ministerio de Transportes y Comunicación (2007) Manual de Seguridad Vial. Lima, Peru.

PRF - POLÍCIA RODOVIÁRIA FEDERAL (s.d.) Dados Abertos da PRF. Disponível em: https://www.gov.br/prf/pt-br/acesso-a-informacao/dados-abertos/dados-abertos-da-prf. Acesso em: 13 jul. 2025.

PORATH, R. (2002) Sistemas de gerência de segurança para o trânsito rodoviário: o modelo SGS/TR. 373f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

PORTAL ONSV (2024) As principais causas de sinistros com motociclistas: dados revelam os principais fatores que causam acidentes com motocicletas. Blog ONSV, São José dos Campos, 28 fev. Disponível em: https://www.onsv.org.br/blog-do-observatorio/as-principais-causas-de-sinistros-com-motociclistas. Acesso em: 13 jul. 2025.

QIN, X. & WELLNER, A. (2012) Segment Length Impact on Highway Safety Screening Analysis. In: Proceedings of the 91st Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, USA.

RESENDE, P. & BENEKOHAL, R. (1997) Effect of roadway section length on accident modelling traffic congestion and traffic safety. In: Proceedings of 21st Century Conference, Chicago, USA.

SANTOS, A. & CAMPOS, C. I. (2022) Modelagem de sinistros envolvendo motocicletas em pontos críticos da rodovia BR-153. In: 19° Rio de Transportes, 2022. p. 13.

SECRETARIAT CAREC (2018) CAREC Road Safety Engineering Manual 2: Safer Road Works.

SILVA, C. I.; ARCENO, A. P., SILVA, H. A. DA, GUSTMANN, K., & BREDA, M. F. R. (2022) Perfil epidemiológico dos óbitos e internações por acidente de transporte terrestre em Santa Catarina. Revista Multidisciplinar em Saúde, v. 3, n. 4.

SILVA, G. H. W. (2023) Trânsito: um perigo anunciado. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Direito) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campus de Três Lagoas, Três Lagoas.

SILVA, L. L. (2024) Análise de sinistros de trânsito e as contramedidas da metodologia iRAP: estudo de caso para um Projeto de Concessão Rodoviária no Estado do Paraná. [Tipo de Trabalho (Grau), Instituição, Local ausentes no original].

SILVA, P.; SANTOS, A.; CRUZ, P.; ROCHA, J.; FERREIRA, I. & SILVA, V. (2018) Morbimortalidade de sinistros de trânsito envolvendo motocicletas: uma revisão de literatura. Journal of Health & Biological Sciences, v. 6, n. 4, p. 437-448, jul/set. DOI: https://doi.org/10.12662/2317-3076jhbs.v6i4.1718.p437-448.2018.

SILVA, P. B. (2019) Modelos de Previsão de Acidentes em Rodovia Brasileira de Pista Dupla. Publicação T.TD-007/2019. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 320p.

SORENSEN, M. & ELVIK, R. (2007) Black Spot Management and Safety Analysis of Road Networks - Best practice guidelines and implementation steps. Institute of Transport Economics, Norwegian Centre for Transport Research. Oslo, Noruega, 96 p.

SOULEYRETTE, R. R. & HAAS, R. P. & MAZE, T. H. (2007) Validation and implication of segmentation on Empirical Bayes for highway safety studies. WIT Transactions on Biomedicine and Health, v. 11, p. 85-94.

THOMPSON, R., MARTINEZ, A., NAING, C., HOSCHOPF, H., DUPRE, G., BISSON, O., KELKKA, M., VAN DER HORST, R., & GARCIA, J. (2006) RISER - Roadside Safety for Safer European Roads, Deliverable 6: RISER D06-European Best Practice for Road Design-Guidelines for Roadside Infrastructure on New and Existing Roads. Report, European Commission DG-TREN GRD2/2001/50088.

VISÃO ZERO 2030. (2021) Sistema seguro. Disponível em: https://visaozero2030.pt/sistema-seguro. Acesso em: 01 nov. 2025.

WANVIK, P. O. (2009) Effects of Road Lighting on Motorways. Traffic Injury Prevention, v. 10(3), p. 279-289.

WILLIAMS, M. J. & HOFFMAN, E. R. (1979) Motorcycle conspicuity and traffic accidents. Accident Analysis and Prevention, v. 11, p. 209-224.

WORLD ROAD ASSOCIATION (PIARC) (2019) Road Safety Manual: A Guide for Practitioners! França.

YAMADA, M. G. (2005) Impactos dos Radares Fixos na Velocidade e na Acidentalidade em Trecho da Rodovia Washington Luís. Dissertação de Mestrado – EESC – USP, São Carlos, 61p.

ZAFRI, N. M.; KHAN, A.; JAMAL, S. & ALAM, B. M. (2021) Impact of COVID-19 pandemic on motorcycle purchase in Dhaka, Bangladesh. Frontiers in Future Transportation. Disponível em: https://doi.org/10.3389/ffutr.2021.646664. Acesso em: 25 jul. 2025.

ZHANG, C. & IVAN, J. (2005) Effects of geometric characteristics on head-on crash incidence on two-lane roads in Connecticut. Transportation Research Record, n. 1908, p. 159-164.

APÊNDICE A – BASE DE DADOS

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
1	ANO	id	Dia da semana	Horário	Fase do dia	Condição	Vitimas	BR	km	Causa	Tipo	Veículos envolvidos	Tem Moto?	Idade Motociclista	Sexo Motociclista	Latitude (Valores)	Longitude	ID SEGMENTO	VMD do segmento	TAMANHO SEGMENTO (kMs)
6	2024	581270	quinta-feira	09:40:00	Pleno dia	Céu Claro	Com Vitim	251	7	Velocidade Incompative	Queda de ocupan	Caminhão-trator,	SIM	74	Masculino	-15,998561	-47,565559	H0072024	3407,77000000	
10	2024	583719	terça-feira	18:50:00	Plena Noi	Céu Claro	Com Vitim	40	5,6	Conversão proibida	Queda de ocupan	Motoneta, Caminh	SIM	37	Masculino	-16,026221	-47,979169	C0052024	38229,79000000	
11	2024	584524	sábado	17:20:00	Pleno dia	Céu Claro	Com Vitim	80	7	Acessar a via sem obse	Colisão transvers	Motocicleta, Cami	SIM	25	Masculino	-15,7312303	-48,1456089	G0072024	2427,76000000	
14	2024	585865	sexta-feira	13:40:00	Pleno dia	Céu Claro	Com Vitim	60	2,8	Ausência de reação do	Queda de ocupan	Caminhão-trator,	SIM	38	Masculino	-15,887383	-48,077988	E0022024	22634,53000000	
15	2024	587668	sábado	12:30:00	Pleno dia	Céu Claro	Com Vitim	40	3	Reação tardia ou inefici	Queda de ocupan	Caminhão-trator,	SIM	24	Masculino	-16,00656649	-47,98326015	C0032024	38229,79000000	
17	2024	591461	terça-feira	20:00:00	Plena Noi	Céu Claro	Com Vitim	70	6	Acesso irregular	Tombamento	Caminhão, Motoci	SIM	42	Masculino	-15,791242	-48,105759	F0062024	19622,35000000	
18	2024	591716	quinta-feira	09:40:00	Pleno dia	Nublado	Com Vitim	20	4	Velocidade Incompative	Colisão lateral me	Caminhão, Motoci	SIM	24	Masculino	-15,675484	-47,823761	B0042024	7466,73000000	
20	2024	591828	quinta-feira	21:48:00	Plena Noi	Céu Claro	Com Vitim	20	42,8	Manobra de mudança d	Queda de ocupan	Motocicleta, Cami	SIM	39	Masculino	-15,579221	-47,494339	B0422024	7466,73000000	
26	2024	597891	quinta-feira	21:00:00	Plena Noi	Céu Claro	Com Vitim	70	1,7	Ausência de reação do	Tombamento	Motocicleta, Cami	SIM	20	Masculino	-15,795264	-48,063801	F0012024	19622,35000000	
27	2024	598853	terça-feira	14:50:00	Pleno dia	Céu Claro	Com Vitim	70	16,4	Desrespeitar a preferên	Queda de ocupan	Motocicleta, Cami	SIM	21	Masculino	-15,796144	-48,194225	F0162024	10879,56000000	
30	2024	601310	sábado	10:30:00	Pleno dia	Céu Claro	Com Vitim	80	10	Trafegar com motocicle	Queda de ocupan	Caminhão, Motoci	SIM	30	Masculino	-15,731	-48,168938	G0102024	2427,90000000	
32	2024	602365	quinta-feira	08:15:00	Pleno dia	Céu Claro	Com Vitim	60	3	Trafegar com motocicle	Queda de ocupan	Motocicleta, Cami	SIM	25	Masculino	-15,890521	-48,086864	E0032024	22634,53000000	
34	2024	603668	terça-feira	22:38:00	Plena Noi	Céu Claro	Com Vitim	251	41	Ausência de reação do	Queda de ocupan	Caminhão, Motoci	SIM	NA	Masculino	-15,933754	-47,817089	H0412024	3145,82000000	
41	2024	606060	sábado	15:45:00	Pleno dia	Céu Claro	Com Vitim	70	18,9	Ausência de reação do	Queda de ocupan	Caminhão, Motoci	SIM	30	Masculino	-15,78914	-48,219531	F0182024	10879,56000000	
61	2024	621447	quinta-feira	20:10:00	Plena Noi	Céu Claro	Com Vitim	70	18	Ausência de reação do	Queda de ocupan	Motocicleta, Cami	SIM	41	Masculino	-15,791093	-48,21096	F0182024	10879,56000000	
64	2024	627295	quarta-feira	12:51:00	Pleno dia	Céu Claro	Com Vitim	70	13	Acessar a via sem obse	Colisão transvers	Caminhão, Motoci	SIM	29	Masculino	-15,7962179	-48,1728816	F0132024	13592,05000000	
68	2024	628922	quarta-feira	12:30:00	Pleno dia	Céu Claro	Com Vitim	70	6	Transitar na contramão	Queda de ocupan	Motocicleta, Cami	SIM	38	Masculino	-15,791242	-48,105759	F0062024	19622,35000000	
80	2024	634829	segunda-feir	08:30:00	Pleno dia	Céu Claro	Com Vitim	70	12	Manobra de mudança d	Queda de ocupan	Caminhão-trator,	SIM	32	Masculino	-15,792243	-48,158543	F0122024	13592,05000000	
85	2024	637673	domingo	01:20:00	Plena Noi	Chuva	Com Vitim	20	17	Velocidade Incompative	Colisão traseira	Caminhão, Camin	SIM	34	Masculino	-15,621374	-47,71698	B0172024	7466,73000000	
88	2024	639797	terça-feira	18:29:00	Anoitecer	Nublado	Com Vitim	70	15,8	Demais falhas na via	Atropelamento de	Motocicleta, Cami	SIM	36	Masculino	-15,795431	-48,19676	F0152024	11473,68500000	
91	2024	641615	quarta-feira	19:40:00	Plena Noi	Chuva	Com Vitim	20	10,3	Reação tardia ou inefici	Saída de leito car	Caminhão, Motoci	SIM	31	Masculino	-15,650243	-47,773872	B0102024	7466,73000000	
93	2024	642872	terça-feira	11:35:00	Pleno dia	Céu Claro	Com Vitim	20	18	Manobra de mudança d	Colisão lateral me	Automóvel, Motoci	SIM	32	Masculino	-15,616901	-47,708927	B0182024	7466,73000000	
94	2024	643404	sexta-feira	06:46:00	Amanhece	Nublado	Com Vitim	40	3	Acumulo de areia ou de	Colisão lateral me	Caminhão, Motoci	SIM	23	Masculino	-16,00042	-47,984603	C0032024	38229,79000000	
97	2024	643599	sexta-feira	19:50:00	Plena Noi	Nublado	Com Vitim	251	57	Iluminação deficiente	Incêndio	Motocicleta, Cami	SIM	24	Masculino	-15,978055	-47,95824	H0572024	3145,82000000	
109	2024	658488	quarta-feira	15:40:00	Pleno dia	Chuva	Com Vitim	20	12,5	Acessar a via sem obse	Saída de leito car	Caminhão, Motoci	SIM	29	Masculino	-15,640575	-47,753653	B0122024	7466,73000000	
111	2024	586637	segunda-feir	18:30:00	Anoitecer	Céu Claro	Com Vitim	40	3	Demais falhas mecânic	Tombamento	Automóvel, Motoci	SIM	47	Feminino	-16,003145	-47,983944	C0032024	38229,79000000	
115	2024	601996	terça-feira	12:00:00	Pleno dia	Céu Claro	Com Vitim	70	0,3	Velocidade Incompative	Capotamento	Motocicleta	SIM	23	Masculino	-15,792352	-48,054509	F0002024	19622,35000000	
116	2024	627366	quarta-feira	17:30:00	Anoitecer	Céu Claro	Com Vitim	20	16	Demais falhas mecânic	Queda de ocupan	Motocicleta, Autor	SIM	30	Masculino	-15,625675	-47,725159	B0162024	7466,73000000	
119	2024	571624	segunda-feir	07:20:00	Pleno dia	Céu Claro	Com Vitim	20	22	Ausência de reação do	Colisão traseira	Automóvel, Motoci	SIM	36	Masculino	-15,59634	-47,676186	B0222024	7466,73000000	
121	2024	572065	terça-feira	08:30:00	Pleno dia	Chuva	Com Vitim	60	11	Acumulo de óleo sobre	Queda de ocupan	Motocicleta, Moto	SIM	50	Masculino	-15,911784	-48,157192	E0112024	17363,14000000	
123	2024	572465	quarta-feira	19:00:00	Plena Noi	Nublado	Com Vitim	80	19	Reação tardia ou inefici	Queda de ocupan	Motocicleta, Moto	SIM	63	Masculino	-15,675205	-48,204636	G0192024	2427,90000000	
125	2024	572674	quinta-feira	23:50:00	Plena Noi	Nevoeiro/	Com Vitim	70	16	Ausência de reação do	Colisão traseira	Motocicleta, Autor	SIM	39	Masculino	-15,796144	-48,194225	F0162024	10879,56000000	

APÊNDICE B – TRILHA 2

Ranking	Código	Bayes	*Ranking*	Código	Bayes
1	B017	6.25E+16	30	F006	9.46E+15
2	B004	6.2E+16	31	E002	9.26E+15
3	B005	6.2E+16	32	B006	9E+15
4	B008	6.2E+16	33	F005	8.76E+15
5	B020	5.85E+16	34	B007	8.65E+15
6	F001	5.71E+16	35	B016	8.65E+15
7	F002	5.61E+16	36	B019	8.3E+15
8	B003	5.5E+16	37	B011	8.25E+15
9	F004	5.06E+16	38	F007	7.91E+15
10	B018	4.8E+16	39	F003	7.86E+15
11	B014	4.65E+16	40	B021	7.65E+15
12	B013	4.4E+16	41	F014	7.61E+15
13	B015	4E+16	42	E003	7.26E+15
14	F000	3.66E+16	43	F013	6.46E+15
15	C003	2.05E+16	44	F015	6.31E+15
16	C005	1.85E+16	45	E006	5.66E+15
17	C002	1.68E+16	46	E007	4.61E+15
18	C000	1.61E+16	47	H034	4.6E+15
19	C007	1.29E+16	48	C008	4.42E+15
20	E004	1.24E+16	49	E001	4.41E+15
21	F016	1.12E+16	50	F019	1.14E+14
22	C006	1.1E+16	51	F018	9.66E+13
23	B010	1.08E+16	52	F017	6.46E+13
24	E000	1.06E+16	53	B022	3.6E+13
25	C001	1.04E+16	54	F011	1.67E+10
26	C004	1.03E+16	55	F009	1.49E+10
27	B009	1.01E+16	56	F010	1.12E+10
28	B012	9.8E+15	57	F012	6.01E+09
29	F008	9.51E+15	58	E009	4.21E+09

APÊNDICE C – TRILHA 3

Ranking	Segmento	Densidade	*Ranking*	Segmento	Densidade
1	C0032024	107761590.9	31	C0022024	101157910.6
2	C0032024	107667409.2	32	C0022022	101157910.6
3	C0032024	107607029.4	33	C0022022	101157910.6
4	C0022020	107564286.2	34	C0022020	101157910.6
5	C0022023	107539907.2	35	C0022022	101157910.6
6	C0022021	107473974.5	36	C0022022	101157910.6
7	C0022020	107161899.6	37	C0022022	101157910.6
8	C0032021	106898201.3	38	C0022024	101157910.6
9	C0022019	106859680.6	39	C0022020	101157910.6
10	C0032019	106045545.1	40	C0022022	101157910.6
11	C0032023	104954945.1	41	C0022020	101157910.6
12	C0032024	104278962	42	C0022024	101157910.6
13	C0032024	104124167.7	43	C0022022	101157910.6
14	C0032024	102719107	44	C0022022	101157910.6
15	C0022019	102431745	45	C0022023	101157910.6
16	C0032021	102229321.1	46	C0022024	101157910.6
17	C0042022	101484543.6	47	C0022019	101157910.6
18	C0012023	101397522.6	48	C0022019	101157910.6
19	C0022019	101157910.6	49	C0022020	101157910.6
20	C0022022	101157910.6	50	C0022024	101157910.6
21	C0022020	101157910.6	51	C0022021	101157910.6
22	C0022023	101157910.6	52	C0022019	101157910.6
23	C0022022	101157910.6	53	C0022019	101157910.6
24	C0022020	101157910.6	54	C0022019	101157910.6
25	C0022024	101157910.6	55	C0022019	101157910.6
26	C0022019	101157910.6	56	C0022019	101157910.6
27	C0022020	101157910.6	57	C0022023	101157910.6
28	C0022020	101157910.6	58	C0022020	101157910.6
29	C0022020	101157910.6	59	C0022020	101157910.6
30	C0022019	101157910.6	60	C0022019	101157910.6

APÊNDICE D – DETALHAMENTO OPERACIONAL DOS TRECHOS CRÍTICOS

ID	Segmento	Principais Causas Identificadas	Principais Tipos de Sinistro	Perfil Diagnosticado
C005	BR-040	1. Manobra de mudança de faixa 2. Reação tardia ou ineficiente 3. Trafegar entre faixas (motos)	1. Queda de ocupante 2. Colisão traseira 3. Tombamento	Saturação Crítica
C002	BR-040	1. Falta de Atenção à Condução 2. Trafegar entre faixas 3. Condutor deixou de manter distância	1. Queda de ocupante 2. Colisão lateral mesmo sentido 3. Colisão traseira	Conflito de Fluxo / Atenção
F011	BR-070	1. Falta de Atenção à Condução 2. Trafegar entre faixas 3. Acessar via sem observar	1. Colisão lateral mesmo sentido 2. Queda de ocupante 3. Saída de leito carroçável	Misto (Urbano/Rodoviário)
C000	BR-040	1.Falta de Atenção à Condução 2. Manobra de mudança de faixa 3. Condutor deixou de manter distância	1. Queda de ocupante 2. Colisão traseira 3. Engavetamento	Saturação / Engavetamento
F009	BR-070	1. Falta de Atenção à Condução 2. Desobediência às normas 3. Acessar via sem observar	1. Queda de ocupante 2. Colisão lateral mesmo sentido 3. Colisão traseira	Conflito Urbano
C007	BR-040	1. Falta de Atenção à Condução 2. Reação tardia ou ineficiente 3. Condutor deixou de manter distância	1. Colisão traseira 2. Queda de ocupante 3. Colisão lateral mesmo sentido	Saturação
E004	BR-060	1. Acessar via sem observar 2. Desobediência às normas 3. Falta de Atenção à Condução	1. Queda de ocupante 2. Tombamento 3. Colisão transversal	Acesso Irregular / Geometria
C003	BR-040	1. Falta de Atenção à Condução 2. Manobra de mudança de faixa 3. Trafegar entre faixas	1. Queda de ocupante 2. Colisão traseira 3. Colisão lateral mesmo sentido	Saturação / Conflito
C004	BR-040	1. Falta de Atenção à Condução 2. Trafegar entre faixas 3. Manobra de mudança de faixa	1. Queda de ocupante 2. Colisão traseira 3. Colisão lateral mesmo sentido	Saturação
C001	BR-040	1. Manobra de mudança de faixa 2. Condutor deixou de manter distância 3. Falta de Atenção à Condução	1. Queda de ocupante 2. Colisão traseira 3. Colisão lateral mesmo sentido	Saturação

ID	Segmento	Principais Causas Identificadas	Principais Tipos de Sinistro	Perfil Diagnosticado
C006	BR-040	1. Falta de Atenção à Condução 2. Manobra de mudança de faixa 3. Condutor deixou de manter distância	1. Queda de ocupante 2. Colisão traseira 3. Colisão lateral mesmo sentido	Saturação / Visibilidade
F010	BR-070	1. Falta de Atenção à Condução 2. Reação tardia ou ineficiente 3. Manobra de mudança de faixa	1. Queda de ocupante 2. Colisão lateral mesmo sentido 3. Tombamento	Misto
B017	BR-020	1. Condutor deixou de manter distância 2. Velocidade Incompatível 3. Trafegar entre faixas	1. Colisão traseira 2. Colisão lateral mesmo sentido 3. Saída de leito carroçável	Velocidade / Fluxo
B004	BR-020	1. Falta de Atenção à Condução 2. Trafegar entre faixas 3. Ausência de reação do condutor	1. Queda de ocupante 2. Colisão lateral mesmo sentido 3. Colisão traseira	Misto
B005	BR-020	1. Manobra de mudança de faixa 2. Ausência de reação do condutor 3. Falta de Atenção à Condução	1. Colisão traseira 2. Queda de ocupante 3. Colisão com objeto	Iluminação / Reação
B008	BR-020	1. Falta de Atenção à Condução 2. Ausência de reação do condutor 3. Condutor deixou de manter distância	1. Colisão traseira 2. Queda de ocupante 3. Tombamento	Saturação Local
B020	BR-020	1. Falta de Atenção à Condução 2. Acessar via sem observar 3. Reação tardia ou ineficiente	1. Colisão traseira 2. Atropelamento de Pedestre 3. Queda de ocupante	Pedestres / Acesso
F001	BR-070	1. Falta de Atenção à Condução 2. Reação tardia ou ineficiente 3. Manobra de mudança de faixa	1. Queda de ocupante 2. Colisão lateral mesmo sentido 3. Tombamento	Severidade
F002	BR-070	1. Manobra de mudança de faixa 2. Falta de Atenção à Condução 3. Ausência de reação do condutor	1. Queda de ocupante 2. Colisão lateral mesmo sentido 3. Colisão traseira	Conflito de Fluxo
B003	BR-020	1. Reação tardia ou ineficiente 2. Falta de Atenção à Condução 3. Manobra de mudança de faixa	1. Colisão traseira 2. Queda de ocupante 3. Tombamento	Reação / Geometria

ID	Segmento	Principais Causas Identificadas	Principais Tipos de Sinistro	Perfil Diagnosticado
F004	BR-070	1. Falta de Atenção à Condução 2. Condutor deixou de manter distância 3. Ausência de reação do condutor	1. Colisão traseira 2. Colisão lateral mesmo sentido 3. Tombamento	Saturação / Engavetamento
B018	BR-020	1. Trafegar entre faixas 2. Manobra de mudança de faixa 3. Falta de Atenção à Condução	1. Queda de ocupante 2. Colisão lateral mesmo sentido 3. Tombamento	Conflito Motos
B014	BR-020	1. Velocidade Incompatível 2. Falta de Atenção à Condução 3. Reação tardia ou ineficiente	1. Queda de ocupante 2. Colisão traseira 3. Saída de leito carroçável	Velocidade / Infraestrutura
B013	BR-020	1. Falta de Atenção à Condução 2. Trafegar entre faixas 3. Condutor deixou de manter distância	1. Queda de ocupante 2. Colisão traseira 3. Colisão lateral mesmo sentido	Atenção / Fluxo
B015	BR-020	1. Trafegar entre faixas 2. Falta de Atenção à Condução 3. Reação tardia ou ineficiente	1. Colisão traseira 2. Queda de ocupante 3. Colisão lateral mesmo sentido	Conflito / Objeto na Pista
F000	BR-070	1. Manobra de mudança de faixa 2. Ausência de reação do condutor 3. Falta de Atenção à Condução	1. Queda de ocupante 2. Colisão lateral mesmo sentido 3. Capotamento	Infraestrutura / Capotamento