



**ANÁLISE DE SINISTROS DE TRÂNSITO E AS CONTRAMEDIDAS DA  
METODOLOGIA IRAP: ESTUDO DE CASO PARA UM PROJETO DE  
CONCESSÃO RODOVIÁRIA NO ESTADO DO PARANÁ**

**LUCIANO LOURENÇO DA SILVA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM TRANSPORTES**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

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

**ANÁLISE DE SINISTROS DE TRÂNSITO E AS  
CONTRAMEDIDAS DA METODOLOGIA IRAP: ESTUDO DE  
CASO PARA UM PROJETO DE CONCESSÃO RODOVIÁRIA  
NO ESTADO DO PARANÁ**

**LUCIANO LOURENÇO DA SILVA**

**ORIENTADORA: RITA DE CÁSSIA SILVA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM TRANSPORTES**

**PUBLICAÇÃO: T.DM-006/2024  
BRASÍLIA/DF: 18 DEZEMBRO/2024**

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

**ANÁLISE DE SINISTROS DE TRÂNSITO E AS  
CONTRAMEDIDAS DA METODOLOGIA IRAP: ESTUDO DE  
CASO PARA UM PROJETO DE CONCESSÃO RODOVIÁRIA  
NO ESTADO DO PARANÁ**

**LUCIANO LOURENÇO DA SILVA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TRANSPORTES DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM TRANSPORTES.**

**APROVADA POR:**

---

**RITA DE CÁSSIA SILVA, Doutora, UnB  
(ORIENTADORA)**

---

**AUGUSTO CÉSAR DE MENDONÇA BRASIL, Pós Doutor, UnB  
(EXAMINADOR INTERNO)**

---

**JORGE TIAGO BASTOS, Doutor, UFPR  
(EXAMINADOR EXTERNO)**

**BRASÍLIA/DF, 18 DE DEZEMBRO DE 2024.**

## FICHA CATALOGRÁFICA

SILVA, LUCIANO LOURENÇO DA

Análise de Sinistros de Trânsito e as Contramedidas da Metodologia iRAP: Estudo de Caso para um Projeto de Concessão Rodoviária no Estado do Paraná. Brasília, 2024.

xiii, 129 p., 210x297mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Transportes, 2024).

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1 – Rodovias

3 – iRAP

I – ENC/FT/UnB

2 – Segurança Viária

4 – Concessões Rodoviárias

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

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 T.DM-006/2024. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 129 p.

## CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: LUCIANO LOURENÇO DA SILVA

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: ANÁLISE DE SINISTROS DE TRÂNSITO E AS CONTRAMEDIDAS DA METODOLOGIA IRAP: ESTUDO DE CASO PARA UM PROJETO DE CONCESSÃO RODOVIÁRIA NO ESTADO DO PARANÁ

GRAU: MESTRE

ANO: 2024

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

---

LUCIANO LOURENÇO DA SILVA

lu\_lourenco@terra.com.br

## DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho à minha família, meu verdadeiro arrimo. Aos meus pais Maria e João por toda educação que me proporcionaram. Aos meus filhos amados, minha inspiração. A Cris, minha fiel e dedicada companheira de toda uma vida, sem a qual não conseguiria trilhar os caminhos que percorro. Aos amigos fundamentais ao desenvolvimento deste trabalho. E, por final, a Deus, por me guiar, amparar e permitir mais uma grande realização em minha vida.

## AGRADECIMENTOS

Inicialmente agradeço a pessoas fundamentais do Programa de Pós Graduação de Transportes da Universidade de Brasília – PPGT/UnB, dentre as quais destaco: Professora Rita de Cássia Silva, minha paciente e sábia orientadora; Professora Michelle Andrade por todo apoio e incentivo, principalmente para a retomada do curso; a minha banca examinadora, Professores Augusto Cesar Mendonça Brasil e Jorge Tiago Bastos; a todos professores do Programa, evidenciando ao Professor Pastor Willy Gonzales Taco, por todo apoio e companheirismo; e, a Camila L. O. Lucena, uma profissional sempre tão competente, atenciosa e um ser humano formidável.

Para o desenvolvimento da pesquisa, foi fundamental o apoio dos colegas da Universidade Federal da Santa Catarina, precisamente a equipe do Labtrans: Wellington Longuini Repette, Valter Zanela Tani, Camila Belleza Maciel Barreto e, principalmente, Tiago Augusto Pianezzer.

Reconheço também a importância de pessoas, que de alguma maneira, contribuíram para a elaboração deste trabalho, destaco aqui: Bruno Pimenta Resende, Beatriz Pereira Alves Brito, Camila Rocha Rodrigues Pires e essencialmente, Bruna Rodrigues Alves.

Agradeço aos colegas da minha turma de mestrado, que transformaram a sala de aula, presencial ou online, num ambiente suave e colaborativo.

Aos meus pais, João Lourenço e Maria Aparecida, sou grato por todo o esforço em me proporcionar a melhor educação possível, um bem precioso, capaz de transformar pessoas e mudar o mundo.

Aos meus filhos e à minha esposa, companheiros fiéis e dedicados, não teria conseguido sem seus apoios incondicionais.

E, por fim, a Deus pela resiliência e obstinação para concluir mais uma fase importante de minha formação e um desejo antigo, o título de mestre.

## RESUMO

Este estudo investiga a aplicação da metodologia iRAP (*International Road Assessment Programme*) em um projeto de concessão rodoviária no Paraná, Brasil, e tem como objetivo geral avaliar a eficácia e a viabilidade econômica dos investimentos em segurança viária, tomando como base o plano de investimentos, o número de acidentes e a previsão de gastos com sinistros. A concessão de rodovias à iniciativa privada tem sido uma solução adotada pelo Poder Público para aprimorar a gestão, conservação e segurança viária, especialmente diante de restrições orçamentárias. A metodologia iRAP, reconhecida por seu rigor na classificação de risco e recomendação de intervenções, foi aplicada em um trecho de 500 km de rodovias, selecionado com base em critérios como relevância logística, volume de tráfego e histórico de sinistros. A análise consistiu na codificação das características da infraestrutura para gerar a classificação por estrelas, permitindo prever os riscos aos usuários e projetar cenários de análise custo-benefício das medidas propostas. Utilizando o teste Qui-Quadrado de Pearson, foi possível identificar correlações significativas entre as áreas classificadas como de alto risco pela iRAP e a frequência de sinistros. Os resultados indicam que os sinistros ocorrem mais frequentemente em locais de alto risco e que as contramedidas sugeridas, como instalação de barreiras físicas, melhorias na sinalização e adequação dos acostamentos, são eficazes na redução da frequência e severidade dos sinistros. Essas medidas estão alinhadas ao conceito de "rodovias que perdoam", que está associado à ideia de que a infraestrutura rodoviária deve ser capaz de atenuar ou até mesmo reverter as consequências negativas dos erros dos condutores. A análise financeira evidenciou que os investimentos em segurança viária, conforme propostos pela metodologia iRAP, geram benefícios econômicos substanciais a longo prazo, superando os custos das intervenções. Além disso, a pesquisa ressalta a importância da qualidade dos dados utilizados, pois a eficácia das contramedidas depende diretamente da precisão das informações sobre as condições viárias e histórico de sinistros. Assim, o estudo propõe uma modelagem econômica de contratos de concessão mais assertiva e a incorporação de critérios de segurança no Programa de Exploração da Rodovia (PER), viabilizando um modelo replicável e autossustentável em projetos de concessão de infraestrutura no Brasil.

**Palavras-Chave:** Segurança Viária, Metodologia iRAP, Contramedidas de Engenharia, Concessão Rodoviária.

## ABSTRACT

This study investigates the application of the iRAP (International Road Assessment Programme) methodology in a highway concession project in Paraná, Brazil. Its primary objective is to evaluate the effectiveness and economic feasibility of road safety investments, based on the investment plan, the number of accidents, and the projected costs of claims. The concession of highways to private initiatives has been adopted by the public sector as a solution to improve management, maintenance, and road safety, especially in the context of budget constraints. The iRAP methodology, recognized for its rigor in risk classification and intervention recommendations, was applied to a 500 km stretch of highways, selected based on criteria such as logistical relevance, traffic volume, and accident history. The analysis consisted of coding infrastructure characteristics to generate star ratings, allowing for risk prediction and the projection of cost-benefit scenarios for proposed measures. Using the Pearson Chi-Square test, significant correlations were identified between high-risk areas classified by iRAP and accident frequency. The results indicate that accidents occur more frequently in high-risk areas and that the suggested countermeasures, such as the installation of physical barriers, improvements in signage, and adjustments to road shoulders, are effective in reducing the frequency and severity of accidents. These measures are aligned with the concept of "forgiving roads," which is associated with the idea that road infrastructure should be capable of mitigating or even reversing the negative consequences of driver errors. The financial analysis showed that investments in road safety, as proposed by the iRAP methodology, generate substantial long-term economic benefits, outweighing the costs of the interventions. Additionally, the research emphasizes the importance of the quality of the data used, as the effectiveness of countermeasures directly depends on the accuracy of information about road conditions and accident history. Thus, the study proposes a more assertive economic modeling of concession contracts and the incorporation of safety criteria into the Highway Development Program (PER), enabling a replicable and self-sustaining model for infrastructure concession projects in Brazil.

Keywords: Road Safety, iRAP Methodology, Engineering Countermeasures, Highway Concession.



## ÍNDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1	DELIMITAÇÃO DO PROBLEMA .....	1
1.2	HIPÓTESES .....	3
1.3	OBJETIVOS .....	3
1.4	JUSTIFICATIVA .....	4
1.5	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	5
<b>2</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	<b>6</b>
2.1	SEGURANÇA VIÁRIA E SINISTROS DE TRÂNSITO .....	6
2.2	SISTEMA SEGURO E VISÃO ZERO .....	15
2.3	PROGRAMA INTERNACIONAL DE AVALIAÇÃO DE RODOVIAS (IRAP) ...	22
2.3.1	Inspeção da Via e Codificação de Atributos .....	25
2.3.2	Sistema de Classificação por Estrelas (SRS) .....	27
2.3.3	Plano de Investimentos em Rodovias Mais Seguras - PIRMS.....	31
2.3.4	Aplicações Globais.....	40
2.4	CONCESSÕES RODOVIÁRIAS NO BRASIL .....	44
2.5	TESTE ESTATÍSTICO QUI-QUADRADO DE PEARSON .....	48
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>50</b>
3.1	DELINEAMENTO DO ESTUDO .....	50
3.2	ESTUDO DE CASO: CONCESSÕES RODOVIÁRIAS NO PARANÁ.....	52
3.2.1	Descrição do Lote 6.....	54
3.2.2	Trecho do Estudo: BR-277/PR.....	57
3.3	PROCEDIMENTO DE COLETA DE DADOS.....	58
3.3.1	Coleta de Dados iRAP.....	58
3.3.2	Coleta de Dados Sinistros (PRF).....	59
3.4	RELAÇÃO CUSTO-BENEFÍCIO .....	62
3.5	TESTE DE HIPÓTESES COM QUI-QUADRADO DE PEARSON.....	64
3.5.1	Cálculo do Qui-Quadrado Pearson.....	64
3.5.2	Formulação das Hipóteses.....	65
3.5.3	Interpretação de Resultados .....	66
<b>4</b>	<b>ANÁLISE E DISCUSSÕES DOS RESULTADOS</b> .....	<b>67</b>
4.1	RESULTADOS DA CLASSIFICAÇÃO IRAP .....	67
4.1.1	Análise da Classificação por Estrelas (SRS) para a BR-277 .....	67
4.1.2	PIRMS Proposto pelo iRAP .....	74
4.2	Análise das Contramedidas Sugeridas.....	80
4.3	CORRELAÇÃO ENTRE A CLASSIFICAÇÃO IRAP E OS SINISTROS .....	82
4.4	AVALIAÇÃO DE CUSTO-BENEFÍCIO.....	90

<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>95</b>
5.1	LIMITAÇÕES DO TRABALHO .....	97
5.2	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	98
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>99</b>
	<b>APÊNDICE A – REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA .....</b>	<b>106</b>
	<b>APÊNDICE B – LISTA DE CONTRAMEDIDAS DO IRAP .....</b>	<b>122</b>
	<b>APÊNDICE C – QUADRO RESUMO DOS PONTOS CRÍTICOS E RESPECTIVAS CONTRAMEDIDAS.....</b>	<b>126</b>

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 Parâmetros Gerais do Estudo de Concessão no Paraná – Todos os Lotes .....	53
Tabela 3.2 Relação Quilométrica por Município .....	61
Tabela 4.1 Classificação por Estrelas – Situação Atual BR-277/PR .....	68
Tabela 4.2 Plano de Investimentos da BR-277/PR .....	75
Tabela 4.3 Frequências Observadas e Esperadas da Ocorrência De Sinistros Viários de Acordo com a Classificação por Estrelas do iRAP .....	83
Tabela 4.4 Frequências observadas e esperadas da ocorrência de sinistros viários de acordo com as Metas Globais de Segurança no Trânsito.....	84
Tabela 4.5 Frequências Observadas e Esperadas dos Sinistros Viários com e sem Indicação de Contramedida do iRAP .....	85
Tabela 4.6 Correspondência entre os Tipos de Sinistros conforme a PRF e o iRAP.....	87
Tabela 4.7 Frequências Observadas e Esperadas dos Tipos de Sinistros e o Grupo das Contramedidas Propostas pelo iRAP .....	88
Tabela 4.8 Frequências Observadas e Esperadas dos Tipos de Sinistros e o Grupo das Contramedidas do iRAP.....	89

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Estrutura da Dissertação .....	5
Figura 2.1 Histórico de Sinistros de Trânsito.....	8
Figura 2.2 Histórico de Sinistros Fatais nas Rodovias Federais .....	9
Figura 2.3 Relação por Tipo de Sinistros .....	10
Figura 2.4 Metas de Segurança Rodoviária das Nações Unidas .....	15
Figura 2.5 Área de Escape na Rodovia BR-376/PR, Autopista Litoral Sul.....	19
Figura 2.6 Exemplo de Defesa Metálica, Atenuador de Impacto e New Jersey .....	20
Figura 2.7 Exemplo de Sonorizador em Rodovia .....	20
Figura 2.8 Exemplo Geometria da Rodovia, Seção Tipo Duplicação .....	21
Figura 2.9 Exemplo de Geometria da Rodovia, Superelevação.....	21
Figura 2.10 Relação entre Tipos de Sinistros e Elementos de Rodovias que Perdoam .....	22
Figura 2.11 Fluxo da Metodologia iRAP .....	23
Figura 2.12 Esquema de Aplicação da Metodologia iRAP.....	24
Figura 2.13 Exemplo de Codificação da Via .....	25
Figura 2.14 Exemplo de Painel de Codificação .....	26
Figura 2.15 Classificação por Estrelas por Tipo de Usuário.....	28
Figura 2.16 Modelo de Cálculo Probabilístico para Classificação por Estrelas .....	29
Figura 2.17 Fluxo do Cálculo de SRS.....	30
Figura 2.18 Relação Entre Classificação por Estrelas e o Custo de Fatalidades e Lesões Graves .....	29
Figura 2.19 Exemplo de Categorização de Contramedidas Para o Estágio da Construção .....	38
Figura 2.20 Exemplo do Estudo de Caso Bruce Highway .....	41
Figura 2.21 Panorama BrazilRAP .....	43
Figura 3.1 Fluxograma da Metodologia .....	50
Figura 3.2 Mapa Representativo dos Lotes de Concessões do Paraná.....	53
Figura 3.3 Lote 6 Paraná .....	56
Figura 3.4 Distribuição de Investimentos Previstos no Lote 6 .....	56
Figura 3.5 Trecho Objeto do Estudo Estatístico– Segmento do Lote 6 .....	58
Figura 4.1 Classificação por Estrelas para Ocupantes de Veículos– Trecho da BR-277/PR... 70	
Figura 4.2 Classificação por Estrelas para Motociclistas – Trecho da BR-277/PR.....	71
Figura 4.3 Classificação por Estrelas para Ciclistas – Trecho da BR-277/PR.....	72
Figura 4.4 Classificação por Estrelas para Pedestres – Trecho da BR-277/PR .....	73
Figura 4.5 Tipos de Contramedidas e os Respectivos Valores de FSI.....	77
Figura 4.6 Curva ABC do BCR das Contramedidas .....	77
Figura 4.7 Comparativo de Classificação por Estrelas – Cenário Atual x Projetado.....	92

## LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 Custos de Sinistros por Unidade Federativa .....	13
Quadro 4.1 Resultados da PIRMS BR-277/PR.....	74
Quadro 4.2 Classificação SRS Versus Meta 4 (ONU).....	91
Quadro 4.3 Estimativa de Óbitos no Paraná .....	93
Quadro 4.4 Estimativa de Feridos Graves no Paraná.....	94

## LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURA E ABREVIACÕES

ABNT	Associação Brasileira da Normas Técnicas
ABS	<i>Anti-lock Braking System</i>
ANTT	Agência Nacional de Transportes Terrestres
BCR	<i>Benefit-Cost Ratio</i>
BI	<i>Business Intelligence</i>
CAPEX	<i>Capital Expenditure</i>
CMF	<i>Crash Modification Factor</i>
CTB	Código de Trânsito Brasileiro
CRF	<i>Crash Reduction Factors</i>
DENATRAN	Departamento Nacional De Trânsito
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
EPL	Empresa de Planejamento e Logística
FSI	<i>Fatalities and Serious Injuries</i>
IFC	<i>International Finance Corporation</i>
INOV@BR	Programa de Modernização da Infraestrutura Federal de Rodovias
IOT	<i>Internet of Things</i>
IPCA	Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
iRAP	<i>International Road Assessment Programme</i>
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
OPEX	<i>Operational Expenditure</i>
PER	Programa de Exploração da Rodovia
PIB	Produto Interno Bruto
PIRMS	Plano de Investimento em Rodovias mais Seguras
PPI	Programa de Parcerias de Investimentos
PNATRANS	Plano Nacional de Redução de Mortes e Lesões no Trânsito
PNL	Plano Nacional de Logística
PRF	Polícia Rodoviária Federal
PROCROFE	Programa de Concessões de Rodovias Federais
RQP	Rodovias que Perdoam
SNV	Sistema Nacional de Viação
SUCON	Superintendência de Concessão da Infraestrutura
SUOD	Superintendência de Infraestrutura Rodoviária
SRIP	<i>Safer Roads Investment Plans</i>
SRS	<i>Star Rating Score</i>
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Mínima de Atratividade

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 DELIMITAÇÃO DO PROBLEMA

Os sinistros de trânsito representam uma realidade alarmante em escala global, ceifando a vida de aproximadamente 1,19 milhão de pessoas anualmente, de acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2023). Essa estatística equivale a cerca de 15 mortes a cada 100 mil habitantes, além de deixar entre 20 e 50 milhões de pessoas com lesões, muitas delas incapacitantes, ainda revela que 30% das mortes são causadas por sinistros envolvendo automóveis, na qual resultam em um enorme impacto social e econômico.

Países de baixa e média renda, como o Brasil, são os mais afetados, concentrando cerca de 90% das fatalidades, embora possuam apenas 60% da frota global de veículos (OMS, 2023). Segundo Organização Pan-Americana de saúde (OPAS, 2023) o custo econômico associado aos sinistros de trânsito é estimado em cerca de 3% do Produto Interno Bruto (PIB) de alguns países, representando um fardo para a economia e para os sistemas de saúde.

No Brasil, a situação é particularmente crítica. O Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 2020) revelou que os sinistros de trânsito custaram ao país cerca de R\$ 1,584 trilhão entre 2007 e 2018, com a maior parte desses custos associados ao modo rodoviário. Em 2021, os sinistros de trânsito custaram ao Brasil aproximadamente R\$ 129 bilhões, um valor superior ao total investido em infraestrutura viária no mesmo ano (CNT, 2022). Estes dados refletem o grande impacto dos sinistros de trânsito no Brasil, tanto em termos econômicos quanto sociais, destacando a necessidade urgente de intervenções eficazes.

O estado do Paraná segue a mesma tendência observada em todo o país, sendo uma das unidades federativas com o maior número de sinistros e fatalidades em rodovias federais. Segundo a Polícia Rodoviária Federal (PRF, 2024), o Paraná registrou mais de 2.235 sinistros em rodovias federais em 2023, resultando em aproximadamente 2.674 mortes e milhares de feridos. Esses números são agravados pelo fato de que as principais rodovias que cortam o estado, como a BR-277 e a BR-376, possuem trechos com alta densidade de tráfego e infraestrutura deficiente, que contribuem significativamente para o risco de sinistros graves.

O estado do Paraná tem posição geográfica estratégica para a logística do Brasil, conectando os estados do Sul ao restante do Brasil, inclusive abrigando o Porto de Paranaguá,

desempenhando um papel vital no escoamento da produção agrícola e industrial. Dessa forma, o alto volume de tráfego, especialmente de veículos pesados, agrava o risco de sinistros. O impacto dos sinistros de trânsito no Paraná transcende o aspecto humano, afetando a economia local e nacional, ao interromper cadeias logísticas e aumentar custos operacionais para empresas de transporte e logística.

Diante desse cenário preocupante, países de renda mais elevada têm adotado novas abordagens para melhorar a segurança nas rodovias, como o conceito de Sistema Seguro (*Safe System*), que propõe uma infraestrutura rodoviária projetada para minimizar os impactos das falhas humanas e evitar sinistros graves e fatais (WRI, 2018). Esse conceito tem sido adaptado no Brasil através da iniciativa denominada Rodovias que Perdoam, que visa criar um ambiente seguro para todos os usuários, reduzindo o número e a severidade dos sinistros, por meio de intervenções que compensam falhas humanas inevitáveis (ONSV, 2021). No entanto, a implementação dessas iniciativas requer recursos financeiros significativos e um planejamento estruturado.

Uma das soluções para lidar com a falta de recursos públicos é o modelo de concessões rodoviárias, que permite que o capital privado seja investido em melhorias e manutenção da infraestrutura, em troca da cobrança de pedágios dos usuários. A concessão de rodovias federais, como é o exemplo da BR-376/PR e BR-116/SC/PR/SP, todas no Paraná, são um exemplo em que o setor privado assume a responsabilidade pela gestão da rodovia, investindo em segurança e infraestrutura, e aplicando tecnologia para monitorar e reduzir os sinistros. No entanto, ainda existe uma lacuna significativa entre os investimentos realizados e os resultados obtidos em termos de segurança viária, e é neste contexto que a metodologia iRAP (*International Road Assessment Programme* ou Programa Internacional de Avaliação de Rodovias) pode ser útil.

O iRAP se apresenta como uma ferramenta estratégica para a avaliação da segurança viária, permitindo a classificação das rodovias em termos de risco e a recomendação de contramedidas específicas para mitigá-los (iRAP, 2022). Sua metodologia é baseada na classificação das vias em um sistema de estrelas, que varia de uma a cinco, sendo as vias de cinco estrelas as mais seguras sua aplicação permite identificar pontos críticos e propor melhorias que possam reduzir significativamente a quantidade de sinistros e suas severidades.



A metodologia iRAP já demonstrou ser eficaz em diversos contextos internacionais, proporcionando evidências sólidas para justificar investimentos em segurança viária. No contexto brasileiro, sua aplicação pode trazer uma mudança de paradigma, garantindo que as decisões sobre investimentos em infraestrutura sejam baseadas em dados empíricos e análises custo-benefício transparentes (SANTOS & BRAGATTO, 2018). Considerando o papel vital do Paraná na logística nacional, é essencial que as rodovias do estado sejam seguras e eficientes, tanto para os usuários quanto para a economia regional.

Dessa forma, a presente pesquisa visa a contribuir para a melhoria da segurança viária nas rodovias do Paraná, avaliando a integração da metodologia iRAP a um Programa de Exploração da Rodovia (PER) de um projeto de concessão rodoviária, buscando estabelecer uma relação estatística entre o diagnóstico do iRAP e a ocorrência de sinistros. Adicionalmente, será feita uma análise das contramedidas, inclusive uma avaliação do custo-benefício, relacionando os valores dos planos de investimento sugeridos com os custos economizados pela redução dos sinistros, evidenciando a viabilidade e a sustentabilidade dessas intervenções a longo prazo.

## **1.2 HIPÓTESES**

Este estudo parte da hipótese de que os investimentos em segurança viária geram benefícios e retornos financeiros que superam os custos das intervenções necessárias. Além disso, considera a existência de uma relação entre a classificação iRAP e a ocorrência de sinistro. Especificamente, espera-se que a redução dos custos associados ao número e à gravidade dos sinistros seja evidente, comprovando que investimentos na área de segurança rodoviária não apenas preservam vidas e reduzem lesões, mas também resultam em uma alocação eficiente de recursos, gerando retornos financeiros positivos tanto para a sociedade quanto para os investidores (WHO, 2018; IPEA, 2020).

A pesquisa considera dados de estudos de estruturação de um projeto de concessão de rodovia, uma vez que, no Brasil, ainda não existem casos práticos que permitam avaliar a metodologia iRAP depois de aplicada as contramedidas indicadas.

## **1.3 OBJETIVOS**

Esta pesquisa tem como objetivo geral avaliar a eficácia e a viabilidade econômica dos investimentos em segurança viária, tomando como base o plano de investimentos, o número de acidentes e a previsão de gastos com sinistros.

Para tanto, delinham-se os seguintes objetivos específicos:

- a) Analisar e avaliar a aplicação da metodologia iRAP no estado do Paraná, verificando sua efetividade na identificação e mitigação de pontos críticos de segurança nas rodovias.
- b) Avaliar um caso prático em um projeto de concessão rodoviária no Paraná, Brasil, de aplicação da metodologia iRAP em um projeto específico de concessão rodoviária, investigando os resultados obtidos em termos de redução de sinistros e custos associados.
- c) Realizar testes estatísticos para avaliar a correlação entre a classificação de risco das rodovias pela metodologia iRAP e a ocorrência de sinistros.
- d) Avaliar o impacto financeiro de um Plano de Investimento em segurança viária, destacando a relação custo-benefício dessas intervenções (contramedidas) no contexto da concessão rodoviária.
- e) Demonstrar que uma política pública de segurança viária aplicada à estruturação de projetos de concessão é viável e sustentável economicamente.

#### **1.4 JUSTIFICATIVA**

Dado o custo econômico e social dos sinistros de trânsito, investir em segurança viária não é apenas uma necessidade social, mas também uma estratégia economicamente vantajosa. A metodologia iRAP, reconhecida internacionalmente, permite a avaliação das condições de segurança das rodovias, por meio da classificação das vias com base em fatores de risco, utilizando um Sistema Classificação por Estrelas (*Star Rating Scores - SRS*), para indicar o nível de segurança e recomendando intervenções específicas (iRAP, 2022). Sua aplicação fornece elementos capazes de justificar investimentos em segurança viária, além de oferecer uma análise clara e transparente do custo-benefício dessas intervenções.

A escassez de recursos públicos para investimentos em infraestrutura tem impulsionado o uso de concessões rodoviárias como alternativa para melhorar as condições das rodovias. Nesses contratos, a responsabilidade pela manutenção e operação das rodovias é transferida para a iniciativa privada, que realiza os investimentos necessários e é remunerada por meio da arrecadação de tarifas de pedágio. Nesse sentido, a metodologia iRAP pode ser integrada aos Programas de Exploração da Rodovia (PER) promovendo intervenções estruturadas e baseadas em dados que reduzam efetivamente o número e a gravidade dos sinistros.

Dessa forma, a combinação entre a estruturação de concessões e a aplicação da metodologia iRAP oferece uma abordagem orientada por evidências, com potencial de não apenas melhorar a qualidade da infraestrutura rodoviária, mas também maximiza os benefícios econômicos e sociais derivados da redução de sinistros. Este estudo propõe avaliar um trecho de rodovia concedida no estado do Paraná para demonstrar a eficácia das intervenções sugeridas e sua viabilidade econômica a longo prazo, considerando a redução do número e da gravidade dos sinistros.

## 1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Este trabalho está organizado em cinco capítulos, conforme exemplificado na Figura 1.1. O primeiro capítulo apresenta a introdução ao tema, a contextualização do problema, os objetivos da pesquisa e a justificativa do estudo. O segundo capítulo discorre sobre a revisão da literatura, abordando os principais conceitos relacionados à segurança viária, a metodologia iRAP e a modelagem econômica de concessões rodoviárias. O terceiro capítulo descreve a metodologia empregada, detalhando os procedimentos de coleta de dados e análise, com destaque para o estudo de caso no Estado do Paraná. No quarto capítulo, são discutidos os resultados obtidos a partir da aplicação da metodologia iRAP, dos testes estatísticos realizados e de uma avaliação de custos e benefícios. Por fim, o quinto capítulo apresenta as conclusões, as implicações práticas dos achados e sugestões para futuras pesquisas.



**Figura 1.1** Estrutura da Dissertação

## **2 REVISÃO DA LITERATURA**

Neste capítulo, será apresentada a base teórica e contextual da segurança viária, abordando os sinistros de trânsito, o conceito do Sistema Seguro e Visão Zero, e a metodologia iRAP (Programa Internacional de Avaliação de Rodovias).

### **2.1 SEGURANÇA VIÁRIA E SINISTROS DE TRÂNSITO**

Os sinistros de trânsito representam uma das principais causas de mortes e ferimentos graves no Brasil e no mundo, configurando um problema de saúde pública e um impacto econômico significativo. No Brasil, dados da Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2023) indicam que, em 2023, foram registrados 67.638 sinistros nas rodovias federais, dos quais 56.681 envolveram vítimas.

A segurança viária apresenta-se como um desafio complexo que envolve diversos fatores: humanos, veiculares, viários e ambientais. Esses fatores contribuem para uma complexa interação entre veículos, vias e usuários, criando cenários com maior possibilidade de ocorrência de sinistros. Dessa forma, a segurança viária deve ser abordada de maneira sistêmica, visando reduzir as falhas em cada um desses elementos e quebrar as cadeias de eventos que resultam em sinistros e lesões graves.

A ABNT NBR 10697/2020 introduz um novo enfoque ao substituir o termo "acidente" por "sinistro", trazendo uma mudança de perspectiva sobre os eventos no trânsito, enfatizando a responsabilidade dos envolvidos. Essa nova nomenclatura visa eliminar a ideia de que esses eventos são inevitáveis, destacando que muitos sinistros poderiam ser evitados com atitudes responsáveis e adequadas condições de infraestrutura.

A norma também classifica os fatores geradores de sinistros em cinco categorias principais:

- I- Fator externo: Condições climáticas, ambientais ou interferências externas que prejudicam a segurança viária, como objetos ou animais na via.
- II- Fator humano: Erros cometidos por condutores, passageiros ou pedestres, como excesso de velocidade, ingestão de álcool e falta de atenção. Estudos apontam que

aproximadamente 90% dos sinistros no Brasil são decorrentes de falhas humanas (ONSV, 2015).

- III- Fator operacional: Problemas relacionados ao transporte de carga, como o mau posicionamento ou amarração inadequada, comprometendo a segurança do veículo e dos usuários da via.
- IV- 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.
- V- Fator viário: Deficiências na infraestrutura, como falta de sinalização, má qualidade da pavimentação, ausência de acostamentos e iluminação inadequada.

Além desses, a NBR 10697/2020 (ABNT, 2020) também considera outros fatores contribuintes, como a ausência ou ineficiência de legislação, fiscalização, equipamentos de segurança e educação para o trânsito. A combinação desses elementos cria um ambiente rodoviário que desafia a segurança, aumentando a exposição dos usuários aos riscos de sinistros graves.

Nos Estados Unidos, 85% dos sinistros rodoviários são atribuídos a falhas humanas, números semelhantes ao observado no Brasil (ONSV, 2021). Isso evidencia a necessidade de investir em soluções que considerem a vulnerabilidade dos seres humanos, como é o caso do conceito de Rodovias que Perdoam.

As Rodovias que Perdoam são projetadas para minimizar as consequências dos erros dos condutores, oferecendo elementos de infraestrutura que favorecem uma segunda chance, reduzindo tanto a frequência quanto a severidade dos sinistros. Esses elementos incluem barreiras de proteção, sonorizadores, sinalização adequada, e geometria da via adaptada para aumentar a segurança (CNT, 2021). Estudos demonstram que uma infraestrutura rodoviária segura pode reduzir a ocorrência de sinistros, mitigar a severidade e evitar mortes.

A implementação de estratégias de infraestrutura seguras é fundamental para reduzir os impactos dos sinistros de trânsito. A qualidade da via, a adequação da sinalização e a manutenção regular são fatores que interferem diretamente na segurança viária. Esses elementos, quando planejados adequadamente, podem reduzir significativamente o risco de sinistros, oferecendo uma resposta eficaz à vulnerabilidade dos usuários nas rodovias.

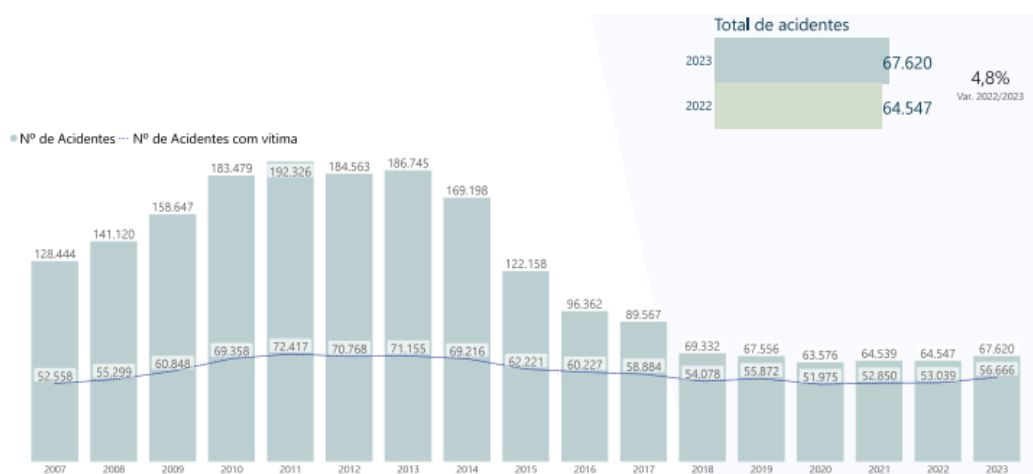
Diante disso, o foco desta pesquisa é avaliar as contramedidas de segurança propostas pela metodologia iRAP, buscando compreender como tais medidas se relacionam com os sinistros, como podem contribuir para a melhoria da infraestrutura rodoviária e, conseqüentemente, para a redução dos índices de sinistros nas rodovias brasileiras.

### 2.1.2 Sinistros de Trânsito no Brasil

Segundo dados do Plano Nacional de Logística (PNL, 2022), o Brasil possui aproximadamente 1,7 milhão de quilômetros de malha rodoviária, sendo a maior parte destinada ao transporte rodoviário, tanto de cargas quanto de passageiros. Essa predominância decorre de fatores históricos e de políticas de incentivo ao transporte rodoviário, como o lema do governo de Washington Luiz: "governar é abrir rodovias" (BRANCO, 1999).

Além disso, a expansão do transporte rodoviário ocorreu de forma rápida e sem a devida atenção à infraestrutura, o que contribuiu para a vulnerabilidade do país em relação aos problemas de segurança viária. Esse contexto agrava o impacto dos sinistros e coloca o Brasil entre os líderes globais em número de sinistros.

Analisando os dados sobre o total de sinistros, apresentados na Figura 2.1, nota-se uma tendência de queda no número de sinistros nas rodovias federais brasileiras ao longo do período analisado. Em 2007, foram registrados 128.444 sinistros, com um pico em 2011, atingindo 192.326 ocorrências. Então, houve uma redução gradual, chegando a 67.638 sinistros em 2023.

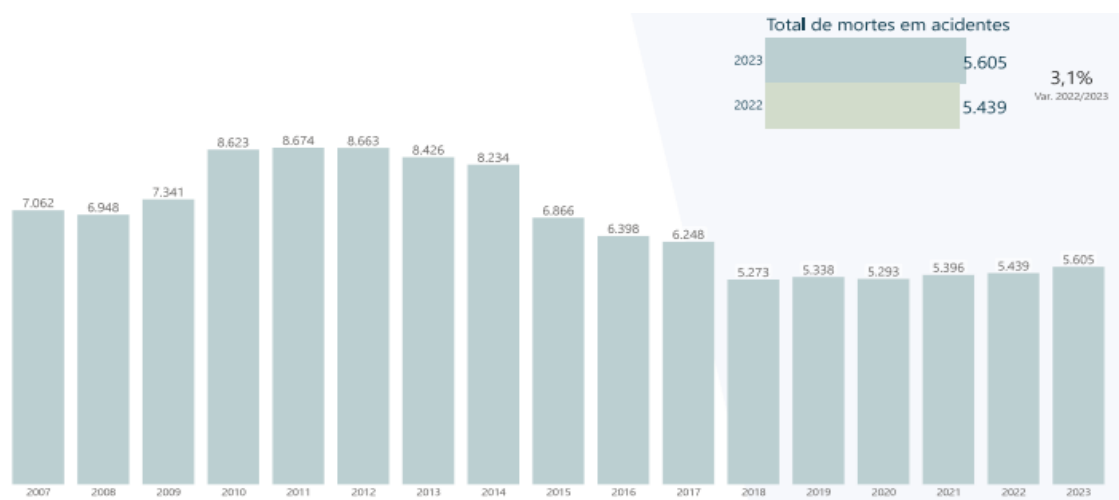


**Figura 2.1** Histórico de Sinistros de Trânsito

Fonte: CNT, 2024.

A literatura sugere que essa diminuição pode ser atribuída a uma combinação de fatores, como maior fiscalização nas rodovias, melhorias na infraestrutura rodoviária (CNT, 2021), campanhas de conscientização sobre segurança no trânsito, e a implementação de leis mais rigorosas, como a "Lei Seca" (Lei 11.705/2008), que teve papel crucial na redução dos sinistros relacionados ao consumo de álcool. Estudos demonstram que a adoção de políticas de segurança e fiscalização de trânsito contribuem significativamente para a diminuição dos índices de sinistros, como já constatado em países, como a Suécia e a Austrália (WEGMAN & OPPE, 2010).

Em relação aos sinistros fatais nas rodovias federais brasileiras, os dados apresentados na Figura 2.2 mostram uma análise do histórico de mortes de 2007 a 2024. Observa-se uma tendência geral de queda nas fatalidades ao longo dos anos. Em 2007, foram registradas 7.062 mortes, e o valor máximo foi observado em 2011, com 8.674 mortes. A partir desse ponto, houve uma redução constante, chegando a 5.615 mortes em 2023.



**Figura 2.2** Histórico de Sinistros Fatais nas Rodovias Federais

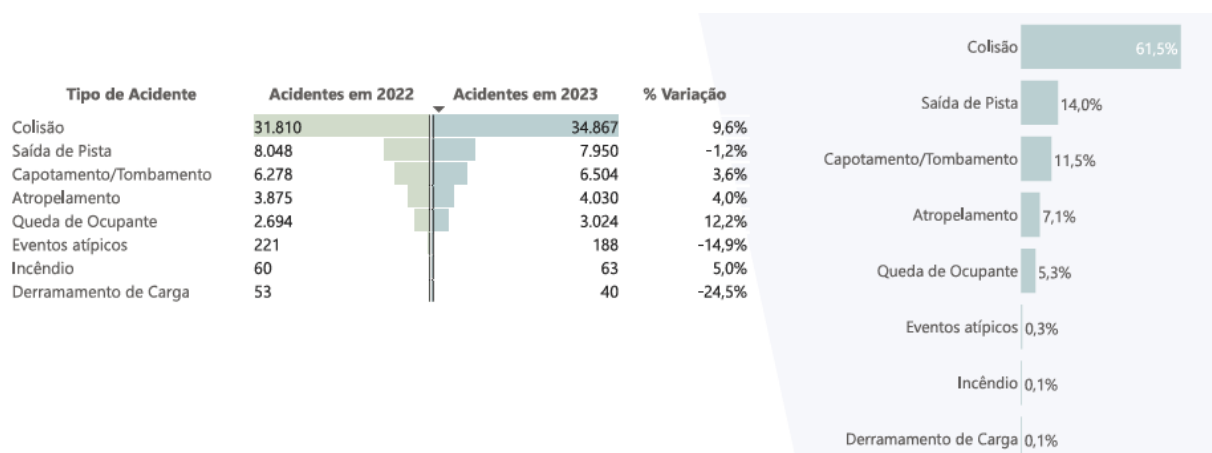
Fonte: CNT, 2024.

Essa tendência de queda reflete os esforços do governo e das instituições públicas e privadas para melhorar a segurança viária, incluindo a implementação de melhores práticas de engenharia viária, tais como barreiras de contenção, faixas de redução de velocidade, medidas que se alinham com o conceito de Rodovias que Perdoam (ABNT, 2007).

No entanto, é importante notar que, após 2018, a variação anual do total de mortes mostrou flutuações menores, sugerindo uma estabilização nos avanços obtidos até então. Entre 2014 e

2017, a redução foi marcante, com quedas de 16,6% em 2015 e 15,6% em 2018, indicando que políticas de fiscalização e melhoria de infraestrutura apresentaram resultados positivos. Contudo, em 2023, a variação foi de apenas 3,2%, sinalizando a necessidade de intensificar os esforços e ampliar as iniciativas de segurança viária para sustentar a tendência de queda e reduzir ainda mais as fatalidades. A pandemia de COVID-19 entre 2020 e 2022 também teve um impacto significativo, alterando o comportamento de mobilidade e a exposição ao risco, o que contribuiu para a variação nos dados.

Além disso, o estado das rodovias brasileiras agrava o problema. Um levantamento realizado pela Confederação Nacional do Transporte (CNT) em 2021 mostrou que mais de 60% das rodovias brasileiras estão em condições inadequadas de conservação, com problemas estruturais como buracos, ausência de sinalização e falta de acostamentos adequados (CNT, 2021), agravando os riscos de colisões e saídas de pista, que correspondem a 61,7% e 13,6% dos sinistros com vítimas, respectivamente, conforme observado na Figura 2.3.



**Figura 2.3** Relação por Tipo de Sinistros

Fonte: CNT, 2024.

De acordo com o Painel Sinistros Rodoviários (CNT, 2024), os dados revelam uma elevada incidência de colisões frontais e atropelamentos, ambos exacerbados pela falta de infraestrutura adequada e pela não observância de limites de velocidade e de sinalização deficiente nas rodovias. A fase do dia também impacta diretamente a ocorrência de sinistros, com 56,2% dos sinistros ocorrendo em pleno dia, o que pode estar associado ao maior volume de tráfego e ao cansaço dos condutores em longos trechos de pista simples. Esses fatores aumentam



significativamente o risco de sinistros graves, especialmente em trechos de alta movimentação de veículos pesados, como caminhões e ônibus.

Assim, para que a tendência de queda nos sinistros seja consolidada e o impacto reduzido, é crucial investir em políticas públicas voltadas para o fortalecimento da infraestrutura, fiscalização, conscientização e adequação das rodovias aos conceitos de segurança moderna, como o "Sistema Seguro" e a "Visão Zero" (TINGVALL & HAWORTH, 1999).

Essas análises evidenciam a importância de um esforço contínuo para melhorar a segurança viária, que deve incluir não só o aprimoramento das infraestruturas físicas, mas também campanhas educativas e políticas de fiscalização mais eficazes. Investir em programas como o iRAP e na adoção de normas como a ABNT NBR 10697:2020, que foca na redução de fatores de risco e na melhoria da infraestrutura viária, são fundamentais para garantir a segurança dos usuários e minimizar os impactos sociais e econômicos dos sinistros de trânsito no Brasil (IRAP, 2021).

### **2.1.1 Impactos Econômicos e Sociais**

A vida dos usuários de rodovias tem um valor limitado pelas condições econômicas do sistema de transportes (BRANCO, 1999), num primeiro momento, poder-se-á dizer que, na visão do operador rodoviário, o custo de evitar sinistros ou mitigar seus efeitos tende a se equiparar ao custo de atender ao sinistrado. Entretanto, para o Poder Público a necessidade de reduzir sinistros é maior, pois as consequências são maiores, além das perdas de vidas humanas e bem-estar, as perdas monetárias são consideráveis, observando, por exemplo, despesas médicas, reparos de infraestrutura e prejuízos ao setor produtivo. Investir em segurança geralmente traz benefícios que superam os custos de implantação, entretanto, a escassez de recursos, acentuada pelas diversas crises e aliada à ineficiência inerente ao próprio Estado, gera uma grande limitação de investimentos em infraestrutura em todo o sistema de transporte, tais como obras de manutenção, ampliação de capacidade e programas de segurança viária. A diminuição dos investimentos em infraestrutura acaba influenciando na segurança viária.

Nos países mais desenvolvidos, por questões econômicas ou culturais, os investimentos em segurança viária são mais consistentes, fomentando o aprimoramento contínuo dos sistemas de transportes, por exemplo, rodovias, veículos e tecnologias de operação. Entretanto, em países

menos desenvolvidos as rodovias carecem de investimentos básicos de segurança e modernização de sua frota de veículos.

No Brasil, os sinistros de trânsito representam um impacto econômico e social alarmante, conforme estudo elaborado pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA (2020), os custos com sinistros de trânsito, no período de 2007 a 2018, atualizados pelo Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo – IPCA, foram de R\$ 1,584 trilhão. Esses valores refletem o peso financeiro significativo que os sinistros impõem ao sistema de saúde público e privado, além de afetar diretamente o bem-estar econômico das famílias das vítimas, os sinistros de trânsito são uma das principais causas de empobrecimento em países de renda média e baixa, como o Brasil, devido aos custos elevados e inesperados que eles impõem às famílias.

A metodologia de cálculo dos custos de sinistros de trânsito desenvolvida pelo IPEA (2020) utiliza uma abordagem que se concentra em quatro componentes principais: pessoas, veículos, via/ambiente e custos institucionais. Esses componentes incluem uma ampla gama de custos, como o atendimento médico (pré-hospitalar, hospitalar e pós-hospitalar), perda de produção, remoção e traslado de vítimas, danos aos veículos, custos judiciais e de atendimento policial, entre outros. O cálculo é feito a partir da decomposição dos custos associados a cada sinistro, levando em consideração não apenas os prejuízos materiais, mas também os impactos humanos e sociais. O relatório do IPEA também destaca que, embora haja uma tentativa de quantificar os custos, muitos impactos, como os emocionais e psicológicos, são difíceis de mensurar e frequentemente são subvalorizados nos cálculos.

Este mesmo relatório do IPEA (2020) recomenda que, para a redução do número de sinistros e por conseguinte dos custos sociais e econômicos associados, todas as esferas de governos deveriam orientar investimentos em soluções de mobilidade que privilegiasse os vulneráveis em detrimento dos veículos e em soluções de segurança em vias e ruas, de forma a torna-las mais amigáveis e mais tolerantes aos erros dos condutores, com ganhos imediatos na redução de vítimas hospitalizadas na rede pública e economia dos escassos recursos. Também defende que órgãos normativos tornasse obrigatória a instalação de equipamentos de segurança ativa e passiva de proteção individual em motocicletas, ciclomotores, triciclos, automóveis, ônibus, vans, táxis, veículos de transporte escolar, veículos de carga, embarcações de transporte de passageiros ou de lazer.

Outro estudo, mais recente, realizado pela Confederação Nacional do Transporte revelou que o custo dos sinistros nas rodovias federais brasileiras chegou a R\$ 12,9 bilhões em 2021, valor que superou o total investido em melhorias de infraestrutura rodoviária pelo governo federal no mesmo período, que foi de R\$ R\$ 6,51bilhões. Esse desequilíbrio evidencia a necessidade urgente de investimentos contínuos e adequados em segurança viária, como forma de reduzir não apenas as tragédias humanas, mas também os altos custos econômicos associados aos sinistros (CNT, 2023a).

O Painel de Acidentes Rodoviários da CNT (2024), apresentou uma análise detalhada dos custos totais dos sinistros, segmentados por estado e por tipo (com vítimas e sem vítimas), conforme mostrado no Quadro 2.1. Os dados revelam que estados com maior densidade populacional e tráfego intenso, como Minas Gerais e Paraná, registram custos significativamente elevados, atingindo cifras que ultrapassam bilhões de reais, evidenciando o impacto econômico desproporcional dos sinistros nessas regiões.

**Quadro 2.1** Custos de Sinistros por Unidade Federativa

UF	Custo total com acidentes	Custo de acidente com mortes	Custo de acidente com vítimas	Custo de acidente sem vítimas
MG	R\$1.882.375.211,98	R\$673.446.353,16	R\$1.164.448.524,24	R\$44.480.334,58
PR	R\$1.426.322.826,22	R\$533.006.801,68	R\$839.220.433,10	R\$54.095.591,44
SC	R\$1.401.346.641,56	R\$352.757.613,56	R\$999.340.151,40	R\$49.248.876,60
RJ	R\$1.077.178.933,38	R\$316.265.446,64	R\$732.849.444,36	R\$28.064.042,38
BA	R\$965.126.698,35	R\$500.937.927,72	R\$443.668.405,38	R\$20.520.365,25
RS	R\$905.340.117,75	R\$288.619.865,64	R\$573.373.423,42	R\$43.346.828,69
SP	R\$883.340.008,30	R\$236.646.173,36	R\$619.880.557,68	R\$26.813.277,26
GO	R\$659.768.537,56	R\$266.503.400,84	R\$370.125.982,00	R\$23.139.154,72
PE	R\$655.170.489,18	R\$273.138.340,28	R\$362.723.462,36	R\$19.308.686,54
MT	R\$514.426.534,71	R\$231.117.057,16	R\$265.525.161,00	R\$17.784.316,55
ES	R\$470.122.233,76	R\$157.026.900,08	R\$305.434.397,32	R\$7.660.936,36
MS	R\$377.720.358,52	R\$163.661.839,52	R\$201.316.349,34	R\$12.742.169,66
MA	R\$362.956.841,05	R\$238.857.819,84	R\$115.382.751,78	R\$8.716.269,43
PB	R\$336.526.993,50	R\$137.122.081,76	R\$189.086.099,50	R\$10.318.812,24
CE	R\$314.866.472,36	R\$141.545.374,72	R\$165.269.297,18	R\$8.051.800,46
PI	R\$314.144.966,59	R\$153.709.430,36	R\$153.360.896,02	R\$7.074.640,21
PA	R\$293.329.706,18	R\$195.730.713,48	R\$92.048.722,48	R\$5.550.270,22
RN	R\$280.387.986,08	R\$100.629.914,84	R\$171.706.270,78	R\$8.051.800,46
RO	R\$276.861.309,72	R\$93.994.975,40	R\$173.798.287,20	R\$9.068.047,12
DF	R\$182.323.326,46	R\$54.185.338,76	R\$121.336.952,36	R\$6.801.035,34
TO	R\$147.430.619,78	R\$69.666.864,12	R\$73.542.423,38	R\$4.221.332,28
AL	R\$140.749.931,83	R\$66.349.394,40	R\$69.358.390,54	R\$5.042.146,89
SE	R\$108.561.504,79	R\$38.703.813,40	R\$66.300.828,08	R\$3.556.863,31
AC	R\$50.505.917,70	R\$21.010.641,56	R\$28.322.683,84	R\$1.172.592,30
RR	R\$38.903.296,78	R\$22.116.464,80	R\$15.770.585,32	R\$1.016.246,66
AP	R\$30.978.591,79	R\$13.269.878,88	R\$16.575.207,02	R\$1.133.505,89
AM	R\$23.635.805,70	R\$12.164.055,64	R\$10.299.157,76	R\$1.172.592,30
<b>Total</b>	<b>R\$14.120.401.861,58</b>	<b>R\$5.352.184.481,60</b>	<b>R\$8.340.064.844,84</b>	<b>R\$428.152.535,14</b>

Fonte: CNT, 2024.

### 2.1.3 Metas de Redução Globais

Com o início do novo milênio e o crescimento acelerado no número de sinistros e mortes no trânsito, ficou mais evidente a necessidade de uma ação global que reduzisse as ocorrências de sinistros nas rodovias e mudasse o cenário mundial. Os países perceberam que era necessário um esforço global para a identificação do problema, mapeamento das causas e busca de soluções compartilhadas para superar o enorme desafio que se apresentava.

Em 2009, uma pesquisa realizada pela OMS (2009) em 178 países constatou 1,24 milhão de mortes, com 90% das ocorrências em países de baixa e média renda, incluindo o Brasil, que ocupou o quinto lugar entre os países com maior número de ocorrências de mortes no trânsito.

Em decorrência desse progressivo e grave cenário, a Assembleia Geral da ONU proclamou, em março de 2010, por meio da Resolução A/RES/64/255 (ONU, 2010), a “Década de Ações para a Segurança no Trânsito”, com o objetivo de que cada país membro elaborasse um plano para definir programas, políticas, ações e metas para a redução de 50% das mortes e lesões no trânsito. A Primeira Década foi de 2011 a 2020 e, devido ao não atingimento da meta, instituiu-se a “Segunda Década de Ações para a Segurança no Trânsito”, por meio da Resolução A/RES/74/299 (ONU, 2020), a qual compreende o período de 2021 a 2030.

Em 2016, foram adotados 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da agenda 2030, na qual, duas metas abordam especificamente a segurança no trânsito, sendo elas:

- Meta 3.6: reduzir pela metade o número global de mortes e lesões causadas por sinistros de trânsito; e
- Meta 11.2: fornecer acesso a sistemas de transporte seguros, baratos, acessíveis e sustentáveis, bem como melhoria a segurança rodoviária para todos.

Em 2020, a Assembleia Geral da ONU (2010) adotou a resolução A/RES/74/299 “*Improving global road safety*”, proclamando a Década de Ação para a Segurança no Trânsito (2021-2030) com a meta de prevenir pelo menos 50% de mortes e lesões no trânsito. Esta meta foi chancelada pela OMS e pelas comissões regionais da ONU. Este documento, que é referência para apoio ao cumprimento da meta da ONU, aponta 12 metas e têm como objetivo a implementação de uma política de infraestrutura de transportes que contribua para o desenvolvimento sustentável, conforme Figura 2.4. Destaque para as metas 3 e 4 que se relacionam com a metodologia iRAP.

- Meta 3: todas as novas rodovias sejam construídas com, pelo menos, padrão mínimo de 3 estrelas, para todos os usuários da via; e,
- Meta 4: mais de 75% das viagens sejam realizadas em rodovias com, pelo menos, padrão mínimo de 3 estrelas, para todos os usuários da via.



**Figura 2.4** Metas de Segurança Rodoviária das Nações Unidas  
Fonte: ONU, 2017.

Já no Brasil, em 2018, por meio da Lei nº 13.614, foi instituído o Plano Nacional de Redução de Mortes e Lesões no Trânsito – PNATRANS, alinhado às metas globais da ONU, com o objetivo de reduzir pela metade o índice nacional de mortos por grupo de veículos e o índice nacional de mortos por grupo de habitantes. O plano é estruturado em sete eixos estratégicos, que incluem a gestão da segurança no trânsito, vias e veículos mais seguros, educação e comportamento no trânsito, atendimento pós-acidente, fiscalização e o uso de dados para embasar políticas públicas. Entre as iniciativas do PNATRANS, destacam-se campanhas educativas, melhorias na infraestrutura viária, implementação de tecnologias de fiscalização e incentivo ao uso de veículos mais seguros. Apesar de alguns avanços, o Brasil não atingiu integralmente a meta da primeira década, alcançando uma redução de cerca de 30% no número de mortes (WRI, 2018).

## 2.2 SISTEMA SEGURO E VISÃO ZERO

A segurança viária é uma área que demanda uma abordagem multidisciplinar, integrando usuários, veículos e o ambiente rodoviário. A combinação desses elementos implica que a

segurança no trânsito deve ser tratada de forma multifuncional, considerando fatores como falhas humanas, veiculares e viárias, além das condições ambientais, como o clima (ONU, 2021). Para mitigar os riscos inerentes ao trânsito e reduzir o número de mortes e lesões, surgiram conceitos fundamentais, como o Sistema Seguro, as Rodovias que Perdoam e a Visão Zero. Esses conceitos, apesar de distintos, complementam-se e formam a base das políticas de segurança viária modernas, promovendo uma infraestrutura que acomoda os erros humanos sem que resultem em consequências graves, e enfatizando que nenhuma morte no trânsito é aceitável.

Introduzido na Suécia em 1997, o conceito de Visão Zero estabelece que nenhuma morte no trânsito é aceitável. Esse conceito se baseia na premissa de que a vida humana tem prioridade sobre qualquer outro objetivo no sistema viário. Além disso, ele reconhece que os erros humanos são inevitáveis e, por isso, os projetistas de rodovias e gestores de transporte têm a responsabilidade de garantir que esses erros não resultem em fatalidades ou lesões graves (ABETRAN, 2017).

Segundo Grzebieta e Rechnitzer (2014), a Visão Zero reconhece a inevitabilidade de erros humanos, mas busca eliminar fatalidades e lesões graves. A filosofia prioriza a segurança no design do sistema, diferindo de abordagens custo-benefício tradicionais ao considerar toda morte ou lesão grave como evitável e inaceitável. Essa perspectiva orientada ao valor humano enfatiza a criação de sistemas benignos, capazes de minimizar danos mesmo em caso de sinistros, transformando a segurança viária em um princípio fundamental.

A Visão Zero tem sido uma das principais referências globais em termos de segurança viária e influenciou significativamente as políticas de segurança no trânsito em diversos países, incluindo o Brasil. Segundo Grzebieta e Rechnitzer (2014), esse conceito estabelece que a responsabilidade pela segurança no trânsito não deve recair apenas sobre os motoristas, mas também sobre aqueles que projetam, constroem e gerenciam as rodovias e o sistema de transporte como um todo.

O conceito de Visão Zero gerou excelentes resultados na Suécia, levando ao registro da taxa de mortalidade no trânsito de apenas 3 em cada 100 mil habitantes, além disso, as fatalidades envolvendo pedestres caíram quase pela metade até 2017 (ABETRAN, 2017). Entretanto, conforme já citado, as medidas de segurança viária devem ser avaliadas considerando as

características de cada local (país, estado, município e localidade). A realidade encontrada na Suécia, não é a mesma em tantos outros países, e muitos especialistas consideram que a Visão Zero dificilmente teria ou terá os mesmos resultados em outras partes do mundo. Entretanto, estudos já demonstraram a possibilidade de aplicação da Visão Zero em outros países, a publicação de um grupo de especialistas de mais de 24 países, ITF (2016) intitulada *Zero Deaths and Serious Injuries – Leading a Paradigm Shift to a Safe System* (em tradução livre, “Nenhuma morte ou ferimento grave – encaminhando a mudança para um sistema seguro”) demonstra que é possível aplicar o conceito de Visão Zero e apresenta práticas de segurança viária no mundo e o ponto de partida para que governos, administrações, empresas e pesquisadores tracem suas próprias estratégias para evitar sinistros e fatalidades no trânsito.

Um Sistema Seguro propõe que, embora os erros humanos sejam inevitáveis, eles não devem resultar em mortes ou lesões graves. Uma das estratégias centrais do Sistema Seguro é a criação de Rodovias que Perdoam, ou seja, que são projetadas para minimizar os riscos aos usuários, mesmo quando ocorrem falhas na condução ou no comportamento dos motoristas. Segundo Grzebieta e Reznitzner (2014), o conceito de Rodovias que Perdoam foi introduzido para garantir que o sistema viário seja adaptado para prevenir ou reduzir a gravidade dos sinistros.

O conceito de Rodovias que Perdoam surgiu nos Países Baixos na década de 1960 e foi posteriormente adotado por vários países, incluindo os Estados Unidos e a Suécia. Esse conceito estabelece que as rodovias devem ser projetadas para proteger os usuários e minimizar as consequências de erros humanos, como colisões ou saídas de pista (CNT, 2021). No Brasil, o conceito foi incorporado à norma ABNT NBR 15486:2007, revisada em 2016, que trata da segurança viária e dos dispositivos de contenção de impactos (ABNT, 2007).

As Rodovias que Perdoam têm o objetivo de mitigar os sinistros de trânsito causados por falhas humanas ou minimizar suas consequências. Para tanto, os projetos rodoviários devem incluir dispositivos que orientem o condutor a corrigir seu comportamento ou que redirecionem suavemente veículos que saem da pista. Essas rodovias devem contar com zonas de escape e barreiras de proteção, projetadas para reduzir o impacto de uma colisão (ONSV, 2021).

No Brasil, o conceito de Rodovias que Perdoam foi incorporado nas normas técnicas de segurança viária da ABNT e tem sido gradualmente implementado em projetos de infraestrutura rodoviária. Além disso, programas como o RQP-Brasil (Rodovias que Perdoam) foram

propostos pelo Observatório Nacional de Segurança Viária – ONSV (2021), com o objetivo de promover soluções de baixo custo e alto impacto para reduzir sinistros graves e fatais.

Em conformidade com as condições da infraestrutura rodoviária brasileira, o RQP-Brasil priorizaria a adoção de soluções-tipo e boas práticas que produzam intervenções, de curto prazo, com baixo custo e apropriados Fatores de Redução de Acidente ou em inglês *Crash Reduction Factors* (CRF), aplicadas aos principais locais críticos de sinistros de trânsito, já mapeados (OSNV, 2021).

Entre os elementos aplicados no Brasil estão as zonas de escape, faixas de alerta e barreiras de proteção. Um exemplo bem-sucedido é o uso de áreas de escape nas rodovias de grande fluxo, que têm reduzido significativamente os sinistros envolvendo veículos pesados em declives acentuados (CNT, 2021).

Por fim, dentro do sistema RQP-Brasil, foram identificadas metas de curto prazo que buscariam considerar os cenários econômico, social e político para ágil implementação, contribuindo para o atingimento da meta global de reduzir 50% dos sinistros de trânsito nesta década 2021-2030, quais sejam:

- a) Adotar soluções-tipo de baixo custo e com forte impacto nos locais críticos de sinistros;
- b) Regulamentar práticas, materiais, dispositivos, novas tecnologias e inovações para contribuir na segurança viária de trechos de alta periculosidade;
- c) Complementar os estudos de modelagem para concessões e seus respectivos editais, com um conjunto de ações específicas e abrangentes que permita obter segurança viária qualificada, com indicadores e resultados previstos;
- d) Inserir anexo especializado de segurança viária nos editais de concessão ou de obras rodoviárias, com a finalidade de priorizar e destacar a relevância da orientação aos condutores, da redução de locais críticos de sinistros e da segurança nas rodovias; inclusive, com a possível adequação em contratos já existentes como preconiza a política pública do Ministério da Infraestrutura, que estimula a segurança e a modernização (inov@BR);
- e) Revisar a concepção dos projetos de engenharia rodoviária com adoção de informações específicas para ampla implementação do RQP-Brasil;



- f) Otimizar o processo de atendimento de emergência e encaminhamento pré-hospitalar e hospitalar do traumatizado no trânsito;
- g) Estabelecer um processo de certificação para projetos, obras e serviços nos aspectos referentes à segurança viária e à mobilidade humana, segura e sustentável;
- h) Criar cursos técnicos e de especialização específicos para segurança viária visando aprimorar projetos, incrementar cadernos de solução, adotar tecnologias, inovações e boas práticas, bem como certificar e auditar em engenharia rodoviária; e,
- i) Prospectar recursos internacionais para financiamento de estudos, pesquisas e principalmente ações de implementação da segurança viária no Brasil.

Apresentam-se a seguir alguns dos elementos que, utilizados em conjunto e de modo sistêmico, integram o conceito das rodovias que perdoam:

- a) Zona Livre (*clear zone*): uma faixa de terreno livre de elementos fixos e que possa ser atravessada com segurança por veículos desgovernados, permitindo que o condutor, após uma eventual saída da pista de rolamento, possa recuperar o controle do veículo em segurança. Ainda dentro do conceito de zona livre, outro equipamento que tem grande influência na segurança viária são as áreas de escape conforme Figura 2.5.



**Figura 2.5** Área de Escape na Rodovia BR-376/PR, Autopista Litoral Sul  
Fonte: CNT, 2021.

- b) Dispositivos de contenção viária: são equipamentos instalados ao longo da via para redirecionar e/ou absorver a energia do impacto de veículos desgovernados. Sua estrutura é projetada para reduzir a gravidade dos sinistros e impedir que os veículos

invadam locais de risco ou atinjam obstáculos fixos. São classificados em dispositivos de contenção longitudinal (defensas metálicas e as barreiras de concreto *New Jersey*) e de contenção pontual (dispositivos atenuadores de impacto e terminais absorvedores de energia – TAE) diante exposto na Figura 2.6.



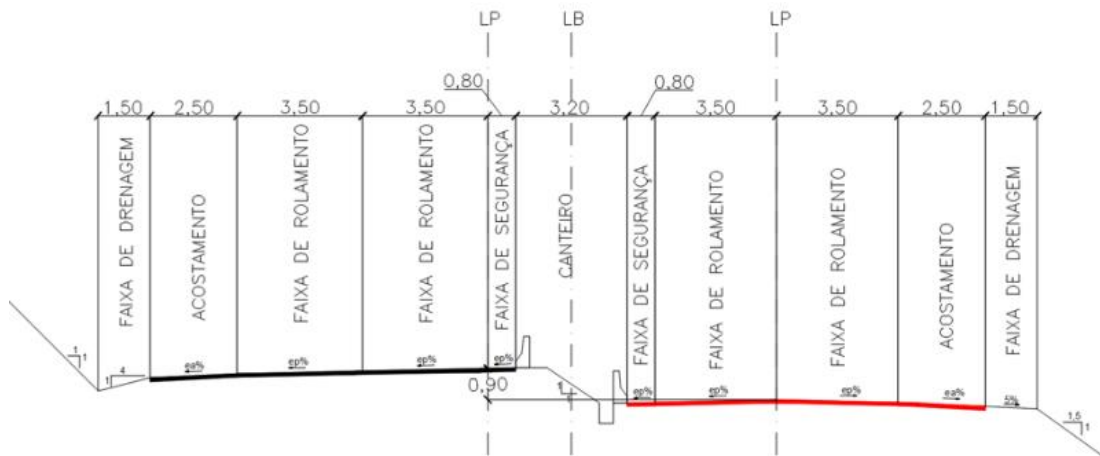
**Figura 2.6** Exemplo de Defesa Metálica, Atenuador de Impacto e *New Jersey*  
Fonte: CNT, 2021.

- c) Sonorizadores e faixas de alerta: o sonorizador é um dispositivo físico de controle de tráfego instalado na superfície da pista, que causa um efeito sonoro-vibratório com a passagem de veículos. Conforme ilustrado na Figura 2.7, sua função é induzir os condutores a diminuírem a velocidade e alertar para alguma situação de perigo à frente.

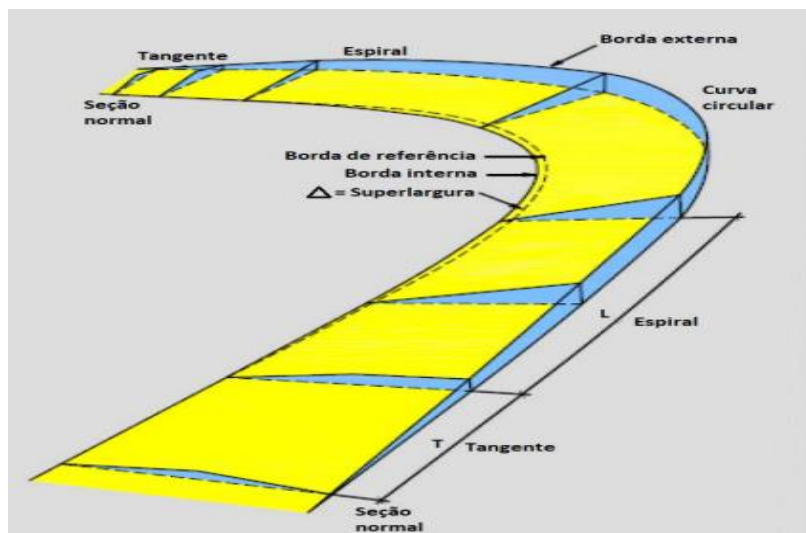


**Figura 2.7** Exemplo de Sonorizador em Rodovia  
Fonte: CNT, 2021.

- d) Características da via: a geometria adequada da via integra uma das principais características de uma rodovia que perdoa. A largura das faixas e do acostamento, o alargamento e a inclinação de faixas em trechos de curva e a declividade dos taludes laterais são essenciais na composição desse conceito, conforme pode ser observado na Figura 2.8 e Figura 2.9.



**Figura 2.8** Exemplo Geometria da Rodovia, Seção Tipo Duplicação  
Fonte: Arteris, 2019.



**Figura 2.9** Exemplo de Geometria da Rodovia, Superelevação  
Fonte: CNT, 2021.

O emprego de cada dispositivo deve ser precedido de muitos estudos e algumas simulações, de forma que o elemento deve ser adequado para prevenir aquele determinado tipo de sinistro previsto, a seguir na Figura 2.10, elaborada pela CNT que mostra a relação entre os elementos

de uma rodovia, com conceito de Rodovias que Perdoam e os tipos de sinistros mais frequentes, considerando a Pesquisa CNT de Rodovias 2021.

Elementos de rodovias que perdoam	Tipos de acidente mais frequentes no Brasil			
	Colisão com outro veículo	Saída de pista	Capotamento/Tombamento	Atropelamento
Contenção lateral		X	X	X
Contenção central	X	X	X	
Atenuador de impacto	X			X
TAE	X	X	X	
Zona livre	X		X	
Área de escape	X		X	
Sonorizador	X	X	X	X
Faixa de alerta	X	X	X	
Superlargura/Superelevação	X	X	X	

**Figura 2.10** Relação entre Tipos de Sinistros e Elementos de Rodovias que Perdoam  
Fonte: CNT, 2021.

Por fim, a metodologia iRAP surge como uma ferramenta, globalmente difundida, que vai ao encontro dos conceitos de Rodovias que Perdoam e Visão Zero. O iRAP possui uma tecnologia de gestão de riscos aplicada à segurança viária e protocolos para avaliação com indicação de locais críticos, tipos de solução e escala de investimento.

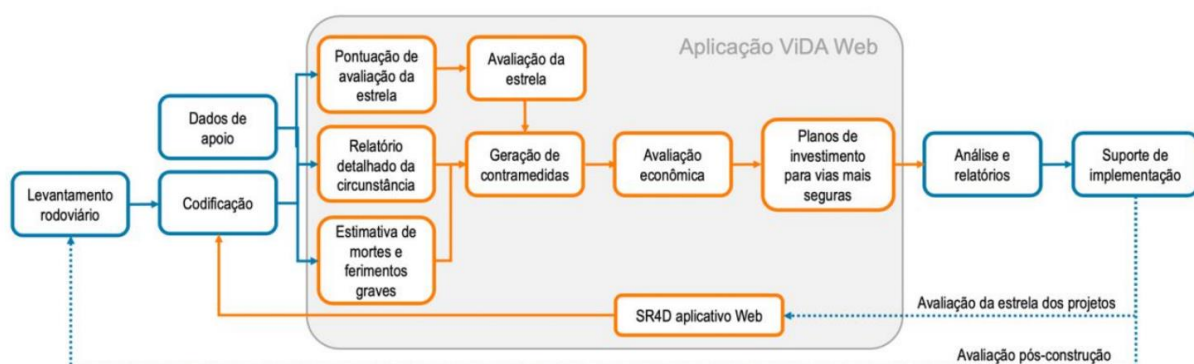
### 2.3 PROGRAMA INTERNACIONAL DE AVALIAÇÃO DE RODOVIAS (IRAP)

O iRAP surgiu em 2006, fundado pelos governos britânico, holandês e sueco, em conjunto com os principais clubes automotivos europeus, em busca de combater o alto custo social e econômico decorrente de sinistros viários. Trata-se de uma organização que abrange outros programas como EuroRAP, UsRAP, AusRAP e BrazilRAP, todos com o mesmo propósito de melhorar a segurança e diminuir o número de fatalidades nas rodovias. O iRAP recebeu subsídio de três milhões de euros da Fundação FIA (*Fédération Internationale de l'Automobile*) para adaptar a sua metodologia para países de média e baixa renda, onde ocorrem nove de cada dez fatalidades de trânsito no mundo, e foi testado na África do Sul, Chile, Costa Rica e Malásia. Em 2011, foi reconhecido como instituição de caridade (IRAP, 2021). Com aplicação em mais

de 100 países, o iRAP foi criado para reduzir o número de mortes e lesões graves nas rodovias, utilizando uma metodologia que classifica as rodovias com base em critérios de segurança e fornece orientações para intervenções estratégicas. A principal ferramenta dessa metodologia é o Sistema de Classificação por Estrelas ou em inglês *Star Rating System* (SRS), que avalia a segurança de rodovias numa escala de uma a cinco estrelas, sendo cinco estrelas a classificação mais segura.

A metodologia do iRAP baseia-se em uma abordagem científica e integrada, que analisa as características físicas das rodovias e os fatores de risco que podem resultar em sinistros graves ou fatais. As avaliações incluem a infraestrutura da via, sinalização, perigos ao longo da via, dispositivos de segurança, geometria das rodovias e a interação entre os diferentes tipos de usuários das vias (motoristas, ciclistas, pedestres). A partir dessa análise, a metodologia sugere contramedidas específicas de engenharia, muitas delas de baixo custo e alta eficiência, capazes de reduzir significativamente os riscos (iRAP, 2022).

Estudos como o de McInerney *et al.* (2017) evidenciam que a metodologia iRAP é amplamente utilizada na gestão rodoviária, permitindo a identificação de pontos críticos de risco e a proposição de contramedidas específicas para segurança. Além de avaliar a infraestrutura, ela estima os impactos econômicos e sociais das intervenções, integrando custo e benefício. O processo inclui a classificação por estrelas das vias e a formulação de Planos de Investimento para Vias Mais Seguras (PIRMS), viabilizando uma abordagem sistemática para priorizar melhorias com base em sua efetividade e previsões, demonstrado na Figura 2.11. Esse processo sistemático prioriza intervenções com base em evidências, alinhando segurança e viabilidade financeira, enquanto promove melhorias sustentáveis na infraestrutura e reduz fatalidades.

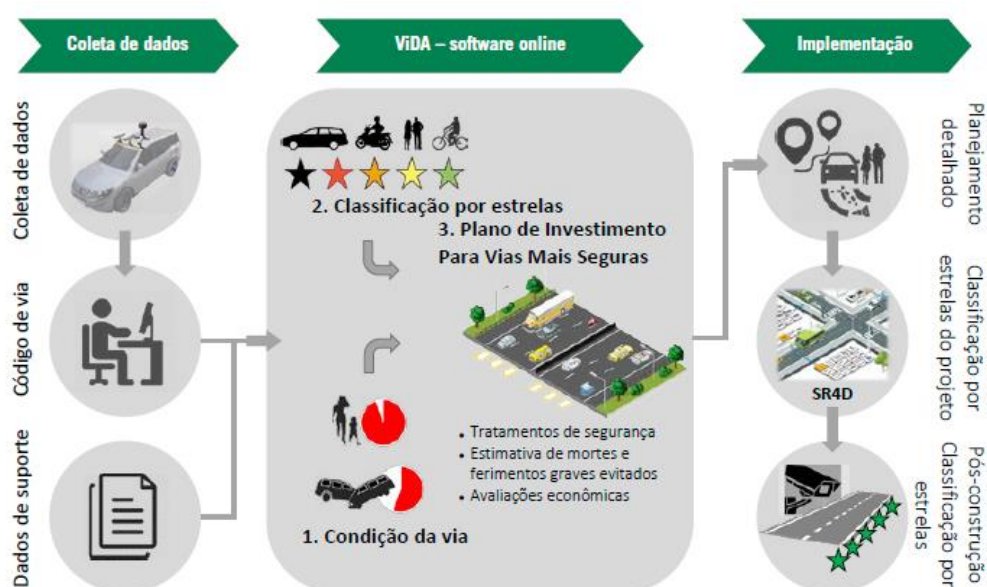


**Figura 2.11** Fluxo da Metodologia iRAP  
Fonte: ViDA, 2021.

As pesquisas e programas possibilitaram ao iRAP desenvolver cinco protocolos globais de avaliação e melhoria da segurança viária:

- i. Mapas de risco: usam dados detalhados sobre colisões de trânsito para ilustrar o número real de mortes e ferimentos em uma rede viária;
- ii. Classificação por Estrelas (SRS): fornece uma medida simples e objetiva do nível de segurança fornecido pelo design de uma via;
- iii. Mapeamento de estimativa de fatalidades: ilustra a distribuição do número esperado de fatalidades e lesões graves em uma rede viária;
- iv. Planos de Investimento para Vias Mais Seguras (PIRMS): baseiam-se em aproximadamente 90 opções comprovadas de melhoria de vias para salvar vidas; e,
- v. O acompanhamento do desempenho permite o uso de Classificações por Estrelas (SRS) e mapas de risco para rastrear o desempenho da segurança viária e recomendar a política de segurança viária.

Em síntese, a Figura 2.12 resume a parte de uma abordagem sistemática e proativa para avaliar os riscos da infraestrutura de uma rodovia com base na metodologia iRAP e exemplifica abaixo cada uma das suas fases.



**Figura 2.12** Esquema de Aplicação da Metodologia iRAP

Fonte: Vida, 2021.

### 2.3.1 Inspeção da Via e Codificação de Atributos

O processo de codificação de atributos, conforme descrito pelo próprio Manual de Codificação, é o cerne de um projeto iRAP. Em suma, o processo se baseia em registrar atributos observados em imagens geograficamente referenciadas, coletadas durante a inspeção.

Por meio de uma inspeção detalhada da rodovia, são identificados pontos críticos de risco. São coletados dados sobre uma série de atributos da rodovia, sendo, ao todo, 71 atributos, codificados a cada 100 metros de via, por exemplo: delineamento da via, sinalização existente, presença de calçadas, tipologia da rodovia. A Figura 2.13 demonstra alguns exemplos de codificação da via.

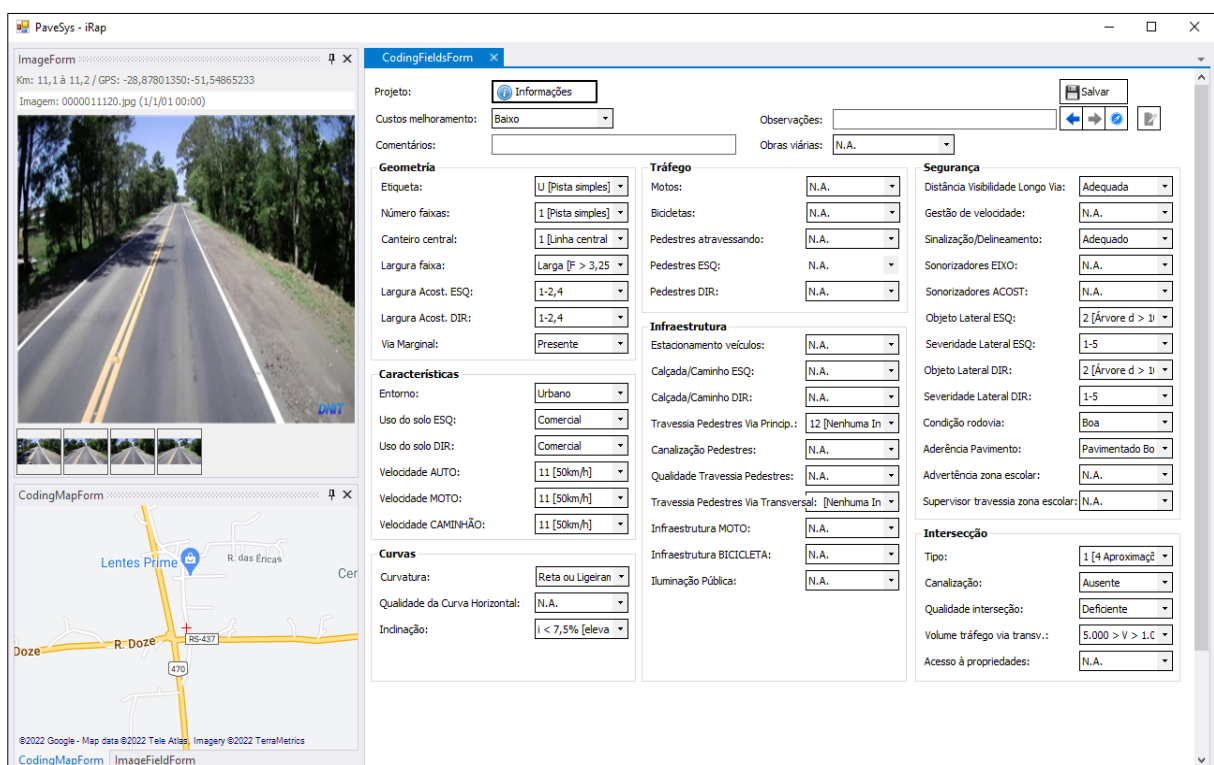


**Figura 2.13** Exemplo de Codificação da Via  
Fonte: IRAP, 2022b.

Para a codificação, pode ser realizada por *software* desenvolvido por empresas acreditadas ou pela plataforma ViDA, própria da metodologia. A ViDA exibe imagens dos segmentos rodoviários a cada 100 metros, acompanhadas por coordenadas geográficas, horário e data de coleta. Essa codificação é crucial para a classificação por estrelas e para determinar contramedidas na fase seguinte.

Segundo Grzebieta e Rechnitzer (2014), essa etapa possibilita uma análise abrangente, considerando diferentes perfis de usuários. A interface do *software*, exemplificada na Figura 2.14, inclui todos os atributos que o codificador deve registrar, conforme o Manual de Codificação de Vias do iRAP.

Esse processo assegura uniformidade e precisão na coleta de dados, permitindo a identificação detalhada dos riscos e a sugestão de intervenções estratégicas para aprimorar a segurança viária. Com essa base, é possível desenvolver planos eficientes para mitigar sinistros, garantindo que as medidas propostas sejam fundamentadas em evidências e adequadas às condições locais.



**Figura 2.14** Exemplo de Painel de Codificação  
Fonte: SUCON/ANTT, 2024.

Atualmente, o *software* ViDA somente permite evoluir com a análise quando todos os atributos estão devidamente preenchidos. Ou seja, o arquivo de entrada só será carregado se todos os campos forem codificados corretamente. Caso o codificador tenha dúvidas ou precise de informações adicionais, é necessário recorrer a outras fontes de imagens, sistemas de mapeamento, ou, em última instância, realizar uma nova inspeção em campo. Isso ocorre porque a classificação por estrelas só será gerada quando todos os dados forem completos e precisos.



Após a coleta de dados e a codificação dos atributos, as rodovias são avaliadas com base no Sistema de Classificação por Estrelas (SRS), que mede o risco de sinistros graves ou fatais. A avaliação é feita em uma escala de uma a cinco estrelas, onde uma estrela representa a classificação mais insegura e cinco estrelas a mais segura. Além disso, é realizada uma análise de Risco Coletivo, que considera o número de mortes e lesões em relação ao volume de tráfego. Para cada tipo de usuário da via—motoristas, motociclistas, pedestres e ciclistas—são atribuídas classificações separadas, permitindo uma análise mais detalhada dos riscos específicos para cada grupo.

Esse processo rigoroso assegura que a classificação por estrelas, que orienta a identificação de riscos e a definição de contramedidas, seja gerada com precisão e confiabilidade. Embora o retorno a campo possa representar um desafio logístico e financeiro, ele é indispensável para manter a integridade dos dados e a eficácia das intervenções propostas. Assim, a metodologia ViDA promove uma abordagem robusta e baseada em evidências para a segurança viária.

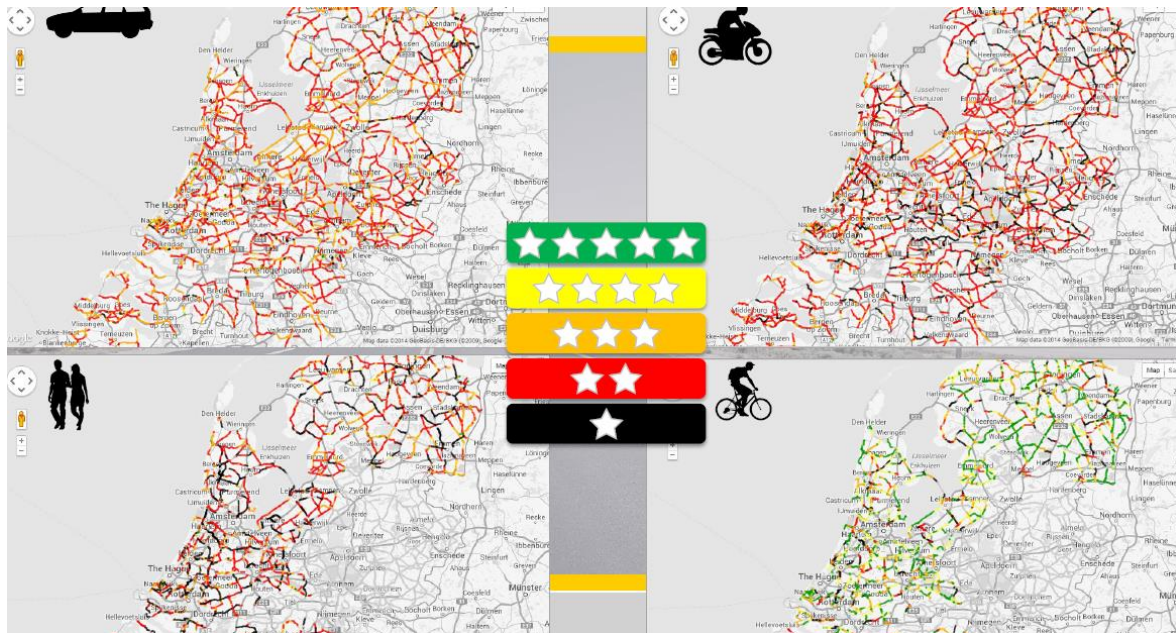
### **2.3.2 Sistema de Classificação por Estrelas (SRS)**

Após inspeção e codificação é aplicado o Sistema de Classificação por Estrelas onde os trechos de rodovias são classificados em uma escala de 1 (uma) a 5 (cinco) estrelas, em função da segurança que oferecem aos tipos de usuários considerados.

As rodovias avaliadas com 4 e 5 estrelas são as consideradas mais seguras e configuram-se como apropriadas para a velocidade do tráfego em questão. Quanto aos elementos de infraestrutura presentes nesse tipo de rodovia, pode-se ressaltar a possível presença de canteiro central largo e barreiras para a separação de tráfegos opostos, delineamentos adequados, faixas mais largas e boa condição da cobertura do pavimento, presença de acostamentos, ausência de obstáculos ao longo do segmento e adequada separação de áreas para diferentes usuários (iRAP, 2016).

As rodovias menos seguras (avaliadas em 1 e 2 estrelas) são aquelas que não apresentam a infraestrutura adequada para o provimento da segurança dos usuários que operam na velocidade da via. O relatório de metodologia do iRAP (2016) aponta que as rodovias com essas características se configuram como aquelas em que prevalecem as faixas únicas de rolagem, faixas estreitas, acostamentos não pavimentados, má condição da sinalização horizontal, interseções pouco visíveis e presença constante de elementos perigosos como árvores, postes e

taludes próximos à via. Essas rodovias ainda são inapropriadas para o uso em comum de pedestres e ciclistas, acarretando riscos. A Figura 2.15 mostra um exemplo do Sistema de Classificação por Estrelas, por usuário e a convenção de cor por número de estrela.



**Figura 2.15** Classificação por Estrelas por Tipo de Usuário

Fonte: IRAP, 2022b.

Uma característica importante sobre o Sistema de Classificação por Estrelas é que ele pode ser utilizado tanto para quantificar objetivamente o nível de risco associado a novos projetos viários, onde os dados de colisões não estão disponíveis, quanto em situações em que marcadas pela baixa frequência de colisões, o que limita a capacidade de análise de sinistros visando o desenvolvimento de um plano de ações para aumentar a segurança viária.

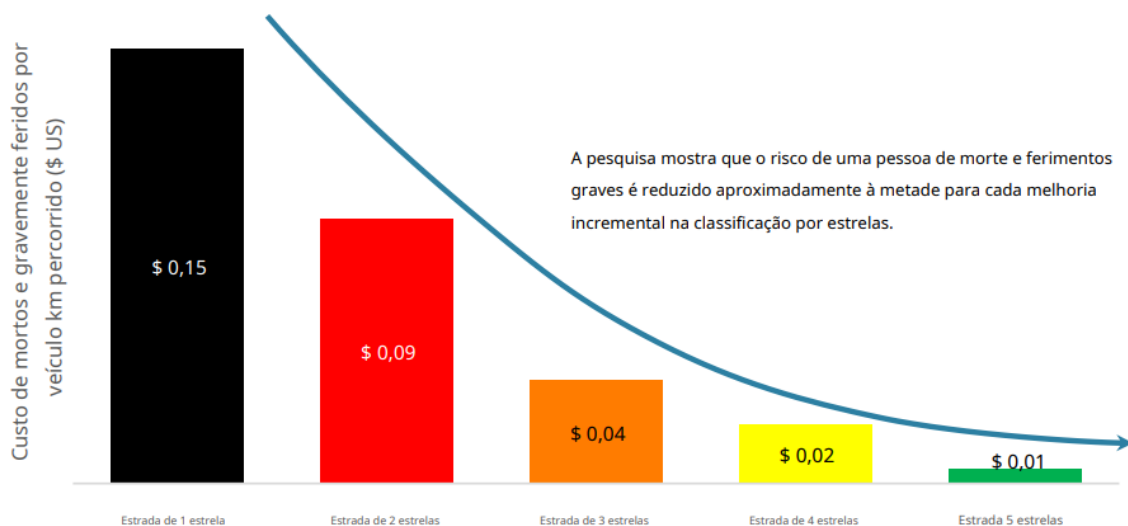
A metodologia se baseia em um cálculo que objetiva quantificar o risco individual do tipo de sinistro, considerando a probabilidade de ocorrência de sinistro, a severidade quando ocorre, a influência do fluxo veicular e a velocidade operacional, conforme apresentado na Figura 2.16.

No cálculo do SRS, para cada usuário, são utilizados diferentes atributos da fase de inspeção, ponderando aqueles que correspondem aos fatores de maior suscetibilidade, que são considerados para cada tipo de colisão juntamente aplicação de um fator de correção. O risco coletivo, que é o número de mortes e lesões graves ocorridas em uma via, é determinado como uma função de risco individual combinado ao volume de tráfego na rodovia. Assim os índices obtidos refletem a probabilidade de ocorrência de acidentes graves em cenários reais.



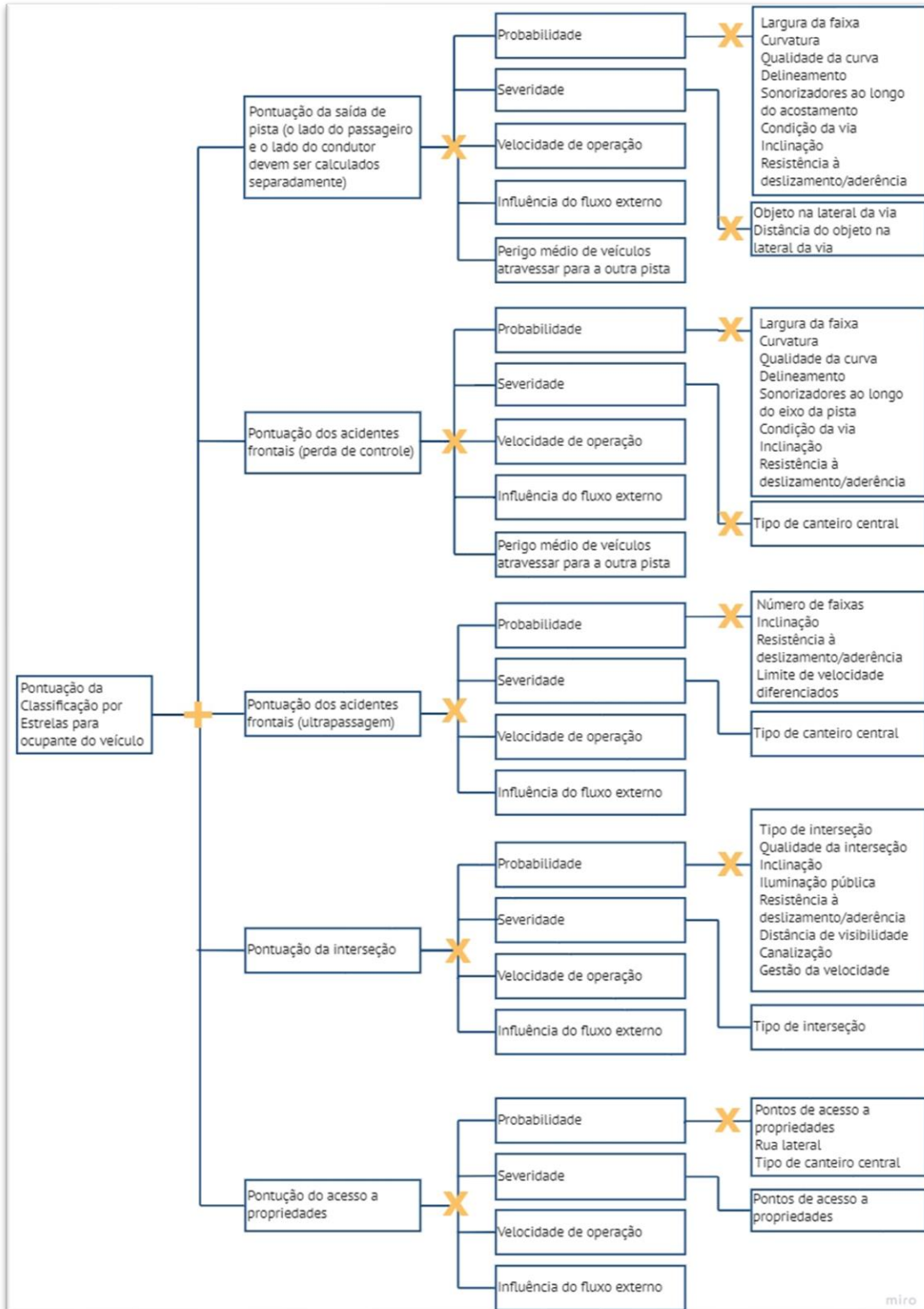
**Figura 2.16** Modelo de Cálculo Probabilístico para Classificação por Estrelas  
 Fonte: IRAP, 2022c.

Estudos demonstram que existe uma relação direta entre o Sistema de Classificação por Estrelas e o custo das fatalidades e lesões graves, para cada aumento incremental nas classificações por estrelas, o custo das fatalidades e lesões graves são tipicamente reduzidos pela metade (IRAP, 2022d), conforme apresentado na Figura 2.17. O PIRMS é elaborado considerando todas as variáveis elencadas para a classificação por estrelas, inclusive a avaliação dos benefícios e custos gerados pelas contramedidas, sendo o BCR um fator importante para a viabilidade do projeto, que acaba definindo a evolução da classificação por estrelas de cada trecho, ao longo do horizonte de projeto.



**Figura 2.17** Relação Entre Classificação por Estrelas e o Custo de Fatalidades e Lesões Graves  
 Fonte: IRAP, 2022d.

A Figura 2.18 ilustra de forma esquemática um fluxo de classificação por estrelas, exemplificando os critérios e etapas utilizados para avaliar o nível de segurança destinado aos ocupantes de um veículo.



**Figura 2.18** Fluxo do Cálculo de SRS  
Fonte: iRAP, 2014.

### 2.3.3 Plano de Investimentos em Rodovias Mais Seguras - PIRMS

O PIRMS é uma proposição inicial de soluções de engenharia que se baseia em dados da classificação por estrelas e estimativas de óbitos e vítimas com lesões graves (*Fatal and Serious Injury - FSI*) para reduzir os números de mortes e feridos no trânsito. O plano pleiteia o mapeamento das rodovias federais no que tange à segurança viária e propõe, a partir de um modelo probabilístico, as medidas com melhor custo-benefício para o melhoramento da segurança viária.

As pontuações das classificações por estrelas são utilizadas pelo *software* para gerar os mapas de classificação por estrelas, que subsidiarão as decisões pelas quais intervenções possam vir a ser utilizadas para diminuir o risco de sinistros graves em cada segmento, a depender das características das vias, da velocidade real praticada e das características das áreas adjacentes à pista.

Para a elaboração do plano de investimento são necessárias várias informações de entrada no software ViDA, o iRAP apresenta alguns valores padrões, conforme descrito abaixo, porém a metodologia orienta que cada projeto seja avaliado individualmente e que tais parâmetros sejam adaptados à realidade de cada caso:

- Período de análise (anos): o número de anos sobre os quais a economia do Plano de Investimento é calculada. Não se trata da vida útil das contramedidas individuais e o período de análise padrão é de 20 anos, devendo ser adequado de acordo com o projeto;
- Taxa de desconto (%): a taxa de desconto é utilizada para estimar os valores líquidos presentes de custos e benefícios de contramedida. A taxa de desconto é normalmente fixada em 4%, porém isso pode ser ajustado dependendo da prática usual em cada país;
- Taxa mínima de atratividade: a TMA que a autoridade viária considera para o projeto se tornar um bom investimento;
- PIB per capita (atual): valor a ser utilizado para estimar um valor de uma vida para análise econômica, o Produto Interno Bruto (PIB) per capita, em valores atuais, nas moedas locais, geralmente são obtidos a partir de informações do Fundo Monetário Internacional – FMI;

- Valor de uma vida: o valor de uma vida, conforme cálculos utilizados nos países;
- Índice de lesão grave à óbito: número de lesões graves para cada fatalidade; e,
- Critérios de qualificação de contramedidas: geralmente utilizado o critério custo-benefício.

Ao interpretar os resultados da avaliação do iRAP, um plano de investimento é projetado para fornecer melhorias na classificação da via, por meio da avaliação de risco e custo-benefício, considerando 94 contramedidas, cuja implementação ponderará:

- Exame do local das contramedidas propostas, incluindo uma apresentação do tipo de "engenharia de valor", com todas as partes interessadas relevantes;
- Estudos preliminares de investigação das soluções apresentadas; e,
- Avaliação dos custos de construções.

A partir das intervenções disponíveis, o *software* realiza a estimativa de quantos óbitos e feridos graves poderiam ser evitados caso essas intervenções fossem aplicadas. Considerando o valor de uma vida, estabelecido nas configurações do *software*, os dados de óbitos e vítimas com lesões graves evitadas de cada segmento são transformados em valores da moeda local. Esses valores são considerados como um benefício, pois representam uma economia de custos relacionados a tratamentos de saúde e socorro de sinistros, que são comparados com os custos para a realização das intervenções em cada segmento, obtendo-se uma relação custo-benefício, a qual indicará quais intervenções são interessantes financeiramente.

Essas intervenções compõem o PIRMS, que apresenta com detalhes cada intervenção financeiramente viável a ser aplicada, o seu local e custo de aplicação, o total de óbitos e vítimas com lesões graves evitado (*Fatal and Serious Injury - FSI*), o valor a ser economizado e a relação custo-benefício (*Benefit Cost Ratio - BCR*). Com o PIRMS gerado, é possível analisar quais intervenções são prioritárias e realizar um planejamento para a execução destas.

O período de análise para um plano de investimento é o número de anos durante os quais os benefícios econômicos são calculados, o período padrão é de 20 anos, no entanto, isso pode ter sido alterado durante a configuração do conjunto de dados. No caso de estudos para novas concessões esse período deve ser adequado ao prazo total do contrato de concessão que equivale a 30 anos.

i. *Fator de Calibração Fatalities and Serious Injuries – FSI*

Os fatores de calibração são usados para estimar o número total de fatalidades e lesões graves (FSI) na rede, a metodologia iRAP leva em conta fatores que influenciam o número de fatalidades em uma via, tais como: infraestrutura, velocidade e volumes de tráfegos.

Se duas vias em países diferentes tiverem exatamente o mesmo projeto, velocidades de operação e volume de tráfego, então a classificação por estrelas para ocupantes de veículo seria a mesma. No entanto, mesmo que a infraestrutura seja a mesma, o contexto de segurança viária pode variar significativamente entre países, regiões e até cidades por diversas razões, tais como:

- Recursos de segurança do veículo: *airbags*, design estrutural avançado, controle dinâmico de estabilidade etc.;
- Comportamento do motorista: educação e treinamento, dirigir alcoolizado, cinto de segurança, adesão às regras da via; e,
- Leis e fiscalização locais: capacetes para motocicleta obrigatórios e aplicação de regras viárias.

Como resultado desses fatores, pode haver resultados de fatalidade muito diferentes, logo, ajustar a metodologia a estas condições locais é fundamental para aproximar da realidade e, é para isso que surge o FSI.

Para a calibração do modelo, quanto ao FSI, existem duas etapas, a primeira é especificar o número de fatalidades na rede viária e a segunda é detalhar essas fatalidades por tipo de usuário da via e tipo de colisão.

A estimativa de fatalidades e lesões graves é utilizada nos PIRMS para avaliar os benefícios e os custos da implementação de contramedidas de segurança da infraestrutura em uma via. As estimativas da FSI são feitas para cada segmento de 100 metros da via existente nas condições reais, para inserir o FSI no ViDA são fornecidas duas possibilidades, a primeira criando o próprio conjunto de dados para o projeto e a segunda importando as informações de uma base de dados já existente. É relevante destacar a importância do FSI para os PIRMS, pois ele influencia diretamente no cálculo dos benefícios e custos que definirão as contramedidas.

Importante registrar que, para compilação, é obrigatória a informação do FSI, e a metodologia permite que, caso não se tenha a base de dados, a equipe técnica possa arbitrar o valor para calibrar o modelo, podendo inclusive serem utilizados fatores de calibração para redes viárias semelhantes. O manual do ViDA (2021) ainda registra que, se bons dados de fatalidade estiverem disponíveis para cada via, tipo de via ou área, pode-se criar conjuntos de dados que permitam que cada tipologia seja calibrada com os respectivos dados de fatalidade. Entretanto, gerenciar vários conjuntos de dados com informações de fatalidade a nível individual é complexo e, por isso, recomenda-se que essa abordagem seja adotada com cautela.

As informações sobre fatalidade geralmente são fornecidas pelas autoridades viárias, no Brasil, por exemplo, temos informações uma base nacional da PRF e da SENATRAN, bases estaduais, como as bases dos DETRAN e por fim, bases originárias de órgãos municipais. Entretanto, verifica-se que para muitas localidades, os dados sobre sinistros e lesões não estejam disponíveis ou não apresentem a confiabilidade necessária. Os manuais do iRAP registram que nesses casos podem ser realizadas estimativas. Essas estimativas muitas vezes requerem muita especialidade e experiência em segurança viária da equipe técnica do projeto, o iRAP (2021) recomendado que para estas estimativas sejam considerados:

- Taxas de fatalidade, idealmente fatalidades por quilômetro de veículo percorrido em vias que possuem projetos e uso semelhantes aos que estão sendo avaliados;
- Métricas de segurança relatadas em relatório de organizações mundiais, por exemplo da ONU; e,
- Fontes não oficiais, como artigos de pesquisa, reportagem de mídia, conhecimento local de planejadores e engenheiros de autoridades viárias, polícia, acadêmicos e comunidades locais.

#### *ii. Contramedidas e Custos*

Conforme já citado, um plano de investimento é uma lista priorizada de contramedidas, tratamentos de segurança, que podem melhorar as classificações por estrelas e reduzir os riscos relacionados à infraestrutura.

A metodologia iRAP atenta para o fato de que as contramedidas identificadas nos planos de investimento fornecem um ponto de partida para uma investigação inicial, entretanto, critérios



de engenharia devem ser utilizados para verificação do resultado, ou seja, se a contramedida apresentada é apropriada para a situação observada (IRAP, 2021). Destaca também que as contramedidas selecionadas sejam projetadas e construídas de acordo com as normas de projetos e melhores práticas construtivas.

A metodologia iRAP apresenta 94 opções de contramedidas que são aplicadas conforme a relação custo-benefício de sua implantação, de forma resumida, podem ser agregadas conforme a magnitude de intervenção (RODRIGUES *et al.*, 2018):

- a) Baixa: faixa central exclusiva, faixa central com vibradores, linhas de divisão de fluxos opostos, giro protegido semaforizado ou não, implantação de ciclofaixa na via, travessia não semaforizada, caminho para pedestres sem segregação, melhorias de canalização e delimitação de interseções, melhoria de delimitação geral, entre outras. De forma geral, tem-se várias intervenções de baixo custo voltadas, especificamente, para modos não motorizados (pedestres e ciclistas) e, em minoria, para veículos motorizados. A efetividade média dessas contramedidas varia de 17,5% a 50%. A efetividade média refere-se à capacidade de uma medida ou intervenção em alcançar os resultados esperados em diferentes contextos. Nesse caso, indica o percentual de redução de sinistros ou lesões no trânsito fornecido pelas contramedidas comprovadas;
- b) Média: implantação de sentido único, segregação física de sentido, faixa larga, faixa exclusiva e não exclusiva para motos, acostamento pavimentado, defesa metálica, retirada de perigos laterais, melhoria de inclinação de talude, rotatória, superfícies viárias, interseção semaforizadas, tratamento de cruzamento ferroviário, tratamentos de retorno em canteiro central, implantação de ciclovia, iluminação pública, entre outras. A maioria das contramedidas possuem uma efetividade média de 32,5%;
- c) Grande: realinhamento horizontal e vertical, duplicação de canteiro, duplicação com separação por barreira, via marginal, faixa adicional com barreira, faixa adicional de ultrapassagem, separação de nível, implantação de passarela, entre outros. Resumidamente, as intervenções de maior magnitude são duplicações, construção de marginais, viadutos, passarelas e regularização de acessos. A maioria destas possui efetividade média de 32,5%, com exceção de realinhamento vertical e implantação de passarelas.

É importante registrar que a categorização de magnitude e eficácia são fornecidas pelo Kit de Ferramentas de Segurança Rodoviária disponível em Toolkit (2022).

Ao avaliar as 94 contramedidas, Rodrigues *et al.* (2108) verificou que muitas delas se repetem, mudando somente o lado da via (esquerdo e direito) ou o tipo de via/local para qual são recomendadas, de forma que, eliminando as repetições, o total de propostas pelo iRAP somam cerca de 50 contramedidas. A lista das contramedidas pode ser consultada no APÊNDICE B – LISTA DE CONTRAMEDIDAS.

Por fim, a inclusão de referências recentes enriqueceu a fundamentação teórica, alinhando a pesquisa às práticas e metodologias mais modernas, especialmente em relação à aplicação da metodologia iRAP em cenários variados. Essa atualização contribuiu significativamente para a profundidade da dissertação, consolidando uma base sólida para a análise crítica e prática das questões relacionadas à segurança viária e à implementação de contramedidas práticas

Para a avaliação da eficácia foram utilizados os conceitos de *Crash Reduction Factor (CRF)* e *Crash Modification Factor (CMF)*. Um CMF é um fator multiplicativo usado para calcular o número esperado de falhas após a implementação de uma determinada contramedida em um local específico (IRAP, 2021), por exemplo, um cruzamento sofre 100 colisões em ângulo e 500 colisões traseiras por ano, se for aplicada uma contramedida com CMF de 0,80 para colisões em ângulo, espera-se então 80 colisões em ângulo por ano após a implementação da contramedida ( $100 \times 0,80 = 80$ ). Se a mesma contramedida também tiver um CMF de 1,10 para colisões traseiras, espera-se o total de 550 colisões traseiras por ano após a contramedida ( $500 \times 1,10 = 550$ ).

A principal diferença entre o CRF e o CMF é que o CRF fornece uma estimativa percentual de redução, enquanto o CMF é um fator multiplicativo usado para calcular o número esperado de determinado sinistro após a implementação de uma determinada contramedida (CMF, 2022), ou seja, matematicamente:  $CMF = [1 - (CRF/100)]$ . Por exemplo, espera-se que uma contramedida específica reduza o número de falhas em 23% (ou seja, o CRF é 23), o CMF será  $[1 - (23/100) = 0,77]$ . Por outro lado, se for esperado que o tratamento aumente o número de sinistros em 23% (ou seja, o CRF é -23), o CMF será  $[1 - (-23/100) = 1,23]$ .

Segundo iRAP (2021), um CMF representa a redução esperada a longo prazo em sinistros e esta estimativa é baseada na experiência de sinistros em um número limitado de locais de estudo; a redução real pode variar.

O processo utilizado para selecionar medidas em um trecho de 100 metros de uma rodovia é o seguinte (iRAP, 2021):

- i. Todos os fatores relacionados a cada medida são testados, qualquer medida que não for possível implementar deixa de ser considerada;
- ii. Para cada medida é calculado o número de vítimas fatais ou graves que poderia ser prevenido, caso ela fosse implementada, isto é, sem contar outras medidas implementadas ao mesmo tempo;
- iii. Cada medida é testada quanto a sua relação custo-benefício, sendo que ela deve exceder o limite definido pela equipe de análise, qualquer medida que não satisfizer o limite deixa de ser considerada;
- iv. Todas as medidas devem obedecer às regras de distância, espaço mínimo e hierarquia, qualquer medida que não satisfizer essas regras deixa de ser considerada;
- v. O impacto de todas as medidas viáveis é determinado para um trecho de 100 metros e com o cálculo do número de vítimas fatais e graves depois que todas as medidas viáveis foram implementadas para todos os tipos de sinistros; e,
- vi. O número total de vítimas fatais e graves prevenido pela implementação de uma determinada medida no local é posteriormente ajustado, levando em conta diversas medidas que afetam um mesmo tipo de sinistro. Após a conclusão do processo de seleção das medidas, é realizada uma análise econômica final de todas as medidas selecionadas para todas as rodovias.

Um importante aspecto relacionado às contramedidas refere-se aos custos. Tanto os custos quanto a vida útil das contramedidas variam de país para país, podendo inclusive diferir entre regiões e estados do mesmo país, pois os custos dependem basicamente dos custos dos materiais de execução, de mão-de-obra e dentre outros componentes. O ideal é que esses dados sejam fornecidos pelas autoridades ou órgãos públicos competentes. Entretanto, caso não existam sistemas padronizados, pode-se utilizar outras bases, desde que devidamente justificadas e aceitas pelo contratante. Também pode-se fazer estimativas por meio da aplicação de fatores de correção de preços que reflete as taxas de crescimento históricas e/ou as previsões de mudanças

nos preços. De toda forma, os custos devem ser amplamente debatidos pela equipe técnica responsável, utilizando-se muitas vezes da experiência dos técnicos para definir a melhor base de custos a ser empregada.

Para entrada dos custos das contramedidas é necessário preparar um arquivo de *upload*, com os requisitos necessários, tais como: localização, tipo da área (urbano e rural), lista de contramedidas para posterior investigação, vida útil, custos (construção, manutenção e operação, quando for o caso), prazos de análise e outras variáveis econômicas.

Para a definição de um plano de investimento, visando auxiliar as autoridades no planejamento de implementação do projeto iRAP, as contramedidas precisam ser avaliadas quanto aos prazos de construção e cronograma físico-financeiro. Para tal, o iRAP realizou uma classificação das contramedidas, conforme Figura 2.19.

Categoria	Descrição	Tempo de espera	Exemplo de Contramedidas
A	Contramedidas para implantação imediata por região/distrito como parte da manutenção de rotina.	Imediato	Delineamento Melhoria da superfície da via Qualidade da travessia de pedestres Distância de visibilidade
B	Contramedidas que requerem obras, não agregam capacidade e que podem ser definidas por diagramas simples e seções de travessias, e podem ser financiadas pelo orçamento anual das obras de capital.	1 ano	Acostamentos pavimentados Calçadas Travessias de pedestres Ciclovias
C	Contramedidas que requerem obras, não agregam capacidade e que requerem projeto detalhado e/ou levantamento topográfico e podem ser financiadas pelo orçamento anual das obras de capital.	2-5 anos	Melhorias na intersecção Alinhamento horizontal
D	Contramedidas que requerem obras, agregam capacidade, exigem projeto detalhado e levantamento topográfico, coordenação com planejamento e apoio financeiro significativo.	5-10 anos	Duplicação Separação em nível das intersecções

**Figura 2.19** Exemplo de Categorização de Contramedidas Para o Estágio da Construção  
Fonte: iRAP, 2021.

O PIRMS traz intervenções ao longo do prazo de implementação do projeto, logo as contramedidas não são implantadas de uma só vez, elas são diluídas ao longo do cronograma do projeto, para tanto a metodologia prevê alguns gatilhos para que a contramedida seja implantada. Os gatilhos são baseados em boas práticas internacionais e dependem de algumas variáveis da via e das características das contramedidas, o ViDA mostra os gatilhos para cada

contramedida, permitindo analisá-los caso a caso, sendo recomendado que, quando a contramedida for acionada, deve-se fazer nova avaliação para verificar se permanece as condições de contorno originais permanecem as mesmas.

### *iii. Base de cálculo do PIRMS*

Como forma de ponderar a necessidade da implementação das contramedidas, a metodologia utiliza a Relação Custo-Benefício (BCR) que é a relação entre o Valor Presente (VP) dos benefícios e dos custos. O VP dos benefícios é obtido avaliando a redução dos casos de óbitos e sinistros na rodovia e está relacionado ao valor de uma vida. Todos esses indicadores e cálculos são realizados no próprio ViDA.

O campo “valor de uma vida” pode ser especificado a partir de dados particulares do país ou região, ou ser calculado pela multiplicação entre o PIB (Produto Interno Bruto) per capita e o coeficiente do valor de uma vida. No caso de aplicação para o projeto, os valores de custos de sinistros, que são relativos à calibração do valor da vida e das lesões graves, podem ser obtidos com base metodologia sugerida pelo IRAP, que leva em consideração o PIB do estado.

O campo “taxa de desconto” se refere à taxa mínima de atratividade (TMA) do projeto e é utilizada para o cálculo do valor presente do benefício das mortes e vítimas graves que serão evitadas durante os 30 anos de projeto. A taxa padrão sugerida pelo iRAP é de 4%, na falta de dados oficiais do país.

O “critério de qualificação” das intervenções que serão consideradas para aplicação é o BCR. Para a definição do BCR, é necessário configurar o valor de qualificação, que indica quantas vezes o valor presente do benefício financeiro de vidas salvas e redução nas fatalidades graves deve ser superior aos custos de uma intervenção para sua aplicação. O valor de qualificação padrão é de 2, de modo que se obtenha a maior gama de contramedidas para melhoria dos trechos.

### *iv. Ajustes no PIRMS*

Os ajustes em um plano de investimento, ocasionados pelas análises de projetos e cenários, fornecem alternativas importantes para a avaliação dos gestores e ainda permitem personalizar algumas características para atender outros requisitos do cliente ou ao contexto da avaliação da

via, por exemplo, adequação ao orçamento do projeto e/ou contramedidas, características de determinado programa de segurança viária (metas de redução de número e severidade dos sinistros, metas de classificação por estrelas, período de retorno dos investimentos, prazos de construção, etc.), facilidade de implementação das contramedidas, dentre outras avaliações ou condições de contorno.

Esses ajustes podem permitir a avaliação das contramedidas para um programa de manutenção da via como, por exemplo, ajustar as contramedidas no escopo de um projeto de melhorar manutenção como: pequenas correções de traçado e curvas, sinalização horizontal e vertical, reabilitação do pavimento, aumentar a distância de visibilidade por meio de remoção de obstruções e reparos e obras de drenagens.

Para a estruturação de um projeto de concessão de rodovia, se poderá ajustar o PIRMS ao Programa de Exploração Rodoviária – PER e assim os investimentos em segurança viária originárias do iRAP se concatenarem às diretrizes de Políticas Públicas que definem os ciclos de investimentos do futuro contrato de concessão.

Por fim, a última fase do iRAP envolve o monitoramento contínuo das rodovias após a implementação das contramedidas. Novas inspeções são realizadas para verificar a redução nos sinistros e fatalidades, permitindo ajustes nas intervenções conforme necessário. O acompanhamento ao longo do tempo garante que as rodovias mantenham ou melhorem suas classificações por estrelas, e novas contramedidas podem ser aplicadas se os resultados esperados não forem atingidos. Grzebieta e Rechnitzer (2014) afirma que essa fase assegura a sustentabilidade dos investimentos em segurança rodoviária. Mais uma vez destaca-se que no Brasil ainda não é possível avaliar os resultados de um PIRMS porque o país ainda não implementou um projeto completo considerando toda a metodologia iRAP.

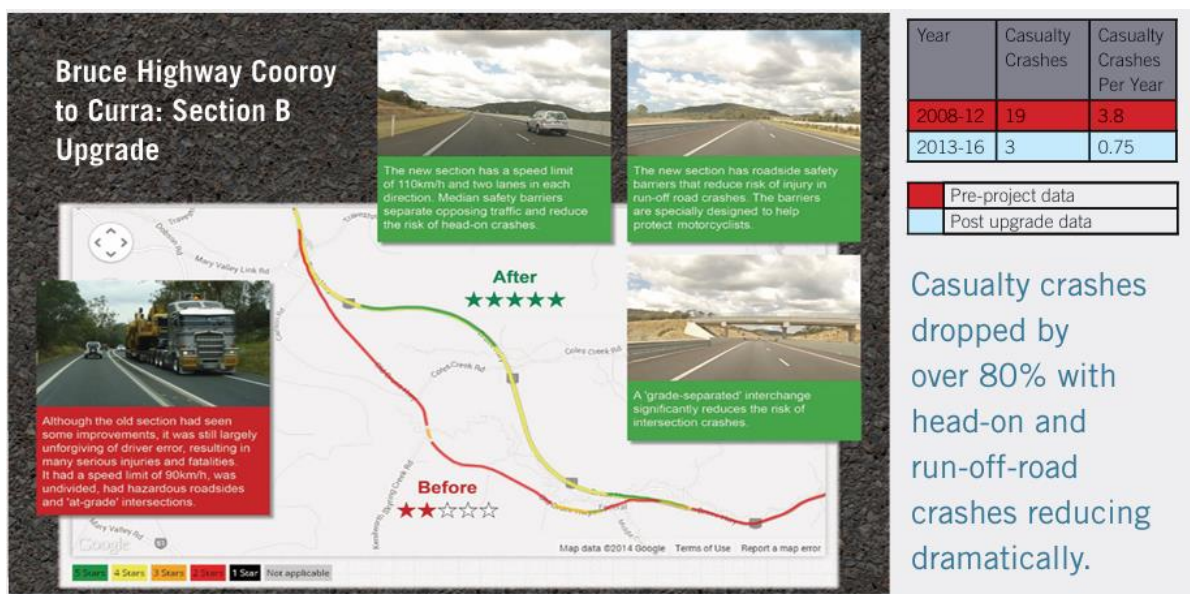
#### **2.3.4 Aplicações Globais**

O iRAP (2024) tem sido implementado em mais de 100 países, gerando impactos significativos na segurança viária global. Países como Austrália, Reino Unido, Índia e Brasil são exemplos de nações que adotaram a metodologia iRAP em larga escala. Em 2020, na Ásia e Oceania, a metodologia estava sendo aplicada, ou já havia sido concluída, em países como Malásia, Vietnã, China, Filipinas, Cingapura, Austrália e Nova Zelândia (MCLNERNEY, 2020). Na Austrália,

a aplicação da metodologia resultou na melhoria da classificação por estrelas em diversas rodovias, reduzindo significativamente o número de sinistros fatais.

Diversos estudos de caso demonstram a eficácia do iRAP em diferentes contextos. Na Malásia, por exemplo, uma requalificação de uma rodovia com alto índice de sinistros, baseada no PIRMS, resultou em uma melhoria de até 50% na segurança da via, aumentando a classificação para três estrelas e reduzindo as fatalidades em 35% no primeiro ano de operação. Já na Colômbia, o iRAP foi crucial para melhorar a infraestrutura de rodovias rurais, resultando na implementação de contramedidas que salvaram milhares de vidas (TOOLKIT, 2022).

No Bruce Highway em Queensland, Austrália, o trecho entre Cooroy e Curra era anteriormente uma das rodovias mais perigosas do país, com uma classificação de segurança de 2 estrelas, após um projeto de melhoria iniciado em 2009, com um investimento de mais de AUD 1,43 bilhão, a segurança da rodovia foi significativamente melhorada, com a classificação subindo para 4 e 5 estrelas, conforme demonstrado na Figura 2.20.



**Figura 2.20** Exemplo do Estudo de Caso Bruce Highway  
Fonte: Toolkit, 2022.

O resultado foi uma redução de 82% nas fatalidades e lesões graves em três anos após a conclusão do projeto, demonstrando o impacto positivo das intervenções baseadas na metodologia iRAP que incluíam duplicação da rodovia, instalação de barreiras de proteção para motociclistas e a substituição de interseções por interseções em desnível.

Em Belize, o corredor rodoviário de 80 km entre Belize City e Belmopan era responsável por quase metade das mortes nas rodovias do país. Em 2010, o governo de Belize, em parceria com o Banco de Desenvolvimento do Caribe, lançou um projeto de segurança viária com base nas recomendações do iRAP.

A rodovia, que inicialmente tinha apenas 5% de seu trecho classificado como 3 estrelas ou mais, passou a ter 100% de sua extensão com no mínimo essa classificação. As fatalidades no corredor caíram de 33 para uma média de 8 por ano, representando uma redução de 38% nas mortes em todo o país desde o início do projeto. O sucesso do projeto levou à sua replicação em outras rodovias de Belize.

Além da aplicação real, alguns estudos têm demonstrado que o iRAP contribui para a segurança viária. Beltran *et al.* (2014) avaliou um caso de trecho de rodovia federal, Maravatío-Zapotlanejo (Mex-15D), entre o km 202+000 e o km 240+000, a noroeste da cidade de Morelia e concluiu que a metodologia iRAP contribui para tornar as vias mais seguras e que o sistema ViDA é uma ferramenta que agiliza e torna mais eficiente a aplicação dos protocolos da metodologia. Ramiez *et al.* (2021) ao avaliar a metodologia para trechos de pista dupla na província de Loja y Zamora Chinchipe no Equador, verificou que, apesar de contar com muitas variáveis, é possível aplicar o iRAP em estradas de duas pistas e em terreno montanhoso e que pode ser usado como ferramenta de planejamento para planos de redução de sinistros.

No Reino Unido, o uso do iRAP em contratos de concessão de rodovias resultou em uma redução de mais de 30% nos sinistros graves em algumas rodovias de alta circulação (iRAP, 2024). Estudo desenvolvido em rodovias na Itália mostraram aderência do iRAP ao risco observado na estrada e que os planos de investimentos contribuem para o aumento da segurança viária (DAIDONE *et al.*, 2022). O estudo revelou que, na Itália, a velocidade em vias de alto desempenho pode dificultar o cumprimento das metas globais de classificação por estrelas, apesar de serem seguras. Sugeriu-se que o iRAP inclua elementos de segurança específicos para essas rodovias na codificação.

Neste sentido, apesar de ser uma metodologia de ampla aplicação e de utilização bastante intuitiva, deve-se utilizá-la com as devidas precauções. Outro exemplo de ressalva é que a metodologia considera principalmente a infraestrutura da rodovia e estudos demonstram que a segurança viária é uma interação complexa entre usuários, vias e veículos muitos sinistros são

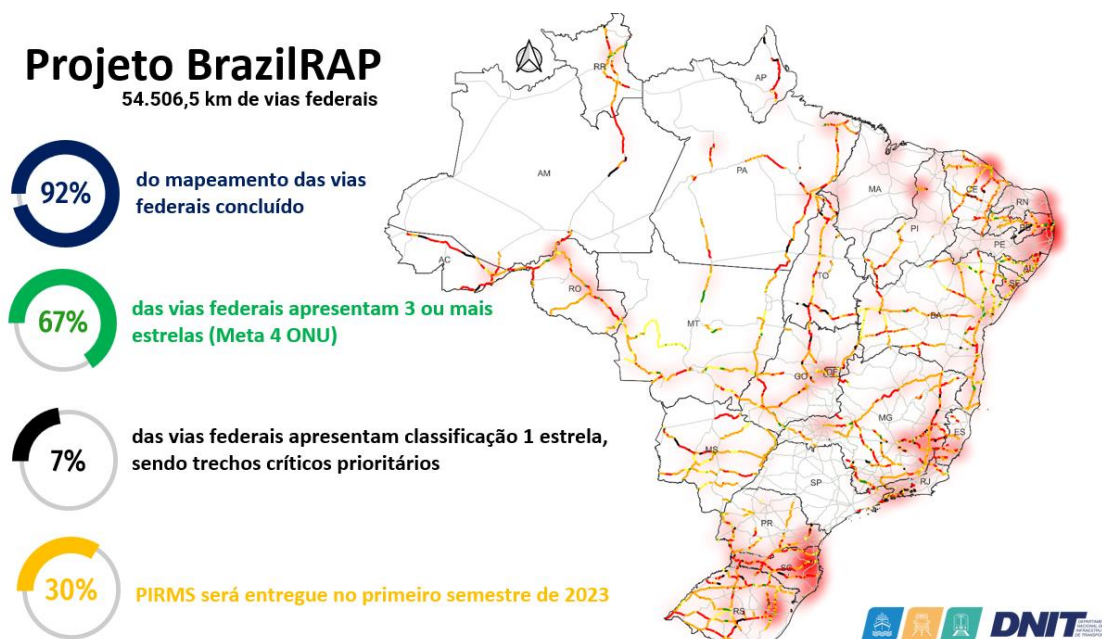


causados por falhas comportamentais e até mesmo falhas veiculares (PIANEZZER, 2021) e esses fatores não são considerados diretamente na metodologia.

Estudos apontaram que a maior parte das causas de sinistros nas rodovias federais do Brasil teve relação com o comportamento do condutor, tais como, velocidade incompatível, falta de atenção, não guardar distância de segurança, desobediência a sinalização, sonolência, ingestão de álcool e ultrapassagem indevida (SOARES *et al.*, 2018). Outros trabalhos também demonstram limitações à aplicação da metodologia para casos com escassez de dados sobre sinistros (JUNIRMAN & DIXIT, 2017).

Outro ponto importante para a aplicação do iRAP é a precisão das informações dos sinistros e das entradas no sistema ViDA, tais como dados vinculados à inspeção e codificação dos tributos (BELTRAN *et al.*, 2014).

No Brasil, a metodologia iRAP tem se destacado por meio do programa BrazilRAP, coordenado pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). Em 2023, o órgão atingiu um marco importante para a segurança viária, classificando por estrelas 54.500 km de rodovias federais pavimentadas, conforme mostrado na Figura 2.21 (iRAP, 2023).



**Figura 2.21** Panorama BrazilRAP

Fonte: iRAP, 2023.

Apesar da classificação de 67% das rodovias federais pavimentadas no Brasil como 3 estrelas ou melhor para ocupantes de veículos, o país ainda tem desafios a superar para alcançar a meta estabelecida pela ONU (2017) na Década de Ação pela Segurança no Trânsito, que busca garantir que 75% das viagens sejam realizadas em rodovias com essa classificação até 2030.

Para rodovias federais concedidas a Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), está incentivando as concessionárias a realizarem a classificação das rodovias utilizando iRAP e assim desenvolver planos de redução de sinistros e fatalidades, melhoria a classificação no SRS, objetivando o atingimento das metas globais.

Para alcançar esse objetivo, é fundamental que o Brasil intensifique seus esforços na implementação das contramedidas recomendadas pelo iRAP, priorizando investimentos estratégicos em infraestrutura viária que possam elevar o padrão de segurança. O compromisso contínuo com a melhoria das rodovias, combinado com uma gestão eficaz dos recursos e o monitoramento constante do progresso, será essencial para garantir que as metas globais de segurança no trânsito sejam alcançadas, salvando vidas e promovendo um transporte mais seguro e sustentável para todos os usuários.

Visando aumentar a segurança das vias, outras ferramentas podem ser utilizadas, inclusive complementarmente ao iRAP, tais como a Auditoria em Segurança Viária, que é uma avaliação formal do desempenho da segurança viária da rodovia, projetada ou via existente, em que uma equipe independente multidisciplinar, por meio de um processo formal, usando um procedimento definido, avalia os fatores que contribuem para a ocorrência de sinistros, ou aqueles que podem aumentar sua severidade (AUSTROADS, 2022).

## **2.4 CONCESSÕES RODOVIÁRIAS NO BRASIL**

A implementação das concessões rodoviárias no Brasil foi uma resposta às dificuldades do governo em manter e expandir a malha viária, especialmente diante da escassez de recursos públicos. Desde a década de 1990, as concessões se consolidaram como uma solução viável para captar investimentos privados, essenciais para a manutenção e modernização das rodovias. Esse modelo de parceria público-privada permite que empresas privadas assumam a gestão, operação e manutenção de rodovias em troca da cobrança de pedágios, proporcionando ao governo uma alternativa eficiente para enfrentar os desafios de infraestrutura.

O Programa de Concessões de Rodovias Federais (PROCROFE) foi criado pelo Decreto nº 94.002 (BRASIL, 1987), onde o Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER) ficou autorizado a contratar mediante concessão, a construção, conservação e exploração de rodovias federais, ou seja, foi autorizada a transferência da gestão e da operação de rodovias federais à iniciativa privada objetivando aumentar a qualidade da malha rodoviária nacional e, conseqüentemente, melhorar a segurança viária, a fluidez do tráfego e o desenvolvimento econômico do país.

Para tal, o DNER se valeria de contratos de longa duração, permitindo o financiamento de obras de melhoria e manutenção mediante a cobrança de pedágios. Essa estratégia permitiu que rodovias de alta relevância econômica, como as BR-116 e BR-101, fossem modernizadas com investimentos privados, aliviando o setor público e melhorando a infraestrutura nacional (ANTT, 2024).

Desde então, o número de rodovias sob regime de concessão tem crescido significativamente. Segundo dados da ANTT, mais de 14 mil km de rodovias estão atualmente concedidos à iniciativa privada. Esse modelo tem sido eficaz em promover a melhoria da infraestrutura, com rodovias mais seguras, mais bem sinalizadas e com manutenção contínua, o que impacta diretamente a redução do número de sinistros (ANTT, 2024).

Embora o modelo de concessão tenha trazido melhorias notáveis para a infraestrutura rodoviária, ele também apresenta desafios. Um dos principais pontos de crítica é a tarifa de pedágio, que gera insatisfação entre os usuários, especialmente em trechos onde a manutenção ou melhorias não são percebidas de forma significativa. Além disso, muitos contratos iniciais de concessão foram criticados por falhas na inclusão de critérios rigorosos de segurança viária, focando apenas em questões de capacidade e fluidez do tráfego.

Neste contexto, é necessário compreender o processo de concessões rodoviárias no Brasil segue um conjunto estruturado de fases e é coordenado pela ANTT em parceria com o Programa de Parcerias de Investimentos (PPI). Esse modelo visa atrair investimentos privados para a manutenção, operação, e melhoria das rodovias, trazendo mais eficiência na aplicação de recursos e reduzindo os custos para os cofres públicos.

As fases de um processo de estruturação de um estudo de concessão seguem a seguinte estrutura:

- a) **Qualificação do Projeto:** O primeiro passo envolve a inclusão do projeto rodoviário no portfólio do PPI, que prioriza quais trechos serão concedidos com base em sua relevância econômica, impacto social, e potencial de atratividade para investidores. O PPI e o Ministério dos Transportes definem as diretrizes estratégicas e políticas para a estruturação e implementação dos projetos de concessão.
- b) **Estudos de Viabilidade:** Após a qualificação, são realizados estudos de viabilidade técnica, econômica e financeira. Esses estudos são conduzidos pela ANTT, pelo Ministério dos Transportes (definidor de políticas públicas), Infra S.A. e consultores externos. A análise inclui a projeção de custos de investimentos (*Capital Expenditure – CAPEX*), custos operacionais (*Operational Expenditure – OPEX*), além da estimativa de fluxo de veículos e o potencial de receita com pedágios.
- c) **Modelagem Econômico-Financeira:** Um dos aspectos mais importantes da viabilidade é a modelagem econômico-financeira, que busca garantir o equilíbrio entre a atratividade para investidores e a manutenção de tarifas justas para os usuários. A modelagem considera o volume de tráfego esperado, a necessidade de melhorias estruturais e os serviços a serem oferecidos ao longo do contrato, como manutenção, operação e ampliação da capacidade da rodovia.
- d) **Licitação e Assinatura do Contrato:** Uma vez aprovados os estudos, o projeto é submetido à licitação pública, onde concessionárias interessadas apresentam suas propostas. O processo de licitação é regido por regras de transparência e competitividade, sendo que o vencedor assume a responsabilidade pela gestão da rodovia por um período de 25 a 30 anos.
- e) **Execução do Contrato e Monitoramento:** Após a assinatura, a concessionária é responsável pela execução das melhorias previstas e pela operação da rodovia. A ANTT, por meio de sua Superintendência finalística responsável, monitora o cumprimento dos termos contratuais, incluindo os requisitos de segurança viária e qualidade dos serviços prestados aos usuários.

Embora o modelo de concessão de rodovias no Brasil seja bem estruturado, ele enfrenta desafios em todas as fases, desde a pré-viabilidade até a execução contratual. A etapa de pré-viabilidade é fundamental para avaliar aspectos técnicos, econômicos e financeiros dos trechos a serem concedidos. Essa análise orienta decisões estratégicas, como a configuração dos lotes, buscando equilibrar viabilidade técnica e atratividade econômica.

A modelagem econômico-financeira é essencial nesse processo, utilizando projeções de fluxo de caixa descontado para calcular a rentabilidade, considerando custos de investimento (CAPEX) e operacionais (OPEX) ao longo do período de concessão, que geralmente varia de 25 a 30 anos. Para atrair investidores, trechos menos rentáveis são frequentemente agrupados com mais lucrativos, criando lotes mais competitivos.

Além disso, a concessão exige atenção às variáveis externas, como mudanças regulatórias, oscilações econômicas e previsões de tráfego, que podem impactar diretamente os resultados financeiros e operacionais. A inclusão de cláusulas de reequilíbrio e revisões contratuais é indispensável para mitigar riscos e assegurar a sustentabilidade do modelo de concessão. Essa abordagem integrada busca não apenas garantir a viabilidade econômica, mas também promover melhorias na infraestrutura e na segurança viária, beneficiando os usuários e a sociedade como um todo.

Neste contexto, a segurança viária vem tornando-se um fator cada vez mais relevante na estruturação de novos contratos de concessão no Brasil. A inclusão de metas de melhoria da classificação por estrelas, de acordo com a metodologia iRAP, é um avanço que visa garantir que as concessionárias invistam continuamente em medidas de segurança, como a instalação de barreiras de proteção, sonorizadores, faixas de alerta e melhoria da geometria viária.

Alguns contratos de concessão rodoviária incluem metas para alcançar um padrão mínimo de 3 estrelas segundo a metodologia iRAP, com o compromisso de melhorar continuamente ao longo da concessão. As ações envolvem desde intervenções físicas, como instalação de defensas e melhoria da sinalização, até inovações tecnológicas, como sistemas avançados de monitoramento e gestão de tráfego em tempo real, que auxiliam na prevenção de sinistros.

A incorporação da metodologia iRAP nos contratos reflete uma tendência crescente em países como o Brasil. Ao incluir critérios rigorosos de segurança viária, as concessionárias assumem

a responsabilidade de manter e elevar os padrões de segurança. Isso exige a aplicação das medidas propostas pelos Planos de Investimento para Vias Mais Seguras (PIRMS) e investimentos contínuos em infraestrutura e tecnologia.

Essa abordagem alinha-se às metas globais de redução de mortes e sinistros no trânsito, promovendo rodovias mais seguras e eficientes. Além disso, incentiva a transparência e a responsabilidade das concessionárias, beneficiando tanto os usuários quanto a sociedade, ao priorizar a segurança como elemento essencial nos contratos de concessão.

## **2.5 TESTE ESTATÍSTICO QUI-QUADRADO DE PEARSON**

Na análise de dados de sinistros rodoviários, a utilização de testes estatísticos é essencial para medir a eficácia de intervenções de segurança, como barreiras, sinalização e melhoria na geometria das vias. Esses testes fornecem uma base quantitativa para validar se as melhorias implementadas impactam significativamente a redução dos sinistros.

Dentre os testes mais comuns estão o Teste Qui-Quadrado de Pearson, o Teste t de Student e a Análise de Variância (ANOVA). A escolha do teste depende da natureza dos dados e do tipo de variável que está sendo analisada, seja ela categórica, contínua ou ordinal (BARBETTA, 2017).

Essas ferramentas estatísticas não apenas validam a eficácia das intervenções, mas também orientam políticas públicas e decisões estratégicas, proporcionando uma base científica para a alocação de recursos e priorização de ações. A análise detalhada e o uso adequado desses testes garantem contribuem para que as medidas implementadas sejam eficazes e respaldadas por evidências robustas, contribuindo para a redução de sinistros e para a melhoria contínua da segurança viária.

O Teste Qui-Quadrado de Pearson é amplamente utilizado para variáveis categóricas, ajudando a determinar se diferenças observadas, como a frequência de sinistros, são estatisticamente significativas, o teste se destaca pela sua simplicidade e eficácia ao lidar com variáveis categóricas (BARBETTA, 2017), como aquelas envolvidas na avaliação das intervenções viárias recomendadas pelo iRAP.

Em estudos rodoviários, o Teste Qui-Quadrado tem sido usado em diversos contextos. Por exemplo, pode-se aplicar o teste em um estudo "antes e depois", analisando os dados de sinistros de uma rodovia antes da concessão e após a implementação das melhorias previstas em contrato. Se as melhorias implementadas resultarem em uma redução significativa de sinistros, o teste revelará uma associação estatística entre as variáveis, confirmando a efetividade das ações adotadas (HAUER, 1997).

Este teste permite determinar se há uma diferença significativa entre as frequências observadas (número de sinistros após as intervenções) e as frequências esperadas (número de sinistros caso não houvesse intervenção) (AGRESTI, 2007). A hipótese nula ( $H_0$ ) do teste afirma que não há diferença significativa entre as variáveis analisadas, ou seja, as intervenções não tiveram impacto. A hipótese alternativa ( $H_1$ ), por outro lado, sugere que há uma associação significativa, indicando que as melhorias feitas na infraestrutura rodoviária influenciaram positivamente a redução de sinistros.

Bland e Altman (1997) discutem que, ao comparar as frequências de sinistros em diferentes categorias, o Teste Qui-Quadrado pode revelar se as intervenções nas rodovias, como melhorias geométricas ou a instalação de sonorizadores, influenciam diretamente na diminuição de sinistros.

Outro aspecto importante discutido por Montella (2010) é o uso do Teste Qui-Quadrado para identificar áreas críticas de sinistros ou "*hotspots*" ao longo de uma rodovia. A análise estatística pode ser aplicada para verificar se essas áreas críticas apresentam uma redução significativa de sinistros após a implementação de medidas específicas, como barreiras de proteção ou melhor sinalização.

A metodologia iRAP, ao fornecer contramedidas para intervenções de segurança, pode ser avaliada com a aplicação do Teste Qui-Quadrado de forma a mensurar a eficácia dessas ações. Ao correlacionar as melhorias estruturais e operacionais com a previsão do número e da severidade dos sinistros, o Teste Qui-Quadrado de Pearson oferece uma base empírica sólida para justificar a continuidade e expansão das intervenções em rodovias concedidas (AGRESTI, 2007; HAUER, 1997; MONTELLA, 2010).

### 3 METODOLOGIA

A metodologia da pesquisa foi estruturada em cinco fases principais: (1) revisão bibliográfica sobre segurança viária, uma análise abrangente da literatura existente para fundamentar e delinear o estudo; (2) pesquisa e compreensão da metodologia iRAP, investigando seus princípios, critérios e aplicações práticas; (3) análise do iRAP em um estudo de concessões de rodovias no Paraná; 4) teste de Qui-Quadrado de Pearson para avaliação da correlação entre a classificação de riscos nas rodovias pela metodologia iRAP e a ocorrência de sinistros de trânsito; e (5) relação de custo-benefício da aplicação dos investimentos da metodologia iRAP em um Programa de Exploração de Rodovias (PER). O fluxograma, apresentado na Figura 3.1, resume as etapas metodológicas.



**Figura 3.1** Fluxograma da Metodologia

#### 3.1 DELINEAMENTO DO ESTUDO

Alicerçando-se como a espinha dorsal de qualquer empreendimento científico, a revisão bibliográfica desempenha um papel crucial, exigindo não apenas compreensão, mas também uma abordagem metodológica cuidadosa e uma pesquisa meticulosa.

Nesse contexto, a revisão bibliográfica emerge como uma etapa indispensável para a delimitação precisa do problema em um projeto de pesquisa, proporcionando uma visão abrangente do estado atual do conhecimento em determinado tema, identificando suas lacunas e delineando a potencial contribuição da investigação para o avanço do saber (LAKATOS & MARCONI, 2010). Além de fornecer orientações cruciais para a definição dos objetivos da pesquisa científica, a revisão bibliográfica é instrumental na construção de fundamentos teóricos robustos, na comparação de resultados e na validação das descobertas, tanto em trabalhos de conclusão de curso quanto em artigos científicos (MEDEIROS & TOMASI, 2008).

Para este trabalho específico, foram explorados três temas principais: segurança viária, iRAP e estudos de concessões. O processo de pesquisa foi conduzido prioritariamente e em sequência,



conforme segue: (1) Investigação de artigos publicados em periódicos internacionais de renome; (2) Análise de artigos publicados em periódicos nacionais reconhecidos pela comunidade acadêmica; (3) Consulta a obras publicadas por editoras de alta credibilidade; (4) Exame de teses e dissertações relevantes; (5) Revisão de conferências internacionais pertinentes ao escopo do estudo; e (6) Avaliação de conferências nacionais que abordem temas correlatos.

Ao seguir essa metodologia estruturada, buscou-se garantir uma abordagem abrangente na revisão da literatura, a fim de fundamentar solidamente o desenvolvimento do projeto de pesquisa e promover uma contribuição significativa para o campo de estudo em questão. Destaca-se que a Revisão Sistemática da Literatura, além ter fornecido importantes referências bibliográficas para o desenvolvimento da pesquisa, foi utilizada principalmente para delinear a pesquisa, ou seja, a auxiliar na definição do tema, hipótese e objetivos.

O APÊNDICE A – REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA apresenta de forma detalhada o método utilizado na revisão sistemática da literatura, que seguiu os princípios da metodologia PRISMA (2020), fornecendo diretrizes para a realização de revisões e meta-análises. O uso da ferramenta *VOSviewer* foi fundamental para mapear as relações bibliométricas entre autores, artigos e temas, ofereceu uma visão completa das tendências e lacunas na produção acadêmica relacionada à segurança viária.

A revisão revelou a tendência crescente na produção científica desde o início dos anos 2000, especialmente em resposta às iniciativas da ONU na Década de Ação pela Segurança no Trânsito (2011-2020). O Brasil, embora apresente menor volume de publicações, tem avançado, sobretudo no campo das concessões rodoviárias e com a introdução da metodologia iRAP em estudos como o BrasilRAP.

A revisão realizada, inclusive de publicações mais recentes e de outras fontes devidamente referenciadas, foi importante para confirmar a tese de que no Brasil não existem casos reais de pós implementação das contramedidas sugeridas pela iRAP, ou seja, não é possível se comparar a situação da segurança viária de uma rodovia antes e após implantação do PIRMS, mesmo que parcial.

### **3.2 ESTUDO DE CASO: CONCESSÕES RODOVIÁRIAS NO PARANÁ**

Ao compreender a metodologia iRAP e seu estado da arte, tanto em nível mundial quanto no contexto brasileiro, foi possível identificar projetos em andamento no Brasil que aplicam a metodologia iRAP como parte de um programa de segurança viária. Contudo, conforme já citado no capítulo anterior, não se encontrou nenhum exemplo completo de uma rodovia federal onde as contramedidas propostas pelo iRAP já tenham sido implementadas integralmente, o que permitiria uma comparação clara entre os dados de sinistros antes e depois da implementação dessas medidas. Tal cenário seria o ideal para avaliar se os objetivos e metas de um plano de investimento iRAP foram atingidos.

Logo, para viabilizar a pesquisa tornava-se necessário identificar um projeto de estruturação de concessões de rodovias federais que permitisse avaliar o iRAP, ou seja, um projeto de concessão que permitisse avaliar seu PER, o PIRMS e ainda as estatísticas de sinistros da rodovia. Neste contexto, destaca-se a atuação profissional do autor, como servidor público federal, que contribuiu sobremaneira para identificar um caso para ser estudado, considerando que trabalha com concessões de rodovias desde 2015.

O estado do Paraná desempenha um papel logístico crucial no Brasil, sendo um grande produtor agrícola e importante corredor de exportação, além de ter fronteiras com o Paraguai e a Argentina, além de abrigar o Porto de Paranaguá, um dos mais relevantes do país. As rodovias do estado conectam a região sul ao restante do Brasil, com tráfego intenso de cargas e turismo.

Em 2019, por meio de Acordo de Cooperação Técnica, os Governos, Estadual e Federal, estabeleceram as diretrizes de uma parceria para o desenvolvimento dos estudos para conceder rodovias no Estado, contendo tanto trechos de rodovias federais quanto trechos de rodovias estaduais, formando uma malha com importância estratégica para a logística do Paraná, conforme representado na Figura 3.2.

Destaca-se que dos seis lotes previstos, dois já foram licitados e se encontram sob contrato de concessão (lotes 1 e 2) e conforme previsão de leilões da ANTT os lotes 3 e 6 serão leiloados em dezembro de 2024 e os lotes 4 e 5 serão leiloados no decorrer de 2025. A Tabela 3.1 apresenta algumas informações gerais sobre os estudos dos seis lotes.



**Figura 3.2** Mapa Representativo dos Lotes de Concessões do Paraná  
 Fonte: Ministério dos Transportes, 2023.

**Tabela 3.1** Parâmetros Gerais do Estudo de Concessão no Paraná – Todos os Lotes

Parâmetro	Descrição
Extensão Total (km)	3.367,84 Km
Premissas para o Estudo	Aplicação da metodologia <b>iRAP</b> para avaliação de segurança viária como critério para investimentos no Programa de Exploração Rodoviária (PER)
Prazo da Concessão	30 anos
Número de Lotes	6
Investimentos Estimados (CAPEX)	R\$ 30 bilhões
Custos Operacionais (OPEX)	R\$ 24,4 bilhões
Empregos	Aproximadamente 658.966 (direto, indireto, efeito-renda)
Obras Previstas	1.767 km duplicados 494,98 km de faixas adicionais e terceira faixa 238 km de Vias Marginais 5 Áreas de Escape

A aplicação de metodologia iRAP foi uma diretriz de política pública de segurança viária para os estudos de concessões de todos os lotes, ou seja, foram desenvolvidos planos de investimento

para diferentes trechos das rodovias. Outro fato relevante é que, para muitos dos trechos de rodovias, existe uma base de dados sobre sinistros de trânsito da Polícia Rodoviária Federal (PRF).

Por tudo o exposto, identificou-se que determinados trechos de rodovias apresentavam os requisitos necessários para se avaliar o PIRMS, em conjunto com o PER, ou seja, avaliar as contramedidas indicadas pela metodologia iRAP e os investimentos originários dos outros estudos que efetivamente foram contemplados nos respectivos projetos.

Conforme já registrado no capítulo 2.3.3, a metodologia iRAP apresenta valores padrões de alguns parâmetros para elaboração do PIRMS e orienta que cada projeto seja avaliado individualmente e que tais parâmetros sejam adaptados à realidade de cada caso. Para os estudos do Paraná, precisamente para o Lote 6, para fins de elaboração do PIRMS, foram considerados os seguintes parâmetros:

- Período de análise (anos): 30 anos, que é o período do projeto de concessão;
- Taxa de desconto ou Taxa Interna de Retorno (TIR): 8,47%, TIR do projeto de concessões;
- Taxa Mínima de Atratividade (TMA): 8,47%;
- Custo por Óbitos e Vítimas com Lesões Graves: R\$ 43.293,00;
- Valor de um Acidente Fatal ou com Lesões Graves: R\$ 668.821,00;
- Índice Benefício-Custo (BCR): 2.

A base para os parâmetros elencados acima foi o projeto de concessão (prazos e respectivas taxas) e indicadores do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, tais como, atualizações da estimativa de custos de sinistros no Brasil (IPEA, 2020) e quando necessário, atualização monetária pelo IPCA.

Vale destacar que não foi objeto desta pesquisa a análise dos parâmetros utilizados para calibrar o sistema, somente foram avaliados os resultados apresentados nos estudos de concessões, inclusive os originários da aplicação do iRAP.

### 3.2.1 Descrição do Lote 6

Dentre os seis lotes de concessões do Paraná, um trecho da BR-277, do lote 06, foi escolhido como objeto de estudo por sua relevância estratégica, histórica e técnica no contexto de sinistros de trânsito e contramedidas da metodologia iRAP. Trata-se de um trecho com elevado volume de tráfego, índices significativos de sinistros graves e fatais, e características geométricas que exigem melhorias na infraestrutura rodoviária.

O lote 6 possui extensão total em torno de 662 km, contemplando os trechos indicados abaixo, conforme Divisão do Sistema Nacional de Viação (SNV), Figura 3.3.

- I- Rodovia BR-163/PR, com início no entr. com a PR-182, Realeza, até o entr. com a BR-277, Cascavel;
- II- Rodovia BR-277/PR, com início no entr. com a BR-373(A)/PR-452, Prudentópolis, até o início da Ponte da Amizade/Fronteira Brasil/Paraguai;
- III- Novo Acesso a Foz do Iguaçu: Rodovia BR-277/PR, com início no entr. com a BR-277/PR, Foz do Iguaçu, até o início da Ponte Internacional Brasil/Paraguai (2ª ponte);
- IV- Rodovia PR-158, com início no entr. com a PR-280, Pato Branco, até o entr. com a PR-280 e PR-158, Vitorino; - Rodovia PR-180, com início no entr. com a PR-483, Francisco Beltrão, até o entr. com a PR-180(Marmeleiro) (B) (P/ C. ERÊ), Marmeleiro;
- V- Rodovia PR-182, do entr. com a BR-163, Realeza, até o entr. com a PR-483, Jacutinga;
- VI- Rodovia PR-280, do acesso a Pato Branco, até o entr. com a BR-280, Marmeleiro;
- VII- Rodovia PR-483, com início no entr. com a PR-180/892, Francisco Beltrão, até o entr. com a PR-182, Francisco Beltrão;
- VIII- Ponte Tancredo Neves: Rodovia BR-469/PR, com início no entr. com a BR-277(b) (Acesso 2a Ponte Sobre Rio Paraná), Foz do Iguaçu, até o início da Ponte Tancredo Neves; - Rodovia BR-469/PR, início da Ponte Tancredo Neves, até a Fronteira Brasil/Argentina;
- IX- Segunda Ponte Brasil/Paraguai: Rodovia BR-277/PR, início da Ponte Internacional Brasil/Paraguai (2ª ponte), no município de Foz do Iguaçu, até a Fronteira Brasil/Paraguai; e,
- X- Ponte da Amizade: Rodovia BR-277/PR, início da Ponte da Amizade/Fronteira Brasil/Paraguai, até o fim da Ponte da Amizade/Fronteira Brasil/Paraguai.



### 3.2.2 Trecho do Estudo: BR-277/PR

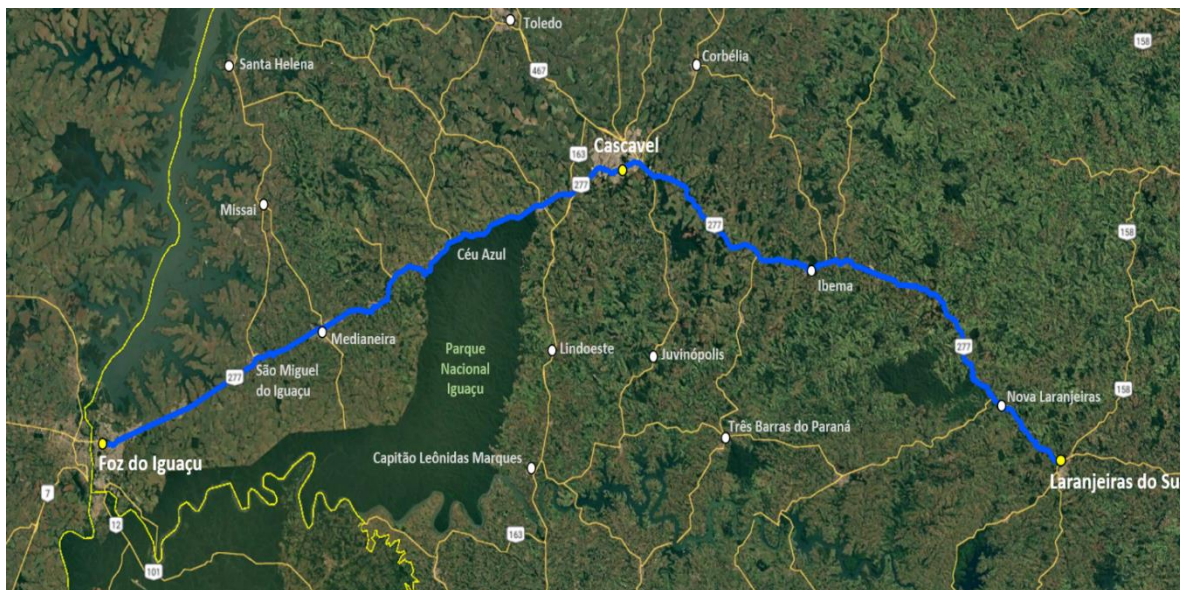
A BR-277 é uma rodovia federal que, até novembro de 2021, esteve sob concessão do governo do estado do Paraná. Ela atravessa o estado de leste a oeste, conectando Foz do Iguaçu, na divisa com o Paraguai (Ponte da Amizade), até o Porto de Paranaguá, no extremo leste do estado. Esta rodovia se caracteriza como um importante eixo de ligação para atividades de importação e exportação, atravessando 26 municípios e desempenhando fundamental papel no transporte de cargas, como granéis sólidos, além de ser uma rota significativa para o turismo.

Para a avaliação do *Benefit-Cost Ratio* (BCR) das contramedidas serão utilizados os estudos de todo o trecho da BR-277, constante do lote 6, entretanto, para fins da avaliação estatística a extensão total da BR-277 foi considerada elevada para avaliação detalhada, dado o grande número de tipologias de segmentos heterogêneos ao longo da rodovia. Assim, numa segunda análise, optou-se por delimitar o trecho entre Laranjeiras do Sul e Foz do Iguaçu (Figura 3.5) para fins de aplicação do teste Qui-Quadrado.

Essa escolha se justifica pelo fato de ser um trecho com segmentos representativos, tanto de rodovias rurais quanto de travessias urbanas, incluir importante entroncamento rodoviário do município de Cascavel, ser um corredor logístico e de turismo, dentre outras características tais como:

- I- Apresenta trechos duplicados e de pista simples;
- II- Apresenta um volume considerável de tráfego, tanto de veículos leves quanto de pesados, sendo um eixo importante para o escoamento da produção e do turismo;
- III- Predominantemente é uma rodovia rural, mas com importantes travessias urbanas;
- IV- Inclui trechos com topografia tanto acidentada quanto plana;
- V- Enfrenta grande variação climática, desde períodos secos e muito quentes (verão) até épocas de chuva e nevoeiro (inverno);
- VI- Aplicação de metodologia iRAP, contendo PIRMS;
- VII- Trecho contemplado no PER do lote 6;
- VIII- Histórico de sinistros na base de dados da Polícia Rodoviária Federal (PRF).

Adicionalmente, é importante registrar que o autor residiu por mais de cinco anos na região, sendo usuário frequente da rodovia, especificamente do trecho entre Cascavel e Foz do Iguaçu, o que contribuiu significativamente para o estudo.



**Figura 3.5** Trecho Objeto do Estudo Estatístico– Segmento do Lote 6  
Fonte: Google, 2024.

### 3.3 PROCEDIMENTO DE COLETA DE DADOS

No que se refere ao procedimento de coleta de dados, foram estruturadas duas principais frentes de coleta: (1) dados do estudo iRAP na modelagem econômico-financeira da concessão do Paraná e (2) dados de sinistros disponibilizados pela Polícia Rodoviária Federal (PRF).

Essas duas bases foram integradas para possibilitar uma análise aprofundada da viabilidade das contramedidas propostas, levando em consideração os pontos críticos identificados e o impacto das medidas de segurança sugeridas.

#### 3.3.1 Coleta de Dados iRAP

O iRAP foi uma premissa de projeto, a metodologia iRAP foi aplicada aos 3.367 km de rodovias dos seis lotes, sendo elaborado os respectivos planos de investimento para as rodovias mais seguras. Os estudos foram apresentados da seguinte forma:

- Volume 1 – Estudo de Tráfego: tomo único
- Volume 2 – Estudos de Engenharia:
  - a. Tomo I Cadastro Geral da Rodovia
  - b. Tomo II Estudos Ambientais
  - c. Tomo III Trabalhos Iniciais



- d. Tomo IV Programa de Recuperação
  - e. Tomo V Programa de Manutenção Periódica e Conservação
  - f. Tomo VI Programa de Investimentos (melhorias e ampliação de capacidade)
- Volume 3 – Modelo Operacional: tomo único
  - Volume 4 – Estudos de Viabilidade Econômico-financeira: tomo único
  - Volume 5 – Programa de Exploração Rodoviário – PER: tomo único.

Dos produtos apresentados, somente foram analisados, parte do Tomo VI do Volume dos Estudos de Engenharia, relacionados à Avaliação de Segurança pela Metodologia iRAP e o Relatório Metodológico de Segurança Viária - Plano de Investimento.

### **3.3.2 Coleta de Dados Sinistros (PRF)**

No Brasil, existem algumas bases de dados de sinistros de trânsito, agrupadas principalmente por meio das jurisdições sobre as vias. No caso das rodovias federais, a base de dados mais completa pertence ao Departamento de Polícia Rodoviária Federal (PRF), cujo sítio eletrônico na rede mundial de computadores apresenta uma gama de informações sobre o tema, precisamente na página de dados abertos, as informações são publicadas em um formato legível por máquina e sem restrição de licenças, patentes ou mecanismos de controle, de modo a estarem livremente disponíveis para serem utilizados e redistribuídos à vontade.

Especificamente na página dos dados abertos da PRF existem links para anuários, estatística de sinistros, dados sobre infrações e dicionários de dados tanto para sinistros quanto para infrações. No link sobre “sinistros”, é possível baixar planilhas eletrônicas, com as séries históricas dos sinistros, agrupados em 3 categorias:

- Agrupados por ocorrência: de 2007 até os dias atuais;
- Agrupados por pessoa: de 2007 até os dias atuais; e,
- Agrupados por pessoa, todas as causas e tipos de sinistros: de 2017 até os dias atuais.

As planilhas disponíveis contêm informações detalhadas sobre os sinistros, tais como: dia, horário, local do sinistro (estado, rodovia, km, município), causa, tipo, condições meteorológicas, tipo de pista (simples ou duplicada), traçado (tangente ou curva), uso do solo, identificação dos veículos (tipo, marca, ano de fabricação), tipo lesões, identificação do lesionado (idade, sexo, motorista ou passageiro), número de feridos, número de mortos, coordenadas geográficas, dentre outras informações.

Logo, a base de dados da PRF possui as informações necessárias para avaliar segmentos críticos de rodovias federais quanto às contramedidas indicados nos planos de investimento do iRAP. Contudo, é necessário realizar algumas considerações metodológicas sobre o tratamento dos dados para garantir a consistência e a validade das análises realizadas.

Inicialmente, a planilha de dados foi tratada com o objetivo de eliminar informações inconsistentes, duplicatas e outras anomalias que pudessem comprometer as conclusões. Posteriormente, para auxiliar nos estudos estatísticos, a base de dados foi restrita ao trecho específico da rodovia BR-277, no Paraná, compreendendo o segmento entre Laranjeiras do Sul (km 455) e Foz do Iguaçu (km 732), totalizando 277,8 km de extensão.

Uma avaliação preliminar revelou que, no preenchimento dos formulários de entrada, pode haver imprecisões quanto à causa dos sinistros. Observou-se, por exemplo, que causas como "falta de atenção" e "desobediência às normas" foram frequentemente utilizadas de forma indiscriminada para descrever diversas situações, inclusive sobreposições como a ingestão de álcool. Apesar de tipificada como uma infração no Código de Trânsito Brasileiro, a ingestão de álcool também constitui uma forma de desobediência às normas. Para esta análise, no entanto, os dados foram utilizados conforme fornecidos na base original, sem críticas ou ajustes adicionais em relação a essas classificações.

Dentre os ajustes realizados na base de dados, destacam-se os seguintes pontos:

- Ausência da coluna "ano": A partir de 2017, a base de dados da PRF não incluía a coluna com a indicação do ano do sinistro, o que tornou necessária a criação dessa coluna para viabilizar a aplicação de filtros temporais e a construção de um painel de *Business Intelligence (BI)*;
- Georreferenciamento: Foi constatado que apenas os sinistros ocorridos a partir de 2017 continham coordenadas geográficas (latitude e longitude). A partir disso, aprimorou-se a base no que tange à localização dos sinistros, eliminando-se 15 ocorrências com coordenadas incorretas ou duplicadas;
- Ajuste dos quilômetros: Os sinistros foram agrupados por quilômetro, de forma que todos os eventos registrados em uma faixa de 1 quilômetro fossem atribuídos ao ponto

"X" correspondente. Esse arredondamento também facilitou a correção das coordenadas para pontos sem informação geográfica completa;

- Padronização do uso do solo: Após 2017, a coluna referente ao "uso do solo" estava preenchida com as opções "Sim" e "Não", enquanto antes desse período as entradas eram categorizadas como "Urbano" e "Rural". Foi realizada a padronização, com "Sim" sendo substituído por "Urbano" e "Não" por "Rural";
- Informações ausentes: A planilha continha entradas marcadas como "não informado" para alguns sinistros, principalmente no que se refere ao traçado da via. Também, foram detectadas inconsistências na classificação do uso do solo, com marcação de sinistros diferentes, com marcação de trecho rural e urbano para o mesmo quilômetro.
- Restrições geográficas e segmentação: A base foi unificada em uma única planilha e, posteriormente, restrita ao trecho da BR-277 entre Laranjeiras do Sul e Foz do Iguaçu, compreendendo os quilômetros 440 a 732. Esse segmento atravessa 14 municípios, conforme apresentado na Tabela 3.2.

**Tabela 3.2** Relação Quilométrica por Município

<b>Município</b>	<b>Quilômetro Inicial</b>	<b>Quilômetro Final</b>	<b>Extensão (km)</b>
Laranjeiras do Sul	440	468	28
Nova Laranjeiras	468	493	25
Guaraniaçu	493	529	36
Campo Bonito	529	533	4
Ibema	533	544	11
Catanduvas	544	550	6
Cascavel	550	603	53
Santa Tereza do Oeste	603	611	8
Céu Azul	611	648	37
Matelândia	648	662	14
Medianeira	662	681	19
São Miguel do Iguaçu	681	705	24
Santa Terezinha de Itaipu	705	718	13
Foz do Iguaçu	718	732	14

Por fim, é importante destacar que a base de dados utilizada cobre uma série histórica de sinistros entre 2019 e 2021. Contudo, não foi possível verificar de maneira conclusiva eventuais

intervenções ou melhorias realizadas na rodovia ao longo desse período, como obras de ampliação ou adequação da capacidade, que poderiam impactar tanto o número quanto as características dos sinistros.

Para correlacionar as informações dos sinistros com a classificação iRAP do segmento, foi inserida na planilha a informação do código SNV do trecho correspondente. O Sistema Nacional de Viação (SNV), conforme a Lei nº 12.379 (Brasil, 2011), constitui a infraestrutura física e operacional dos diversos modos de transporte no Brasil. O DNIT mantém uma planilha atualizada contendo os códigos SNV das rodovias federais, incluindo informações como os quilômetros inicial e final de cada segmento.

A análise descritiva dos dados de sinistros possibilitou, portanto, uma avaliação robusta da distribuição espacial e temporal dos sinistros no trecho analisado, fornecendo uma base sólida para as análises subsequentes realizadas nesta dissertação. Para auxiliar na avaliação da base de dados e segurança quanto à sua consistência, foi construído um painel *BI* entretanto, o painel não foi utilizado nas análises tanto estatísticas quanto econômicas.

### **3.4 RELAÇÃO CUSTO-BENEFÍCIO**

A partir da análise de diferentes cenários com projeções das soluções de engenharia a serem implementadas no trecho de concessão, é possível avaliar os benefícios gerados e prever, de forma quantitativa e objetiva, a redução dos números de sinistros graves e fatais.

Busca-se demonstrar, em termos financeiros, os benefícios potenciais resultantes da integração da metodologia de segurança viária como critério na modelagem econômica dos contratos de concessão. Essa abordagem visa não apenas a segurança dos usuários das rodovias, mas também a otimização dos recursos financeiros e a maximização dos resultados para a concessão.

A análise socioeconômica de custo-benefício constitui uma forma objetiva, prática e eficiente de avaliação e seleção de projetos de investimento de infraestrutura. A utilização dessa metodologia permite que a apreciação de um projeto seja feita de modo sistemático contemplando os principais impactos diretos e indiretos ao longo do seu ciclo de vida, de um modo geral, admite-se como projetos viáveis todos aqueles que possuam um BCR igual ou maior que 1, para projetos de infraestrutura, uma vez que os benefícios superam os custos, ambos em valor presente (MINISTÉRIO DA ECONOMIA, 2021).

O índice BCR é ferramenta analítica para julgar as vantagens e desvantagens de uma decisão de investimento por meio da aferição de cenários do projeto, inclusive a não execução, devendo abordar todas as previsões de custos tais como, CAPEX (investimentos iniciais, manutenção, conservação, reposição), OPEX (custos operacionais) e impactos socioambientais. Já na estimativa dos benefícios devem ser computados os diretos, relacionados ao efetivo uso dos bens e serviços prestados e os indiretos, se houver. Como índice BCR não gera ordenamento ambíguo entre alternativas pode-se em alguns casos servir de base para avaliar a eficiência do projeto (MINISTÉRIO DA ECONOMIA, 2021).

Conforme o guia do Ministério da Economia (2021) a análise do BCR não é sensível à classificação dos efeitos do projeto como benefícios ou como custos, ou seja, é relativamente comum haver impactos do projeto que podem ser tratados como benefícios ou como redução de custos, e vice-versa. Por isso, o índice favorece projetos com custos menores, considerar um efeito positivo como redução de custo ao invés de benefício resulta em uma melhoria artificial do indicador.

O limite do BCR pode ser determinado em qualquer etapa da metodologia iRAP e este índice é utilizado para otimizar e priorizar investimentos dentro de um determinado orçamento. As medidas que não geram um BCR que exceda o limite imposto não são incluídas no Plano de Investimento para Rodovias mais seguras.

A aplicação do BCR dentro da metodologia iRAP é realizada em duas fases distintas, sendo uma voltada a aplicação pontual da contramedida e a outra voltada ao impacto de todas as contramedidas aplicadas ao projeto.

No âmbito desta pesquisa, também se planeja utilizar a modelagem econômica prevista para comparar a aplicação da metodologia iRAP e analisar a geração de benefícios tanto em termos de CAPEX (investimentos iniciais) quanto de OPEX (custos operacionais) de um trecho do lote de concessões. Essa abordagem comparativa nos permitirá avaliar de maneira abrangente e objetiva os impactos financeiros e operacionais da implementação da metodologia iRAP em relação às práticas convencionais de segurança viária.

### 3.5 TESTE DE HIPÓTESES COM QUI-QUADRADO DE PEARSON

O Teste Qui-Quadrado baseia-se na comparação entre frequências observadas e esperadas em tabelas de contingência, sendo amplamente utilizado na análise de variáveis categóricas em diversas áreas, como ciências sociais, biologia, economia e segurança viária.

No contexto de estudos de segurança viária, como nos programas do iRAP, o teste de Qui-quadrado é eficaz para investigar a relação entre variáveis, como a Classificação por Estrelas das rodovias e a ocorrência de sinistros de trânsito, oferecendo insights para estratégias de redução de acidentes e melhoria da infraestrutura rodoviária.

Em síntese, a distribuição observada de uma variável categórica difere significativamente da distribuição esperada, assumindo a hipótese nula ( $H_0$ ) de que não há relação entre as variáveis. Neste estudo, o teste será aplicado para verificar se há uma associação significativa entre as classificações por estrelas e a redução de sinistros fatais e lesões graves, com base nas contramedidas sugeridas pelo iRAP.

Tanto os dados do iRAP, quanto os registros de sinistros da PRF são categóricos e o teste de Qui-quadrado de Pearson se mostrou apropriado para comparar as proporções observadas e esperadas. A análise foi realizada utilizando o *software* estatístico R®, versão 4.3.1, com o pacote Rcmdr que é uma interface gráfica para o R que permite fazer análises estatísticas, manipular dados e criar gráficos através de menus, o que facilita a execução de testes de Qui-quadrado em dados categóricos. Foram conduzidos três estudos para avaliar a efetividade da metodologia iRAP em relação à ocorrência de sinistros de trânsito com vítimas fatais ou feridas.

#### 3.5.1 Cálculo do Qui-Quadrado Pearson

O cálculo do valor de Qui-quadrado ( $\chi^2$ ) segue a fórmula clássica:

$$\chi^2 = \sum \frac{(obs - esp)^2}{esp} \quad (1)$$

Onde:

$obs$  = frequência observada;  
 $esp$  = frequência esperada.

### 3.5.2 Formulação das Hipóteses

A formulação de hipóteses é uma etapa fundamental em qualquer pesquisa científica, servindo como uma estrutura teórica que direciona o processo investigativo. Hipóteses são proposições ou suposições que estabelecem uma relação entre duas ou mais variáveis e que podem ser testadas empiricamente. No campo da estatística, e mais especificamente nos estudos que envolvem análise de dados, a formulação de hipóteses permite ao pesquisador validar ou refutar uma ideia com base em evidências quantitativas.

Em termos gerais, a formulação de hipóteses segue dois modelos principais:

- Hipótese Nula ( $H_0$ ): Esta é uma suposição de que não há relação ou diferença significativa entre as variáveis analisadas. Em outras palavras, a hipótese nula pressupõe que qualquer diferença observada nos dados é puramente devido ao acaso.
- Hipótese Alternativa ( $H_1$ ): Contrária à hipótese nula, a hipótese alternativa sugere que há uma relação significativa ou uma diferença estatística entre as variáveis analisadas. A hipótese alternativa é o que o pesquisador espera validar com a análise dos dados.

A formulação dessas hipóteses serve como um guia para o processo de coleta e análise de dados, estabelecendo uma base lógica para a interpretação dos resultados. Assim, o estudo se baseia em três análises:

1. Tese 1: tem como objetivo verificar se a Classificação por Estrelas iRAP está associada à ocorrência de sinistros de trânsito com vítimas feridas ou fatais. A hipótese nula ( $H_0$ ) sugere que a classificação por estrelas e os sinistros são independentes, enquanto a hipótese alternativa ( $H_1$ ) indica que há uma relação significativa entre esses dois parâmetros.
2. Tese 2: avalia se a indicação de contramedidas iRAP está associada à ocorrência de sinistros de trânsito. A hipótese nula ( $H_0$ ) postula que as contramedidas são aplicadas de forma aleatória, ou seja, a proporção de sinistros com e sem contramedidas não apresenta diferenças significativas. Já a hipótese alternativa ( $H_1$ ) sugere que a implementação das contramedidas tem uma relação significativa com a redução dos sinistros.

3. Tese 3: verifica se o tipo de sinistro está relacionado ao foco das contramedidas iRAP, seja em termos de usuário atendido ou tipo de intervenção. A hipótese nula ( $H_0$ ) indica que o tipo de sinistro não está associado às contramedidas, enquanto a hipótese alternativa ( $H_1$ ) sugere uma relação significativa.

### 3.5.3 Interpretação de Resultados

De acordo com Agresti (2007), o *p-valor* representa a probabilidade de que os resultados observados ocorram por acaso, assumindo que a hipótese nula seja verdadeira. O nível de significância de 5% ( $\alpha = 0,05$ ) foi adotado neste estudo, sendo amplamente aceito em análises estatísticas por proporcionar um equilíbrio adequado entre a minimização do erro tipo I (rejeitar uma hipótese nula verdadeira) e a robustez dos resultados.

Se o *p-valor* calculado for menor ou igual a 0,05, a hipótese nula será rejeitada, indicando uma associação significativa entre as variáveis analisadas, como a classificação por estrelas e a ocorrência de sinistros.

Estudos prévios que aplicaram o iRAP na Nova Zelândia, também utilizaram um nível de significância de 5% para analisar a eficácia das contramedidas sugeridas, observando uma redução significativa nos sinistros fatais após as intervenções. Com base nessas premissas, o teste de Qui-quadrado de Pearson será conduzido com os três objetivos principais descritos acima.



## **4 ANÁLISE E DISCUSSÕES DOS RESULTADOS**

A análise dos resultados se baseia na aplicação da metodologia iRAP e na avaliação dos sinistros ocorridos no trecho estudado. O objetivo desta seção é analisar os resultados e verificar a relação entre a classificação das rodovias por estrelas e a ocorrência de sinistros, a eficácia das contramedidas sugeridas e a correlação com os tipos de sinistros registrados.

Também se apresentará uma análise lastreada na relação custo-benefício para se comparar os impactos financeiros e operacionais da metodologia iRAP em uma modelagem de concessão.

### **4.1 RESULTADOS DA CLASSIFICAÇÃO IRAP**

#### **4.1.1 Análise da Classificação por Estrelas (SRS) para a BR-277**

A classificação iRAP foi realizada para todo o trecho da BR-277/PR constante do lote 06 e os resultados foram organizados de acordo com o Sistema Nacional de Viação (SNV), o que justificou a necessidade de estabelecer o código SNV também para a base de dados de sinistros da Polícia Rodoviária Federal (PRF), conforme discutido anteriormente.

Rememora-se que a metodologia iRAP se baseia em um sistema de classificação por estrelas, que representa uma medida objetiva da probabilidade de ocorrência e da severidade dos sinistros de trânsito. Dessa forma, o sistema permite identificar o nível de risco para diferentes tipos de usuários ao longo de uma determinada rede viária, onde rodovias classificadas com uma estrela apresentam alto risco de morte e lesão grave, enquanto rodovias com cinco estrelas oferecem um risco significativamente menor.

Os estudos realizados no contexto das concessões rodoviárias no Paraná, especificamente nos volumes de análise do iRAP, mostram a classificação atual de cada segmento do SNV, bem como a classificação projetada após a implementação do PIRMS. A análise abrangeu 535,4 km da BR-277/PR, divididos por tipo de pista:

- Pista simples: 329 km
- Pista dupla crescente: 104,4 km
- Pista dupla decrescente: 102 km

A classificação atual foi determinada considerando os diferentes tipos de usuários – motoristas de veículos, motociclistas, pedestres e ciclistas – e organizada de forma a demonstrar o estado da infraestrutura em termos de segurança, conforme apresentado na Tabela 4.1.

**Tabela 4.1** Classificação por Estrelas – Situação Atual BR-277/PR

Classificação por Estrelas (BR-277/PR)								
Classificação por Estrelas	Motorista de Veículos		Motociclista		Pedestre		Ciclista	
	km	%	km	%	Km	%	km	%
5 Estrelas	0,1	0,0%	0	0,0%	1	0,2%	0	0,0%
4 Estrelas	4,1	0,8%	0	0,0%	0,1	0,0%	0	1,0%
3 Estrelas	89	16,6%	37,2	6,9%	0,4	0,1%	1,2	2,7%
2 Estrelas	289,8	54,1%	113	21,1%	1,4	0,3%	40,3	1,1%
1 Estrela	152,4	28,5%	354,9	66,3%	13,9	2,6%	50,5	0,2%
Não se aplica	0	0,0%	30,3	5,7%	518,6	96,9%	443,4	93,6%
<b>Total</b>	<b>535,4</b>	<b>100,0%</b>	<b>535,4</b>	<b>100,0%</b>	<b>535,4</b>	<b>100,0%</b>	<b>535,4</b>	<b>100,0%</b>
Classificação >=3 Estrelas (Atual)	93,20	17,4%	37,20	6,9%	1,50	0,3%	1,20	0,2%
Meta 3 a ser alcançada (ONU)	401,55	75,0%	401,55	75,0%	12,60	75,0%	69,00	75,0%

Em relação aos motoristas de veículos, apenas 17,4% do trecho avaliado, ou seja, 93,2 km, possui uma classificação de três estrelas ou mais, o que não atende à Meta 3 da ONU, que estabelece um mínimo de três estrelas como um padrão aceitável de segurança. Isso significa que 82,6% do trecho apresenta uma classificação de duas ou uma estrela, indicando condições críticas de segurança e a necessidade de melhorias substanciais para aumentar a segurança.

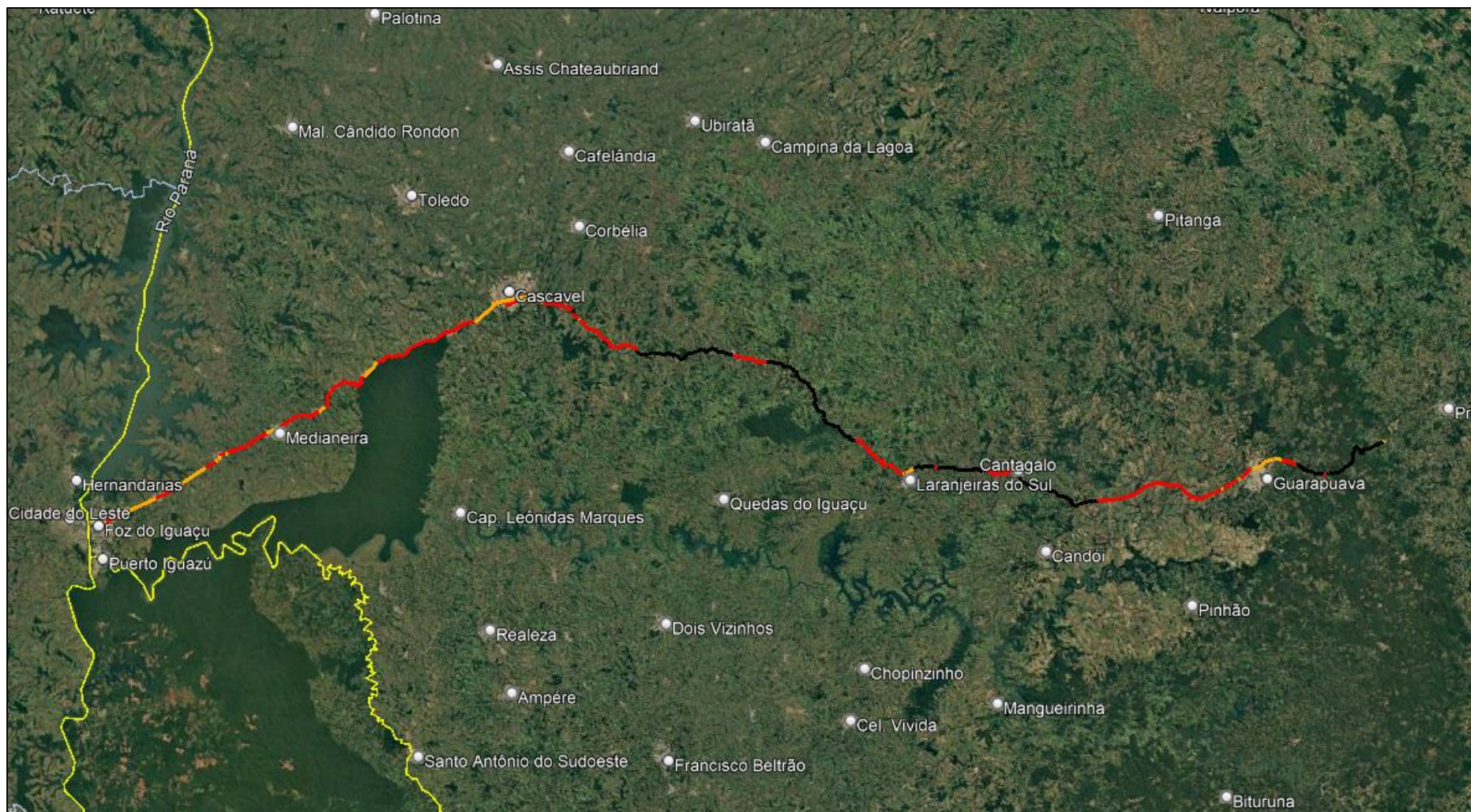
Para os motociclistas, a situação é ainda mais preocupante, aproximadamente 87,4% dos trechos analisados possuem uma classificação de uma ou duas estrelas, o que reflete um alto nível de risco para este grupo de usuários. Apenas 6,9% do trecho, correspondente a 37,2 km, apresenta uma classificação de três estrelas ou mais, o que está muito aquém do objetivo estabelecido. Além disso, foi identificado um trecho de 30,3 km como "não aplicável" para motociclistas, o que sugere possíveis erros na codificação dos atributos, já que a infraestrutura destinada aos veículos deve ser a mesma para motociclistas, evidenciando um potencial problema na coleta ou categorização dos dados.

Os pedestres e ciclistas, usuários mais vulneráveis da rodovia, também enfrentam um cenário crítico. Dentro da metodologia iRAP, a avaliação de segurança para pedestres e ciclistas geralmente se concentra em áreas urbanas, não sendo característica típica das zonas rurais. Para pedestres, apenas 16,8 km foram avaliados, enquanto para ciclistas 92 km receberam essa classificação. Em ambos os casos, mais de 90% dos trechos aplicáveis foram classificados como de alto risco, com uma ou duas estrelas, evidenciando a necessidade urgente de intervenções específicas para melhorar a segurança desses grupos.

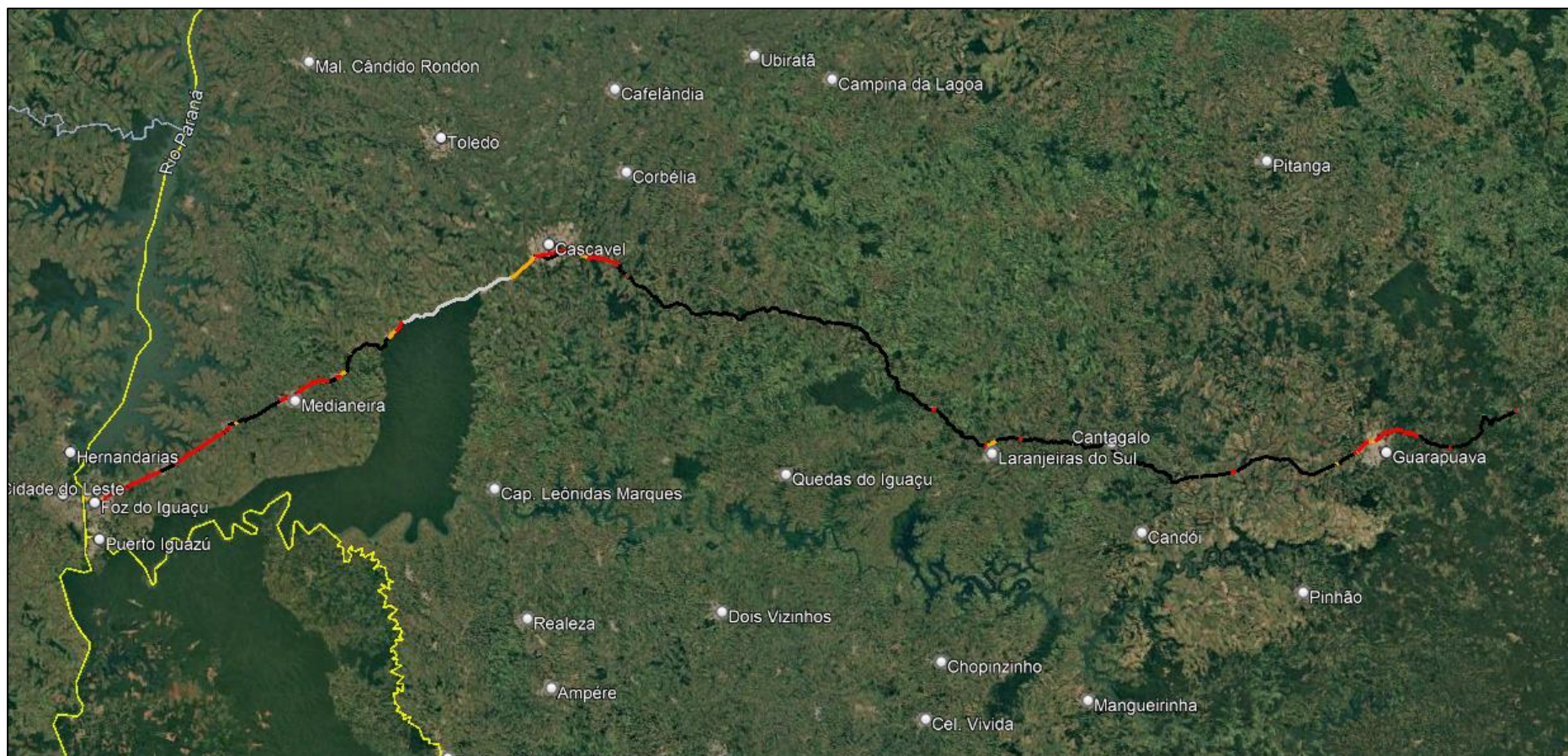
Os resultados apresentados são diferenciados por tipo de usuário, pois as medidas mitigadoras devem ser adaptadas para cada grupo, já que uma solução que beneficia um grupo pode não ter o mesmo efeito para outro. Por exemplo, a implementação de passarelas e faixas de pedestres pode melhorar significativamente a segurança para os pedestres, mas o nível de impacto a outro grupo de usuários se difere quando aplicado a classificação por estrelas. Ao longo dos 535,4 km da BR-277/PR, trecho analisado, fica evidente que, para motoristas, motociclistas, pedestres e ciclistas, a maior parte da rodovia apresenta classificações que indicam alto risco, sendo fundamental a aplicação de um plano de investimentos em segurança que eleve a classificação da infraestrutura para um mínimo de três estrelas.

Portanto, os resultados da classificação por estrelas da BR-277/PR destacam a urgência de investimentos substanciais para aumentar os padrões de segurança da rodovia, especialmente para os motociclistas e os usuários vulneráveis, como pedestres e ciclistas. O estado crítico da infraestrutura atual, com alta prevalência de trechos classificados com uma e duas estrelas, reflete um risco elevado de sinistros de trânsito, especialmente em áreas urbanas e trechos com grande movimentação de veículos pesados.

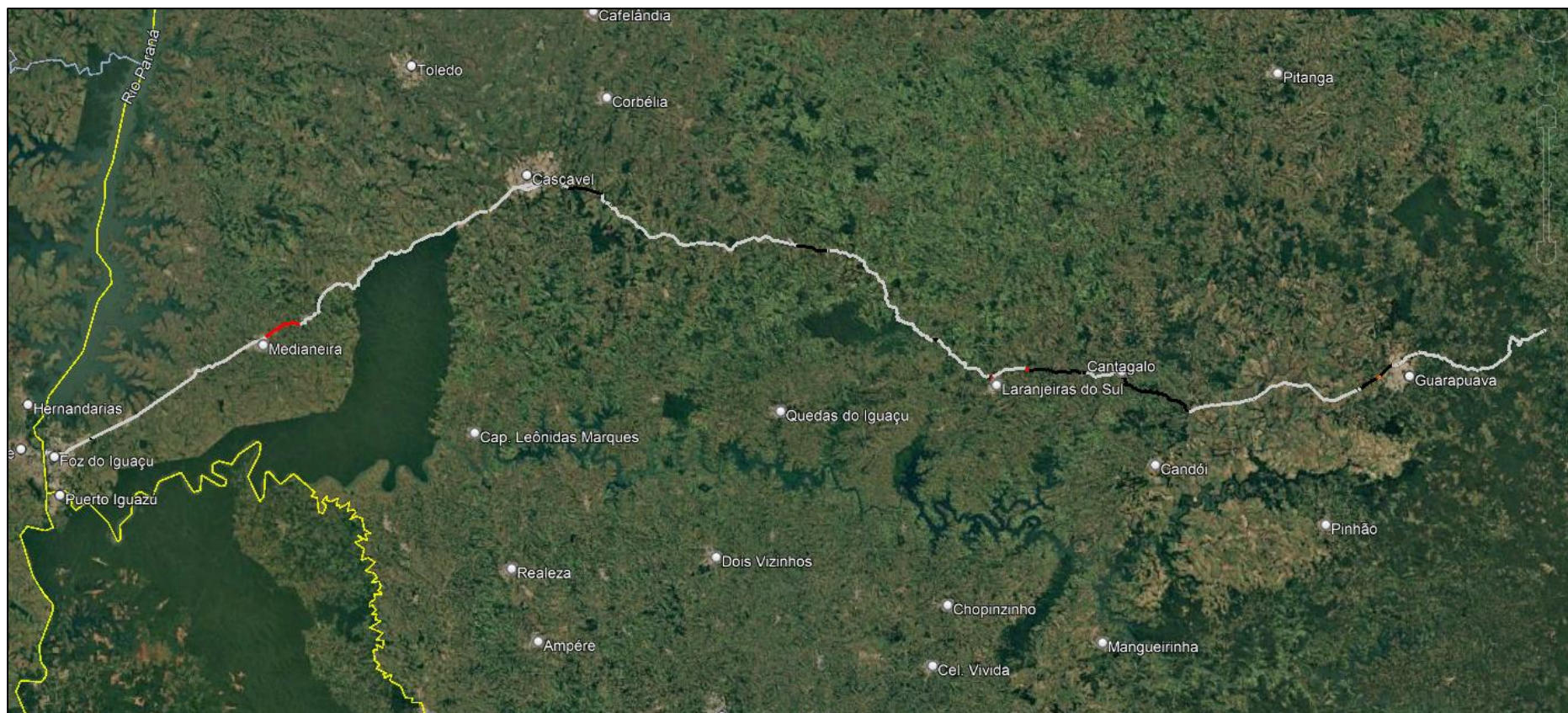
As Figuras 4.1 a 4.4 destacam a classificação por estrelas para cada tipo de usuário, facilitando a identificação de pontos críticos ao longo da rodovia, que devem ser priorizados no plano de ação de segurança. A análise inicial revelou inconsistências na classificação, como trechos marcados como "não aplicável" para certos usuários (motociclistas, ciclistas e pedestres) e segmentos erroneamente classificados como aplicáveis, em desacordo com a metodologia iRAP. Entretanto, considerando que o objetivo principal deste trabalho é realizar uma comparação dos resultados e para não prejudicar a precisão dos resultados, tais trechos serão excluídos das análises subsequentes, evitando distorções nos dados.



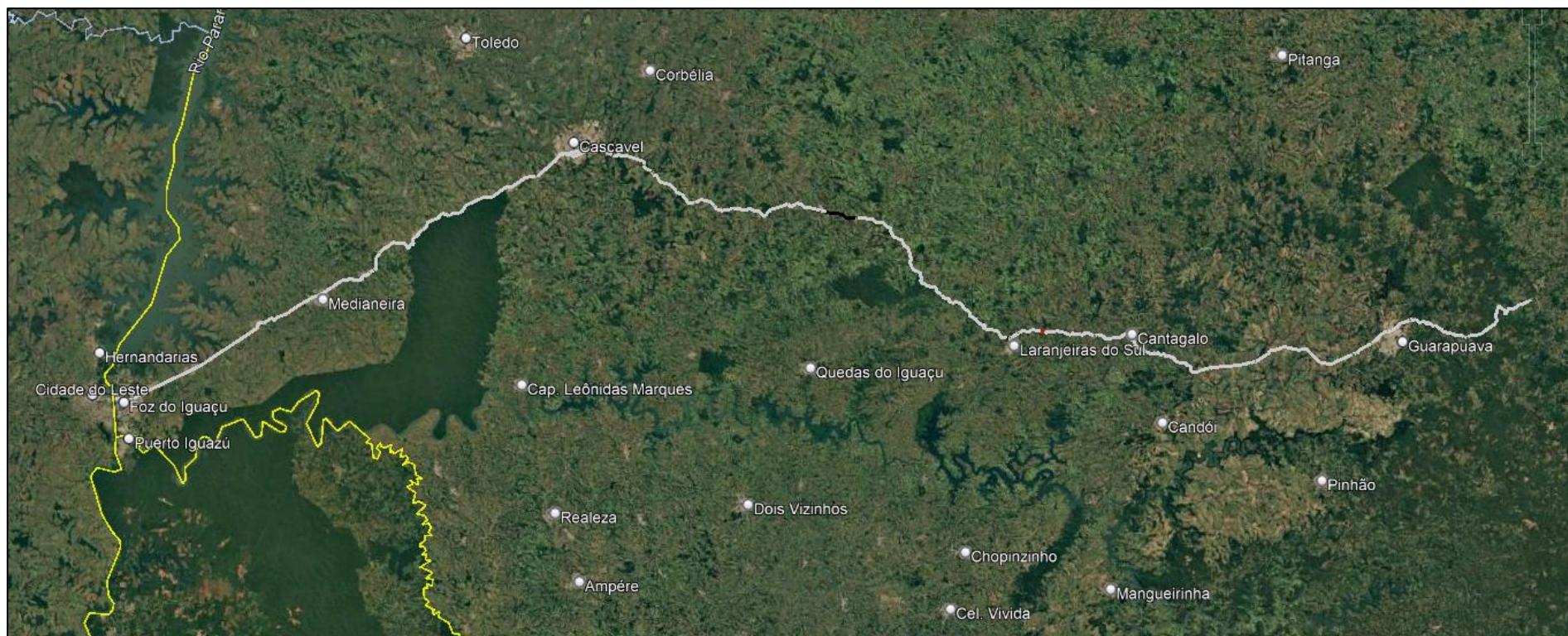
**Figura 4.1** Classificação por Estrelas para Ocupantes de Veículos– Trecho da BR-277/PR  
Fonte: Google, 2024.



**Figura 4.2** Classificação por Estrelas para Motociclistas – Trecho da BR-277/PR  
Fonte: Google, 2024.



**Figura 4.3** Classificação por Estrelas para Ciclistas – Trecho da BR-277/PR  
Fonte: Google, 2024.



**Figura 4.4** Classificação por Estrelas para Pedestres – Trecho da BR-277/PR  
Fonte: Google, 2024.

#### 4.1.2 PIRMS Proposto pelo iRAP

A partir dos resultados gerados, é possível identificar os pontos críticos da malha rodoviária em análise, referentes às características da infraestrutura, os quais referem-se a:

- I- Não há travessia de pedestres para 100% das vias onde há presença de pedestres e a velocidade dos veículos é de 40km/h ou mais;
- II- Não há infraestrutura para ciclistas para 99% das vias onde ciclistas estão presentes tráfego a velocidade flui a uma velocidade de 40km/h ou mais;
- III- Existem perigos na lateral da via em 72% das curvas onde tráfego flui a 80km/h;
- IV- 62% do tráfego das rodovias com velocidade a 80km/h ou mais são realizados em pista simples;
- V- Não existem rotatórias, retorno ou intersecção em desnível para 8% das intersecções onde tráfego flua a 60km/h ou mais.

Levando em consideração a metodologia preditiva disposta na metodologia iRAP, que fornece um prognóstico referente às necessidades da infraestrutura para proporcionar vias seguras aos usuários, o PIRMS proposto nessa análise tem os resultados apresentados no Quadro 4.1.

**Quadro 4.1** Resultados da PIRMS BR-277/PR

<b>Total de FSI evitados</b>	<b>VP dos Benefícios de Segurança (R\$)</b>	<b>Custo Estimado (R\$)</b>	<b>Custo por FSI Evitada (R\$)</b>	<b>BCR do Programa</b>
9.152	R\$ 815.714.800,00	R\$ 390.822.100,00	R\$ 42.703,46	2,1
<b>Total de FSI salvos:</b> número de fatalidades e lesões graves que poderia ser prevenido durante a vida do plano, após a implementação das contramedidas.				
<b>Custo Estimado:</b> esse é o VP do custo da construção e manutenção das contramedidas durante a vida do plano.				
<b>Custo por FSI Salva:</b> esse é o custo das contramedidas para cada FSI salvo.				
<b>Programa BCR:</b> o BCR é o benefício econômico dividido pelo custo. O BCR garante uma indicação da vida econômica do programa.				

Há de se destacar que para os lotes do Paraná, aplicação da metodologia iRAP não tem por objetivo criar um plano de investimentos para melhorar a condição de segurança viária de forma isolada, mas sim complementar ações já previstas para as rodovias nos estudos de concessões como um todo.

Neste sentido, conforme pode ser observada na Tabela 4.2, a seguir, os resultados podem ser segregados com base na sua relação custo-benefício, bem como, na relação FSI Evitados, onde demonstra-se as medidas de engenharia que mais evitam sinistros de trânsito.



**Tabela 4.2** Plano de Investimentos da BR-277/PR

<b>Contramedida</b>	<b>Extensão / Locais</b>	<b>FSIs Evitados</b>	<b>Valor Presente (VP) do Benefício de Segurança</b>	<b>Custo Estimado</b>	<b>BCR da Contramedida</b>
Faixa adicional (Via 2 + 1 com defesa/barreira)	74,6 km	2.680,0	R\$ 239.000.000,00	R\$ 160.000.000,00	1,5
Duplicação da pista e defesa/barreira central	10,5 km	1.280,0	R\$ 114.000.000,00	R\$ 51.200.000,00	2,2
Defensas/barreiras na borda da pista - lado do passageiro	139,4 km	980,0	R\$ 87.300.000,00	R\$ 51.600.000,00	1,7
Defensa/Barreira central (sem duplicação da pista)	86,9 km	957,0	R\$ 85.200.000,00	R\$ 42.500.000,00	2,0
Defensa/barreira no canteiro central (1+1)	38,5 km	639,0	R\$ 57.000.000,00	R\$ 18.500.000,00	3,1
Iluminação pública (interseção)	194 Locais	567,0	R\$ 50.500.000,00	R\$ 8.230.000,00	6,1
Sonorizadores ao longo do acostamento	211,6 km	420,0	R\$ 37.400.000,00	R\$ 19.100.000,00	2,0
Canteiro central fictício / Zebrado central	59,5 km	223,0	R\$ 19.900.000,00	R\$ 9.790.000,00	2,0
Sinalizações horizontal e vertical (interseção)	24 Locais	204,0	R\$ 18.200.000,00	R\$ 3.550.000,00	5,1
Remoção de perigos à margem da via - lado do passageiro	71,8 km	175,0	R\$ 15.600.000,00	R\$ 2.830.000,00	5,5
Iluminação pública (meio de quarteirão)	3,4 km	157,0	R\$ 14.000.000,00	R\$ 3.260.000,00	4,3
Remoção de perigos à margem da via - lado do condutor	87,1 km	147,0	R\$ 13.100.000,00	R\$ 3.360.000,00	3,9
Sonorizadores/postes flexíveis ao longo do eixo da pista	35,7 km	146,0	R\$ 13.000.000,00	R\$ 1.610.000,00	8,1
Refúgio Físico	22 Locais	142,0	R\$ 12.700.000,00	R\$ 597.000,00	21,2
Construir calçada - lado do passageiro (adjacente à via)	12,9 km	113,0	R\$ 10.100.000,00	R\$ 4.040.000,00	2,5
Faixa Exclusiva para Conversão (4 aproximações sem Semáforo)	3 Locais	86,6	R\$ 7.720.000,00	R\$ 3.260.000,00	2,4
Construir calçada - lado do condutor (adjacente à pista)	9,4 km	84,1	R\$ 7.490.000,00	R\$ 2.940.000,00	2,6
Defensas/barreiras na borda da pista - lado do condutor	8,8 km	55,5	R\$ 4.950.000,00	R\$ 3.250.000,00	1,5
Interseção de 4 aproximações com semáforo	1 Locais	48,4	R\$ 4.310.000,00	R\$ 286.000,00	15,4
Traffic calming'	1,1 km	26,8	R\$ 2.390.000,00	R\$ 36.700,00	65,1
Canalização de pedestres	0,5 km	9,0	R\$ 799.000,00	R\$ 97.800,00	8,2
Pavimentar acostamento - lado do passageiro (>1m)	1,3 km	6,0	R\$ 532.000,00	R\$ 440.000,00	1,2
Melhoria de delineamento da curva	0,8 km	5,4	R\$ 481.000,00	R\$ 303.000,00	1,6
Melhorar delineamento	0,1 km	0,5	R\$ 42.800,00	R\$ 41.600,00	1,0
<b>TOTAL</b>	<b>-</b>	<b>9.152</b>	<b>R\$ 815.714.800,00</b>	<b>R\$ 390.822.100,00</b>	<b>2,1</b>

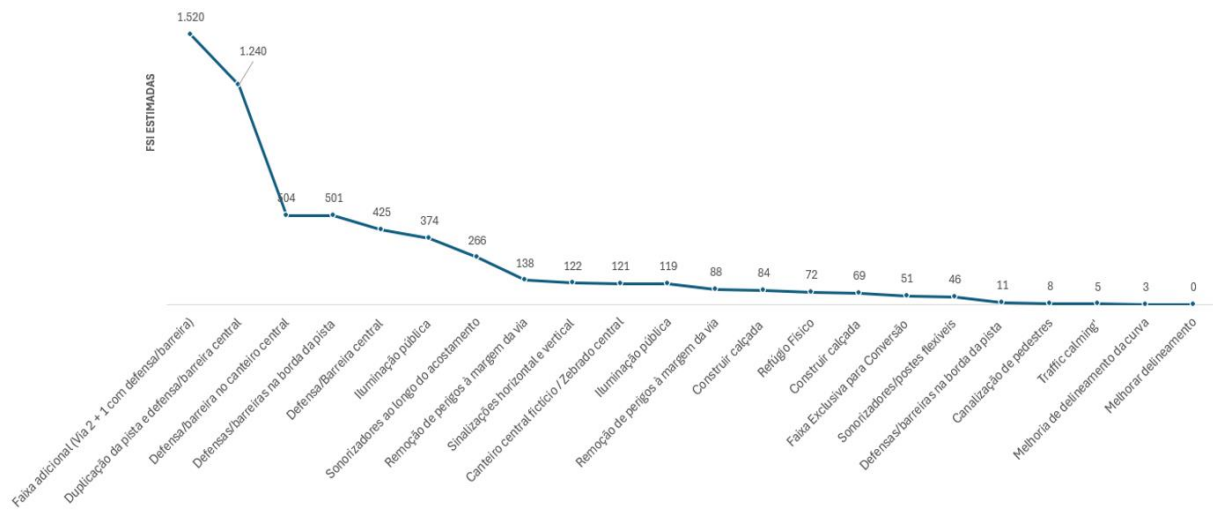
A análise dos resultados do plano de investimentos na BR-277/PR proporciona uma visão da efetividade das contramedidas propostas, fundamentada na metodologia iRAP, principalmente tendo como base o FSI (tópico 2.3.3 desta dissertação), o qual considera o número de fatalidades e lesões graves que podem ser evitadas ao longo da vida útil do plano de intervenção. Logo, o FSI permite avaliar diretamente o impacto das melhorias em termos de segurança viária.

Os resultados apresentados indicam que as cinco principais contramedidas — faixas adicionais (Via 2+1 com defesa/barreira), duplicação da pista, instalação de defensas na borda da pista do lado do passageiro, barreira central, e defesa/barreira no canteiro central (1+1) — são responsáveis por mais de 70% das fatalidades e lesões graves evitadas (FSI). No entanto, essas mesmas contramedidas representam 83% do CAPEX total previsto para o investimento, revelando um alto custo associado à sua implementação. A Figura 4.5 demonstra os principais tipos de contramedidas e os respectivos valores de FSI.

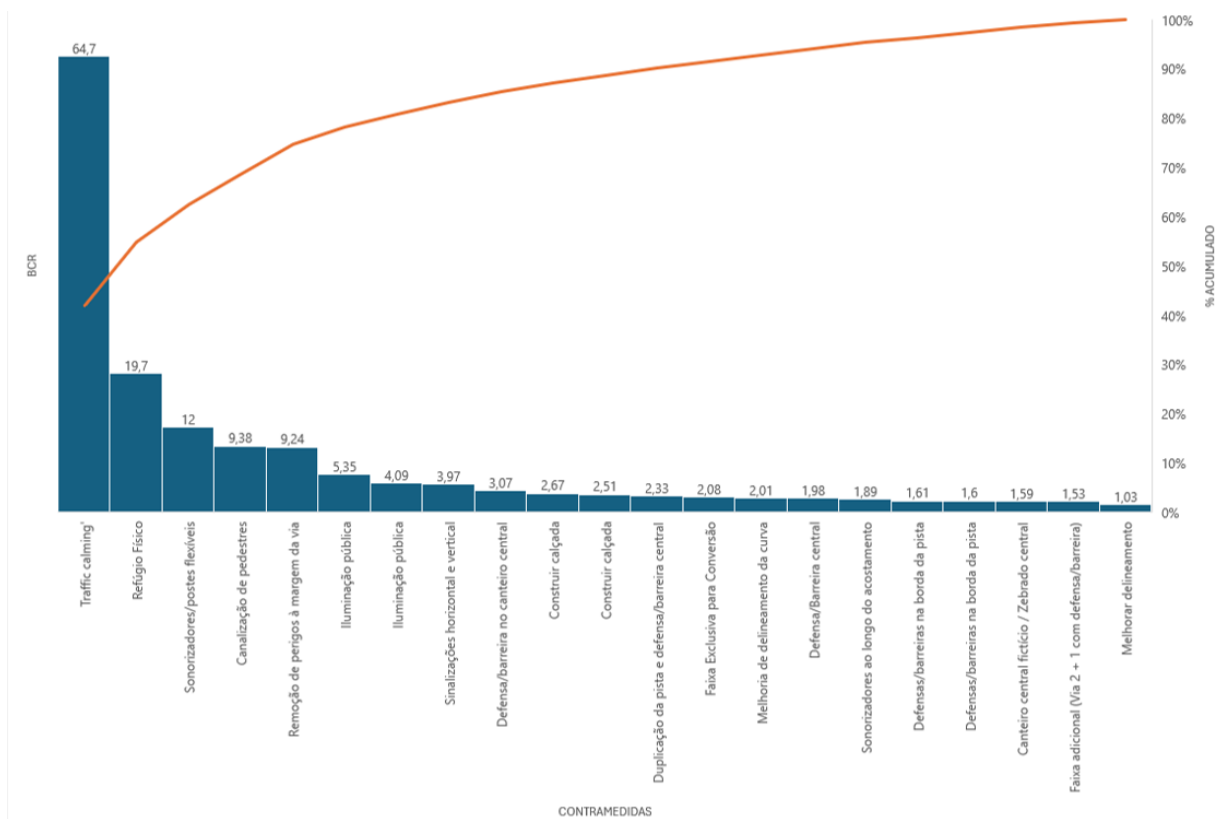
O desequilíbrio entre o impacto na segurança e o custo relativo das intervenções é um ponto importante a ser considerado na análise das relações custo-benefício. Embora as contramedidas mencionadas sejam altamente eficazes na redução de FSI, a alocação de recursos em ações de menor custo e maior BCR também deve ser avaliada, visando o uso eficiente do orçamento e a maximização do retorno em termos de segurança viária. Dessa forma, uma análise detalhada das relações custo-benefício permitirá otimizar os investimentos, priorizando contramedidas que ofereçam não apenas alta eficácia, mas também uma viabilidade econômica favorável.

Já a relação entre os benefícios obtidos – como vidas salvas e lesões evitadas – e os custos das intervenções inovadoras, no presente estudo, foi previsto um valor mínimo de BCR igual a 2 para que uma solução seja considerada viável. A Figura 4.6 apresenta a relação entre as contramedidas e seus respectivos FCI e BCRs.

Contramedidas como *traffic calming*, refúgio físico, semáforo em interseções de 4 aproximações e sonorizadores se destacam por sua alta relação custo-benefício. Estas soluções, de baixo custo relativo, proporcionam benefícios que superam amplamente os investimentos, tornando-se opções eficientes e práticas maximizando a segurança viária com recursos limitados.



**Figura 4.5** Tipos de Conamedidas e os Respetivos Valores de FSI



**Figura 4.6** Curva ABC do BCR das Conamedidas

A partir dos resultados obtidos, observa-se que a contramedida faixa adicional (Via 2 + 1 com defesa/barreira) se destaca ao evitar 2.680 FSIs, que corresponde a aproximadamente 29% do total de fatalidades e lesões graves evitadas pelo programa como um todo. O valor presente do benefício de segurança dessa intervenção foi estimado em R\$ 239 milhões, o maior entre todas as contramedidas, o que demonstra a relevância dessa medida para mitigar sinistros em trechos de maior risco, como em ultrapassagens em vias de mão dupla. Apesar de seu custo elevado, de R\$ 160 milhões, o BCR de 1,5 justifica a intervenção ao oferecer um retorno positivo.

Outra contramedida que apresenta um impacto significativo é a duplicação da pista e defesa/barreira central, que evita 1280 FSIs, representando cerca de 14% do total. O valor presente dos benefícios alcança R\$ 114 milhões, com um custo estimado de R\$ 51,2 milhões e um BCR de 2,2. Essa contramedida é crucial em trechos com alta circulação de veículos, pois a duplicação de pista reduz o risco de colisões frontais ao separar fisicamente os fluxos de tráfego em sentidos opostos, proporcionando um ganho relevante para a segurança rodoviária.

Entre as contramedidas com excelente custo-benefício, destaca-se o *traffic calming*, com um BCR de 65,1. Essa intervenção, embora tenha evitado apenas 26,8 FSIs, apresenta um custo extremamente baixo, de R\$ 36.700, e um valor presente do benefício de segurança de R\$ 2,39 milhões. O elevado BCR mostra que medidas de redução de velocidade em áreas críticas são muito eficazes para melhorar a segurança com um investimento mínimo.

De maneira similar, o refúgio físico também se mostrou altamente eficaz, com um BCR de 21,2, indicando uma relação extremamente favorável entre o custo de implantação (R\$ 597 mil) e os benefícios proporcionados (R\$ 12,7 milhões). Isso demonstra que investimentos em infraestrutura para pedestres, especialmente em áreas urbanas e de interseções, são altamente impactantes.

Outras contramedidas são relativamente econômicas e impactam diretamente a visibilidade e a clareza das vias para os condutores, reduzindo a probabilidade de sinistros, por exemplo, da iluminação pública e sinalização em intervenções. A sinalização, horizontal e vertical, apresentaram BCRs de 6,1 e 5,1, respectivamente. A iluminação pública em interseções evitou 567 FSIs, com um valor presente dos benefícios de R\$ 50,5 milhões e um custo de R\$ 8,23 milhões, o que justifica fortemente sua implementação.

Contramedidas de maior custo, tais como “defensas/barreiras na borda da pista – lado do passageiro”, também são fundamentais para a segurança. Essa medida evitou 980 FSIs, com um valor presente dos benefícios de R\$ 87,3 milhões e um custo estimado de R\$ 51,6 milhões, resultando em um BCR de 1,7. Embora o custo seja considerável, a implementação de barreiras para prevenir saídas de pista em alta velocidade é essencial para reduzir fatalidades.

Por outro lado, contramedidas com BCR inferior a 2, como "Pavimentar acostamento – lado do passageiro (>1m)" (BCR = 1,2) e "Melhorar delineamento" (BCR = 1,0), mostram uma relação menos favorável entre custo e benefício. Essas intervenções ainda podem ser importantes, mas sua implementação deve ser reavaliada em termos de prioridade, especialmente quando o orçamento é limitado, e pode ser necessário priorizar contramedidas com impacto mais significativo na redução de sinistros.

Com base nos dados apresentados, fica evidente que o PIRMS proposto é eficaz, apresentando um BCR geral de 2,1, indicando que os benefícios superam amplamente os custos das contramedidas. A metodologia iRAP demonstrou ser uma ferramenta robusta para a identificação e priorização de medidas de segurança viária, orientando a tomada de decisão para intervenções que maximizam a segurança dos usuários da rodovia com um uso eficiente dos recursos disponíveis.

Assim, a análise dos resultados reforça a importância de priorizar contramedidas com alto BCR e que proporcionem uma redução substancial nos FSIs, como duplicações de pista, faixas adicionais, iluminação pública, e dispositivos de segurança para pedestres e ciclistas. A implementação coordenada e planejada dessas contramedidas contribuirá significativamente para atingir a meta de aumentar a classificação por estrelas das rodovias, melhorando a segurança e reduzindo drasticamente os sinistros e suas consequências graves.

As obras previstas no CAPEX, portanto, foram incorporadas nas planilhas de codificação e realizadas simulações com os cenários do ano base. Logo, com base nas demais obras previstas nos estudos e no cronograma dos investimentos, foram realizadas simulações da classificação por estrelas para identificar a classificação por estrelas ao longo da concessão, sendo realizadas simulações para o ano 0, o ano 14 e o ano 30 da concessão.

## 4.2 ANÁLISE DAS CONTRAMEDIDAS SUGERIDAS

Conforme já informado, a análise estatística foi realizada para o segmento entre Laranjeiras do Sul e Foz do Iguaçu, desta forma, objetivando auxiliar na análise deste trecho, foi realizada uma avaliação qualitativa das contramedidas sugeridas e a tipologia de sinistros observadas.

Para possibilitar a comparação das contramedidas recomendadas nos estudos iRAP com os dados dos sinistros, foi necessário associar um código SNV (Sistema Nacional de Viação) à planilha de sinistros. Essa associação tornou-se crucial porque a classificação iRAP das concessões foi organizada por código SNV, enquanto os sinistros e as contramedidas foram registrados por quilômetro. Dessa forma, um critério foi estabelecido para compatibilizar as informações: dentro de cada segmento SNV, o ponto com a maior ocorrência de sinistros foi selecionado, e os dados referentes à faixa de 1 km foram agregados nesse ponto (isto é, do quilômetro "X,0" até "X,9").

A análise concentrou-se nos pontos de maior acidentalidade dentro de cada segmento SNV, não levando em conta toda a extensão da rodovia entre Laranjeiras do Sul e Foz do Iguaçu. Esse procedimento permitiu uma avaliação mais abrangente, incluindo trechos rurais, urbanos e de transição.

Para facilitar a interpretação das informações, foi elaborada uma planilha sumarizando os principais pontos críticos e suas respectivas contramedidas, conforme apresentado no APÊNDICE C – QUADRO RESUMO DOS PONTOS CRÍTICOS E RESPECTIVAS CONTRAMEDIDAS.

A implementação de contramedidas contribui para a segurança viária, entretanto em algumas situações, não melhoraram a classificação por estrelas. Destacando que, a classificação aborda diferentes usuários da via. Por exemplo, o quilômetro 472, onde a classificação melhorou para os veículos, mas não para os pedestres. Neste caso, a contramedida foi a remoção de perigos nas margens da pista, sem relação direta com travessias de pedestres, o que explica a ausência de impacto para esse grupo de usuários.

Outra situação observada é a piora na classificação iRAP para determinados tipos de usuários após a implementação de contramedidas. No quilômetro 605, por exemplo, as defensas e sonorizadores no canteiro central e ao longo dos acostamentos resultaram em uma queda na

classificação para motociclistas, pedestres e ciclistas. Esse trecho, de pista simples e próximo a um acesso rural, explica os resultados dentro das condições observadas.

Para auxiliar na análise das contramedidas, foram utilizados conceitos do Manual de Medidas de Segurança Viária, da Fundação Mapfre (ELVIK *et al.*, 2015), que aborda a eficácia das contramedidas recomendadas. Segundo o manual, a iluminação viária reduz significativamente os sinistros noturnos, principalmente em interseções e passagens de pedestres. Os pontos destacados para essa contramedida apresentaram as seguintes características:

- Km 456: Colisões transversais e traseiras, sem mortes, pista simples, trecho rural próximo a povoado;
- Km 592: Colisões transversais, com mortes, pista simples, reta, trecho urbano;
- Km 690: Saídas de pista e colisões traseiras, com mortes, pista dupla, reta, trecho urbano;
- Km 693: Colisões transversais e traseiras, sem mortes, pista dupla, reta, trecho rural próximo a retorno em povoado;
- Km 726: Colisões transversais, sem mortes, pista dupla, cruzamento em trecho urbano.

Conforme a literatura, a iluminação viária contribui significativamente para a redução de sinistros em pontos com determinadas características, sobretudo em cruzamentos e travessias de pedestres. Os pontos avaliados apresentam os requisitos para receber iluminação com medida de segurança viária a única exceção é o quilômetro 456, um trecho essencialmente rural sem cruzamentos ou travessias de pedestres.

A contramedida de remoção de objetos perigosos nas margens da via foi indicada para diversos pontos (como os quilômetros 472, 484, 531, 536, entre outros). A remoção de tais perigos é uma medida relativamente simples e de baixo custo, geralmente eficaz para reduzir a gravidade dos sinistros, especialmente em locais com alta ocorrência de saídas de pista.

Outra contramedida relevante são os canteiros centrais, que separam fluxos opostos e contribuem para a redução de colisões frontais. Nos quilômetros 484, 574 e 640, em pistas

simples, a implementação dessa medida foi recomendada para disciplinar o tráfego e reduzir a velocidade, especialmente em áreas próximas a vilarejos.

Sonorizadores foram sugeridos para diversos pontos (como os quilômetros 531, 536, 605, entre outros). Estes dispositivos são eficazes para alertar motoristas sonolentos ou distraídos, especialmente em trechos com alta incidência de saídas de pista e falta de atenção.

As barreiras centrais foram recomendadas tanto para pistas simples quanto duplicadas, com o objetivo de separar fluxos de tráfego e reduzir colisões frontais, enquanto as barreiras laterais foram indicadas para prevenir saídas de pista, especialmente em áreas urbanas e curvas, como nos quilômetros 531, 536 e 660.

Por fim, a faixa adicional para ultrapassagem foi sugerida para os quilômetros 583, 633 e 637, trechos que, apesar de urbanizados, possuem características que favorecem a implantação desta medida para melhorar o fluxo de tráfego e reduzir os riscos de ultrapassagens perigosas.

Diante dessas observações, as contramedidas recomendadas pelo iRAP mostram-se eficazes para mitigar riscos viários nos pontos críticos analisados e os fins para que se destinam com relação os tipos de sinistros observados.

#### **4.3 CORRELAÇÃO ENTRE A CLASSIFICAÇÃO IRAP E OS SINISTROS**

Com base na metodologia apresentada no item 3.5 deste trabalho, os resultados da aplicação do teste Qui-Quadrado de Pearson serão apresentados com base nas teses propostas.

##### *i. Tese 1: Relação entre Classificação por Estrelas e Ocorrência de Sinistros*

A primeira tese teve como objetivo verificar se existe uma relação significativa entre a Classificação por Estrelas do iRAP e a ocorrência de sinistros de trânsito com vítimas feridas ou fatais. Para realizar essa análise, aplicou-se o teste de Qui-Quadrado de Pearson, com a finalidade de comparar a frequência de sinistros observados com as frequências esperadas, de acordo com as diferentes classificações por estrelas. A análise foi conduzida para todos os segmentos de 100 metros da rodovia inspecionada.



As frequências observadas e esperadas, apresentadas na Tabela 4.3, foram extraídas de uma tabela de contingência que cruza a Classificação por Estrelas do iRAP com os dados de sinistros fornecidos pela Polícia Rodoviária Federal (PRF).

Um ponto importante a ser destacado é que, em alguns desses segmentos de 100 metros, não houve registro de sinistros durante o período analisado. Para esses trechos, foi incluída na tabela de contingência uma categoria específica de "não ocorrência de sinistro de trânsito".

Com as frequências observadas e esperadas extraídas da tabela de contingência, a Equação 1, onde foi utilizada para calcular o valor de Qui-Quadrado, que serviu como base para determinar a existência ou não de uma relação estatisticamente significativa entre as variáveis analisadas.

**Tabela 4.3** Frequências Observadas e Esperadas da Ocorrência De Sinistros Viários de Acordo com a Classificação por Estrelas do iRAP

Sinistro de trânsito	Frequência	Classificação por Estrelas					Total
		1	2	3	4	5	
Ocorre	Observada	167	265	273	66	10	781
	Esperada	194,8	279,9	262,7	39,3	4,3	
Não ocorre	Observada	739	1037	949	117	10	2852
	Esperada	711,2	1022,1	959,3	143,7	15,7	

Ao analisar os resultados do teste de Qui-Quadrado de Pearson por meio do *software* R®, observa-se que o valor de Qui-Quadrado  $\chi^2$  é igual a 39,209, considerando 4 graus de liberdade que representam o número de observações independentes que há nas amostras analisadas, e *p-valor* igual a  $6,31 \times 10^{-8}$ .

Devido ao *p-valor* ser menor do que o *p-valor crítico* de 5%, pode-se rejeitar a hipótese nula ( $H_0$ ) e aceitar a hipótese alternativa ( $H_1$ ), que infere que a ocorrência de sinistros viários com vítimas feridas e fatais tem relação com a Classificação por Estrelas do iRAP e, conseqüentemente, com o nível de risco da rodovia.

Metas Globais de Segurança no Trânsito (OMS, 2017) estabelecem como um de seus objetivos que, até 2030, mais de 75% das viagens em vias já existentes ocorram em vias com alto padrão de segurança viária, ou seja, atinjam a classificação de 3 estrelas ou mais pelo iRAP. Dessa forma, a fim de que a avaliação da efetividade do iRAP seja feita em concordância com estas metas, a mesma avaliação, considerando a mesma hipótese nula ( $H_0$ ) e hipótese alternativa ( $H_1$ ),

foi realizada levando em consideração os segmentos de 100 metros agrupados em 1 ou 2 estrelas e em 3, 4 ou 5 estrelas. As frequências observadas e esperadas desta análise são apresentadas na Tabela 4.4.

**Tabela 4.4** Frequências observadas e esperadas da ocorrência de sinistros viários de acordo com as Metas Globais de Segurança no Trânsito

Sinistro de trânsito	Frequência	Classificação por Estrelas		Total
		1 ou 2	3, 4 ou 5	
Ocorre	Observada	432	349	781
	Esperada	474,7	306,3	
Não ocorre	Observada	1776	1076	2852
	Esperada	1733,3	1118,7	

Assim como na análise anterior, as frequências observadas e esperadas, demonstradas na Tabela 2, compõem a tabela de contingência, que cruza a Classificação por Estrelas do iRAP com a ocorrência de sinistros de trânsito registrados pela PRF. Essa abordagem permite uma compreensão mais abrangente da relação entre a classificação de segurança viária pelo iRAP e a incidência de sinistros.

Analisando os resultados do teste de Qui-Quadrado de Pearson, realizado no *software* R®, tem-se que o valor de Qui-Quadrado  $\chi^2$  é igual a 12,453, considerando 1 grau de liberdade como o número de observações independentes nas amostras analisadas, e *p-valor* igual a  $4,17 \times 10^{-4}$ .

Como o *p-valor* é menor do que o *p-valor*<sub>crítico</sub> de 5%, pode-se rejeitar a hipótese nula e aceitar a hipótese alternativa, que infere que a ocorrência de sinistros viários com vítimas feridas e fatais tem relação com a Classificação por Estrelas do iRAP, ou seja, que estes ocorrem em locais de rodovia com maior risco à segurança viária.

As frequências observadas foram significativamente maiores em vias classificadas com 1 ou 2 estrelas (sinistros observados: 167 e 265, respectivamente). Em ambos os casos os *p-valor* obtidos demonstram uma associação estatisticamente significativa entre a classificação iRAP e a ocorrência de sinistros. As vias de 1 e 2 estrelas apresentam, assim, uma predominância de sinistros, o que vai ao encontro das Metas Globais de Segurança no Trânsito da OMS (2017), que visam reduzir esses riscos até 2030, inclusive com metas de vias com padrões mínimos de 3 estrelas na classificação iRAP.

ii. *Tese 2: Relação entre Indicação de Contramedidas e Ocorrências de Sinistros*

O segundo estudo realizado consistiu em identificar se a ocorrência de sinistros de trânsito com vítimas feridas ou fatais tem relação com a indicação das contramedidas do iRAP. Para isso, cada um dos sinistros de trânsito foi analisado, identificando se havia alguma contramedida indicada, independentemente do seu tipo ou se esta focava nos ocupantes de veículos ou em outros usuários.

Para realizar essa análise, foi suposto que a indicação de contramedidas ocorresse de forma aleatória. Em outras palavras, pode-se entender que a frequência esperada de sinistros de trânsito com indicação de contramedida se distribui de forma equilibrada.

Dessa forma, tem-se que as frequências observadas e esperadas, apresentadas na Tabela 4.5, compõem o cruzamento da indicação de contramedidas do iRAP com a ocorrência de sinistros de trânsito. Ressalta-se, ainda, nesta tabela de contingência, que a indicação de contramedida é um dos resultados da aplicação do iRAP e esta ocorre para cada segmento de 100 metros da via.

**Tabela 4.5** Frequências Observadas e Esperadas dos Sinistros Viários com e sem Indicação de Contramedida do iRAP

	<b>Frequência</b>	<b>Com indicação de contramedida</b>	<b>Sem indicação de contramedida</b>	<b>Total</b>
Ocorrência de sinistros com vítimas graves ou fatais	Observada	798	1259	2057
	Esperada	1028,5	1028,5	2057

Analisando os resultados do teste de Qui-Quadrado de Pearson, realizado por meio do *software R*<sup>®</sup>, tem-se que o valor de Qui-Quadrado  $\chi^2$  é igual a 103,32, considerando 1 grau de liberdade como o número de observações independentes nas amostras analisadas, e *p-valor* igual a  $2,2 \times 10^{-16}$ .

Como o *p-valor* é menor do que o *p-valor*<sub>crítico</sub> igual a 5%, pode-se rejeitar a hipótese nula e aceitar a hipótese alternativa, que infere que a ocorrência de sinistros viários com vítimas feridas ou fatais tem relação estatística com a indicação da contramedida, independentemente do seu tipo ou do seu foco, em termos de usuário.

Esta tese, que examinou a relação entre a ocorrência de sinistros e a indicação de contramedidas, apontou que, dos 2.057 sinistros analisados, 798 ocorreram em trechos com a indicação de contramedidas, enquanto 1.259 ocorreram em trechos sem a indicação de contramedidas. Este resultado contradiz ao esperado, uma vez que, as contramedidas deveriam ser indicadas para lugares com maior ocorrência de sinistros, graves ou fatais.

O fato citado acima, serve de alerta para a aplicação do iRAP e pode ter relação com causas de sinistros que não estejam efetivamente relacionadas à infraestrutura e não são devidamente tratadas pela metodologia, podendo por exemplo, estarem ligadas ao comportamento dos condutores.

A fim de aprofundar a discussão acerca das contramedidas propostas pelo iRAP, se realizou um terceiro estudo, avaliando se, para os locais que tiveram indicação de contramedidas, os focos das intervenções estariam relacionados com os tipos dos sinistros registrados pela PRF.

### *iii. Tese 3: Tipos de Sinistros e Focos das Contramedidas*

O último estudo realizado versou sobre a relação entre o tipo de sinistro de trânsito registrado pela PRF e o foco das contramedidas do iRAP, seja em relação ao seu tipo, seja em relação ao usuário envolvido.

Para isso, foi necessário identificar uma relação entre a abordagem mais específica dos sinistros de trânsito feita pela PRF e a abordagem de sinistros de trânsito do iRAP. Além disso, como o iRAP diferencia alguns sinistros em relação ao lado do condutor e lado do passageiro, ou à sua causa, também foi realizada uma simplificação na classificação desses sinistros do iRAP, conforme apresentado na Tabela 4.6.

Em relação às contramedidas do iRAP, estas são indicadas de acordo com os atributos viários avaliados a cada 100 metros de via inspecionada, considerando, também, seu potencial benefício financeiro em relação ao número de mortes e feridos graves evitados.

Considerando a capacidade do iRAP de reduzir o risco em cada seção da via por meio de múltiplas contramedidas, foi crucial escolher uma contramedida para cada seção, priorizando aquela com o melhor custo-benefício. Dado que as contramedidas do iRAP podem variar,

inclusive em relação ao lado de sua implementação, o grupo das contramedidas foi considerado como foco das análises propostas.

**Tabela 4.6** Correspondência entre os Tipos de Sinistros conforme a PRF e o iRAP

Polícia Rodoviária Federal	iRAP	
	Completa	Agrupada
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Capotamento</li> <li>– Queda de ocupante de veículo</li> <li>– Saída de leito carroçável</li> <li>– Tombamento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Saída de pista devido à perda de controle – lado do condutor</li> <li>– Saída de pista devido à perda de controle – lado do passageiro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Saída de pista devido à perda de controle</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Colisão com objeto em movimento</li> <li>– Colisão frontal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Colisão frontal devido à perda de controle</li> <li>– Colisão frontal devido à ultrapassagem</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Colisão frontal devido à perda de controle e à ultrapassagem</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Colisão com objeto estático</li> <li>– Colisão lateral</li> <li>– Colisão transversal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Interseção</li> <li>– Acesso a propriedades</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Em interseção e nos acessos a propriedades</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Atropelamento de pedestre</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Ao longo da via</li> <li>– Travessia de pedestres na via transversal</li> <li>– Travessia de pedestres na via de inspeção</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Envolvendo pedestres ao longo da via, na via inspecionada ou na via transversal</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Atropelamento de animal</li> <li>– Colisão traseira</li> <li>– Danos eventuais</li> <li>– Derramamento de carga</li> <li>– Engavetamento</li> <li>– Incêndio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Outros</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Outros</li> </ul>

Em relação ao estudo realizado neste artigo, foi identificado que, das 2.057 seções de via com ocorrência de sinistros de trânsito, 797 seções tiveram alguma contramedida indicada. Com isto posto, a tabela de contingência, apresentada na Tabela 4.7, contém as frequências observadas e esperadas dos tipos de sinistros de trânsito, já simplificados conforme apresentado anteriormente, e o foco das contramedidas propostas pelo iRAP.

**Tabela 4.7** Frequências Observadas e Esperadas dos Tipos de Sinistros e o Grupo das Contramedidas Propostas pelo iRAP

Tipo de Sinistro de Trânsito	Frequência	Contramedidas Propostas									Total
		Barreira de Segurança na Lateral da Via	Barreira Física	Calçadas para pedestres	Canteiro Central Fictício ou Zebrado Central	Delineamento	Pista Adicional	Segurança na lateral da via – remoção de risco	Sonorizador de Pista / Poste Flexível	Travessia de Pedestres	
Colisão frontal devido à perda de controle e à ultrapassagem	Observada	4	8	0	19	11	0	27	1	1	71
	Esperada	3,3	11,0	0,5	14,9	9,9	0,4	28,9	1,1	1,0	
Em interseção e nos acessos a propriedades	Observada	14	48	1	67	60	3	90	3	7	293
	Esperada	13,6	45,6	2,2	61,4	40,8	1,8	119,1	4,4	4,0	
Envolvendo pedestres ao longo da via, na via inspecionada ou na via transversal	Observada	3	8	0	18	8	0	23	1	0	61
	Esperada	2,8	9,5	0,5	12,8	8,5	0,4	24,8	0,9	0,8	
Outros	Observada	6	33	1	38	13	1	64	0	2	158
	Esperada	7,3	24,6	1,2	33,1	22,0	1,0	64,2	2,4	2,2	
Saída de pista devido à perda de controle	Observada	10	27	4	25	19	1	120	7	1	214
	Esperada	9,9	33,3	1,6	44,8	29,8	1,3	87,0	3,2	3,0	

Como pode ser observado pela Tabela 4.7, existem algumas células da tabela de contingência que possuem frequência esperada menor que 5, como, por exemplo, a contramedida de implantação de calçada para pedestres, a implantação de uma faixa adicional, entre outras. Entretanto, mesmo que a quantidade dessas células não seja suficiente para reduzir o poder do

teste de Qui-Quadrado de Pearson, foi realizado um novo agrupamento de categorias objetivando diminuir o número baixo de frequência esperada.

Neste sentido, os seguintes grupos de contramedidas foram agrupados como “Outros”: Calçadas para Pedestres; Pista Adicional; Sonorizador de Pista/Poste Flexível; e Travessia de Pedestres. Sendo assim, a Tabela 4.8 apresenta as frequências observadas e esperadas com esse agrupamento citado.

**Tabela 4.8** Frequências Observadas e Esperadas dos Tipos de Sinistros e o Grupo das Contramedidas do iRAP

<b>Tipo de Sinistro de Trânsito</b>	<b>Frequência</b>	<b>Barreira de Segurança na Lateral da Via</b>	<b>Barreira Física</b>	<b>Canteiro Central Fictício ou Zebrado Central</b>	<b>Delineamento</b>	<b>Segurança na lateral da via – remoção de risco</b>	<b>Outros</b>	<b>Total</b>
Colisão frontal devido à perda de controle e à ultrapassagem	Observada	4	8	19	11	27	2	71
	Esperada	3,3	11,0	14,9	9,9	28,9	3,0	
Em interseção e nos acessos a propriedades	Observada	14	48	67	60	90	14	293
	Esperada	13,6	45,6	61,4	40,8	119,1	12,5	
Envolvendo pedestres ao longo da via, na via inspecionada ou na via transversal	Observada	3	8	18	8	23	1	61
	Esperada	2,8	9,5	12,8	8,5	24,8	2,6	
Outros	Observada	6	33	38	13	64	4	158
	Esperada	7,3	24,6	33,1	22,0	64,2	6,7	
Saída de pista devido à perda de controle	Observada	10	27	25	19	120	13	214
	Esperada	9,9	33,3	44,8	29,8	87,0	9,1	

Analisando a tabela de contingência apresentada na Tabela 4.8, é possível identificar que o agrupamento dos focos das contramedidas, como apresentado anteriormente, contém menos células com menos do que 5 observações. Dessa forma, o poder do teste de Qui-Quadrado de Pearson aumenta. Sendo assim, analisando os resultados deste teste a partir do *software R*<sup>®</sup>, tem-se que o valor de Qui-Quadrado  $\chi^2$  é igual a 59,919, considerando 20 graus de liberdade

como o número de observações independentes nas amostras analisadas, e *p-valor* igual a  $7,33 \times 10^{-6}$ .

Como o *p-valor* é menor do que o *p-valor*<sub>crítico</sub> igual a 5%, pode-se rejeitar a hipótese nula e aceitar a hipótese alternativa, que infere que o tipo de sinistros viários e o foco das contramedidas do iRAP, seja em relação ao tipo de sinistro de trânsito, seja em relação ao usuário envolvido, são dependentes.

Na terceira tese, a relação entre o tipo de sinistro e o foco das contramedidas indicou que para sinistros como saída de pista, as contramedidas predominantes foram a remoção de risco na lateral da via (120 ocorrências), enquanto sinistros de colisão frontal foram mais frequentes em locais onde foram indicadas melhorias no canteiro central (19 ocorrências), onde se infere que existe uma relação entre o tipo de sinistro de trânsito e o foco das contramedidas do iRAP.

#### **4.4 AVALIAÇÃO DE CUSTO-BENEFÍCIO**

A metodologia iRAP permite que no mesmo segmento haja diferentes combinações de contramedidas, sendo que cada uma delas gera diferentes graus de eficiência. Entretanto, a metodologia leva em consideração o fato de que a combinação de dois fatores pode gerar eficiência diferente da soma daquelas geradas individualmente. Ou seja, duas contramedidas executadas ao mesmo tempo vão resultar em um grau de eficiência diferente do que a soma delas, quando analisadas de forma isolada.

Logo, esse cálculo ocorre com a aplicação de um “Fator de Correção Múltiplo de Contramedida”, aplicado a cada segmento para cada tipo de sinistro, o que afeta diretamente o valor presente de BCR referente ao conjunto de contramedidas.

Os valores apresentados neste relatório são calculados a partir dessa premissa constante no software ViDA e a interação entre os fatores e as contramedidas vão alterando os cálculos e resultados durante a compilação dos dados, afetando inclusive as avaliações de benefício e custo que vão sendo realizadas.

As metas da ONU estabelecem que todas as novas rodovias sejam construídas com, pelo menos, padrão mínimo de 3 estrelas, para todos os usuários da via (Meta 3), e que 75% das viagens devem ocorrer em vias classificadas com três ou mais estrelas (Meta 4), neste sentido, o PIRMS,



considerando os cenários projetados após implantação de todas as contramedidas, aponta que, para ocupantes de veículos e pedestres, a meta seria alcançada conforme demonstra o Quadro 4.2.

Destaca-se que os percentuais apresentados se referem à extensão da via onde a aplicação da metodologia é pertinente. Portanto, para motociclistas, pedestres e ciclistas, as áreas classificadas como “não aplicáveis” foram excluídas da análise de conformidade com a meta.

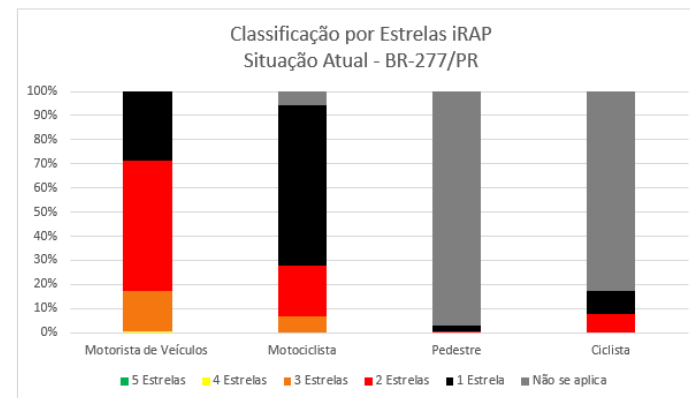
**Quadro 4.2** Classificação SRS Versus Meta 4 (ONU)

<b>Meta 4 - 75% das viagens 3 ou mais estrelas</b>		
<b>Extensão: 535, 4 km</b>		
<b>Tipo de usuário</b>	<b>Cenário atual</b>	<b>Cenário após aplicação de contramedidas</b>
Ocupante de veículos	17,4%	92,7%
Motociclistas	7,4%	35,0%
Pedestres	8,9%	91,7%
Ciclistas	1,3%	3,8%

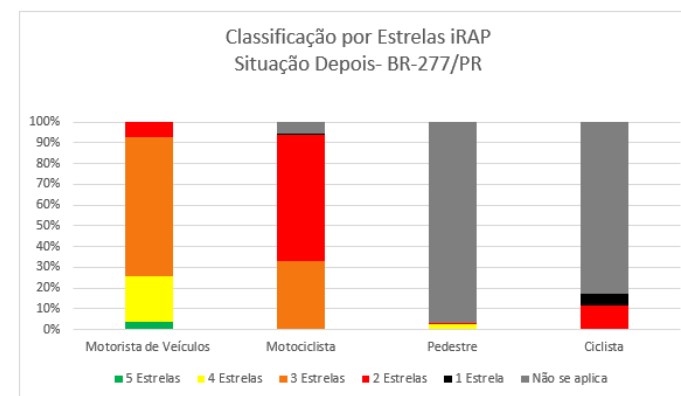
Os cenários projetados são representações da classificação por estrelas da via após a implementação das contramedidas e podem ser gerados para cada tipo de usuário, sendo uma base de dados importante no auxílio à tomada de decisão quanto à priorização de investimentos financeiros.

O comparativo da classificação por estrelas entre o cenário atual da malha rodoviária estudada e o cenário com a aplicação das contramedidas indicados no PIRMS, para cada tipo de usuário (veículos, motociclistas, ciclistas e pedestres), está apresentado na Figura 4.7.

Classificação por Estrelas (BR-277/PR)								
Cenário Atual								
Classificação por Estrelas	Motorista de Veículos		Motociclista		Pedestre		Ciclista	
	km	%	km	%	km	%	km	%
5 Estrelas	0,1	0,0%	0	0,0%	1	0,2%	0	0,0%
4 Estrelas	4,1	0,8%	0	0,0%	0,1	0,0%	0	1,0%
3 Estrelas	89	16,6%	37,2	6,9%	0,4	0,1%	1,2	2,7%
2 Estrelas	289,8	54,1%	113	21,1%	1,4	0,3%	40,3	1,1%
1 Estrela	152,4	28,5%	354,9	66,3%	13,9	2,6%	50,5	0,2%
Não se aplica	0	0,0%	30,3	5,7%	518,6	96,9%	443,4	93,6%
<b>Total</b>	<b>535,4</b>	<b>100,0%</b>	<b>535,4</b>	<b>100,0%</b>	<b>535,4</b>	<b>100,0%</b>	<b>535,4</b>	<b>100,0%</b>
Classificação >=3 Estrelas (Atual)	93,20	17,4%	37,20	7,4%	1,50	8,9%	1,20	1,3%
Meta 3 a ser alcançada (ONU)	401,55	75,0%	401,55	75,0%	12,60	75,0%	69,00	75,0%



Classificação por Estrelas (BR-277/PR)								
Cenário Projetado - Após Implementação IRAP								
Classificação por Estrelas	Motorista de Veículos		Motociclista		Pedestre		Ciclista	
	km	%	km	%	km	%	km	%
5 Estrelas	19,4	3,62%	0	0,00%	1,8	0,34%	0	0,00%
4 Estrelas	117,3	21,91%	0,8	0,15%	11,8	2,20%	0	1,00%
3 Estrelas	359,5	67,15%	176	32,87%	1,8	0,34%	3,5	2,73%
2 Estrelas	39,2	7,32%	324,8	60,66%	1,4	0,26%	60	1,12%
1 Estrela	0	0,00%	3,5	0,65%	0	0,00%	28,5	0,15%
Não se aplica	0	0,00%	30,3	5,66%	518,6	96,86%	443,4	93,58%
<b>Totais</b>	<b>535,4</b>	<b>100,00%</b>	<b>535,4</b>	<b>100,00%</b>	<b>535,4</b>	<b>100,00%</b>	<b>535,4</b>	<b>100,00%</b>
Classificação >=3 Estrelas (Projetada)	496,20	92,7%	176,80	35,0%	15,40	91,7%	3,50	3,8%
Meta 3 a ser alcançada (ONU)	401,55	75,0%	401,55	75,0%	12,60	75,0%	69,00	75,0%



**Figura 4.7** Comparativo de Classificação por Estrelas – Cenário Atual x Projetado

Os resultados indicam que, embora os investimentos propostos pela metodologia iRAP tenham melhorado significativamente a segurança para motociclistas, o percentual de vias com três ou mais estrelas ainda não atinge a meta de 75%. Isso demonstra a necessidade de medidas complementares, além das melhorias na infraestrutura, como ações educativas que visem à conscientização dos motoristas e à promoção de práticas mais seguras no trânsito.

No caso dos ciclistas, observa-se que a relação custo-benefício para a implantação de ciclovias não é tão favorável, resultando em impactos limitados para esse grupo de usuários. Para alcançar resultados mais efetivos, serão necessárias análises mais individualizadas, a fim de explorar a viabilidade de novos cenários e possíveis intervenções específicas que possam melhorar a segurança e as condições de tráfego para os ciclistas.

Os benefícios da implantação das soluções propostas na metodologia são oriundos da diminuição de sinistros com vítimas fatais e lesões graves, objetivando alcançar às metas internacionais (Década da Ação de Segurança Viária) e nacionais (PNATRANS) que visam minimizar em 50%, no mínimo, as mortes causadas no trânsito.

A metodologia fornece um panorama frente ao número de vítimas fatais e graves evitadas com a implementação de uma medida, a cada trecho de 100 metros, designado como FSI. O FSI é calculado antes, na situação presente da via, e depois, com a aplicação das contramedidas, permitindo estimar a quantidade de vidas poupadas com a melhoria da via, buscando atender o conceito de visão zero, na qual, estima, que nenhuma morte no trânsito é aceitável.

Quanto a aplicação na BR-277/PR, tem-se que, além de uma infraestrutura mais segura para todos os tipos de usuários, em um período de 30 anos, as intervenções aplicadas podem salvar 9.152 vidas. Os Quadros 4.3 e 4.4 apresentam as projeções frente aos números de óbitos e números de lesões graves anualmente.

**Quadro 4.3** Estimativa de Óbitos no Paraná

<b>CENÁRIO IDEAL</b>	<b>Óbitos veículos</b>	<b>Óbitos Motocicleta</b>	<b>Óbitos Pedestres</b>	<b>Óbitos Ciclistas</b>	<b>Óbitos Total</b>	<b>Óbitos Evitados por ano</b>
<b>Atual</b>	30	3	3	1	37	-
<b>Projetado</b>	13	1	1	1	16	16

**Quadro 4.4** Estimativa de Feridos Graves no Paraná

<b>CENÁRIO IDEAL</b>	<b>Feridos Graves Veículos</b>	<b>Feridos Graves Motocicletas</b>	<b>Feridos Graves Pedestres</b>	<b>Feridos Graves Ciclistas</b>	<b>Feridos Graves Total</b>	<b>Feridos Graves Evitados por ano</b>
<b>Atual</b>	663	70	61	5	800	-
<b>Projetado</b>	290	28	27	4	349	451

Observa-se que o valor de FSI não corresponde à mera soma do número de sinistros dispostos nos bancos de dados referentes aos óbitos e feridos graves evitados. Na verdade, para a definição do FSI, é levada em consideração o fluxo de cada tipo de usuário e o número de mortes causadas por cada tipo de sinistro – que podem ser, por exemplo, frontal, saída de pista, de interseção. A partir disso, a metodologia em análise estima o número de lesões graves e fatalidades evitadas. Vale lembrar também que, o valor a combinação de contramedidas pode ser menor que a soma de cada uma delas quando analisadas de forma isolada. Além disso, o método não permite a inserção dos sinistros classificados como “outros”, que existe nos bancos de dados.

O cenário projetado demonstra que, anualmente, seriam evitados aproximadamente 451 feridos graves e 16 óbitos no trecho da BR-277. Ao associar esse cenário aos dados de sinistro de 2023, com base em uma metodologia reativa, ou seja, com base nos dados de sinistros, temos que ocorreram 1.090 sinistros no trecho em análise da BR-277 do PR, resultando em 816 feridos graves e 99 óbitos.

Com foco em atender as metas oriundas do PNATRANS e da ONU, para 2030, podemos realizar a projeção dos dados de FSI obtidos através da metodologia iRAP. Assim sendo, após a implantação das contramedidas no cenário atual, tendo em vista às lesões graves evitáveis temos uma redução anual de 55,3% e para os óbitos uma redução de 16,2%, comparado aos dados relativos ao ano de 2023.

## 5 CONCLUSÕES

Apesar do desafio global de reduzir sinistros e fatalidades no trânsito, a alocação de recursos para melhorias na infraestrutura rodoviária é uma questão complexa, agravada por crises como pandemias, conflitos e desastres naturais. Com recursos cada vez mais limitados, é essencial desenvolver estudos que evidenciem os benefícios e retornos dos investimentos em segurança viária, demonstrando a eficácia de ações tanto de grande como de pequeno porte.

Este estudo investigou a aplicação da metodologia iRAP (*International Road Assessment Programme*) em um projeto de concessão rodoviária no estado do Paraná, Brasil, visando avaliar a eficácia das contramedidas de segurança viária e sua relação custo-benefício. A metodologia iRAP foi utilizada para identificar pontos críticos nas rodovias e propor soluções de engenharia que reduzissem a frequência e severidade dos sinistros de trânsito.

Os dados obtidos demonstram que, com a implementação das contramedidas sugeridas pela metodologia iRAP, seria possível evitar cerca de 9.152 sinistros, resultando em uma economia estimada de R\$ 815 milhões, revelando que as contramedidas propostas seriam eficazes, especialmente em trechos de alto risco, como melhorias nos acostamentos e infraestrutura geral, contribuindo significativamente para a mitigação de riscos.

As análises estatísticas realizadas utilizando o teste de Qui-Quadrado de Pearson demonstraram que existe uma relação significativa entre a Classificação por Estrelas (SRS) e a frequência de sinistros com vítimas. Trechos de alto risco, classificados com 1 ou 2 estrelas, concentraram a maior parte dos acidentes com vítimas fatais ou feridas. Em contrapartida, trechos com 3 ou mais estrelas apresentaram menos sinistros, confirmando a eficácia do iRAP como um preditor confiável de risco viário. O valor de Qui-Quadrado  $\chi^2$  é igual a 12,453, considerando 1 grau de liberdade, e  $p_{valor}$  igual a  $4,17 \times 10^{-4}$ .

Também foi verificado que a ocorrência de sinistros viários com vítimas feridas ou fatais tem uma associação significativa com a contramedida indicada pelo iRAP, independentemente do seu tipo ou do seu foco, em termos de usuário. O Teste Qui-Quadrado revelou um  $\chi^2$  de 103,32 e um  $p_{valor}$  de  $2,2 \times 10^{-16}$ . Para testar essa tese, cada um dos sinistros foi analisado, identificando se havia alguma contramedida, independentemente do seu tipo ou foco (a indicação de contramedidas ocorre de forma aleatória). Entretanto, esse teste apresentou resultado contrário

ao esperado, uma vez que, as contramedidas deveriam ser indicadas para lugares com maior ocorrência de sinistros, graves ou fatais. Este fato serve de alerta para a aplicação do iRAP e pode ter relação com causas de sinistros que não estejam efetivamente relacionadas à infraestrutura e não são devidamente tratadas pela metodologia, podendo por exemplo, estarem ligadas ao comportamento dos condutores.

Para complementar o teste, foi avaliada a tese de que existe uma relação entre o tipo de sinistro e o foco da contramedida. O valor de Qui-Quadrado  $\chi^2$  é igual a 59,919, considerando 20 graus de liberdade, e  $p_{valor}$  igual a  $7,33 \times 10^{-6}$ . Com isso, pode-se inferir que o tipo de sinistro viário e o foco das contramedidas iRAP, seja em relação ao tipo de sinistro de trânsito, seja em relação ao usuário envolvido, são dependentes. Por exemplo, sinistros do tipo saída de pista, tiveram uma forte relação com a implementação de barreiras de segurança nas laterais das vias, demonstrando a importância de proteger essas áreas. Já colisões em interseções estavam associadas a contramedidas como a instalação de faixas de pedestres e melhorias na sinalização, sugerindo que essas intervenções podem reduzir sinistros em pontos críticos.

Também foi realizada a análise de custo-benefício das contramedidas. O índice BCR geral das contramedidas propostas foi de 2,1, indicando que os benefícios econômicos superam significativamente os custos envolvidos. Medidas como a instalação de iluminação pública em interseções, melhorias na sinalização horizontal e vertical, faixas adicionais (Via 2+1 com defesa/barreira), instalação de barreiras físicas, e adequação dos acostamentos apresentaram altos valores de BCR, destacando sua eficiência em termos de custo e impacto na segurança viária. Além disso, a faixa adicional evitou 2.680 sinistros graves ou fatais, gerando um benefício estimado de R\$ 239 milhões, com um BCR de 1,5.

O estudo também destacou que a adoção da metodologia iRAP se alinha com as metas do Plano Nacional de Redução de Mortes e Lesões no Trânsito (PNATRANS) e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU, que visam reduzir pela metade o número de mortes e lesões no trânsito até 2030. Os resultados do estudo fornecem evidências para embasar os investimentos em segurança viária, reforçando a importância de integrar critérios de segurança nos contratos de concessão rodoviária, como exigir um padrão mínimo de três estrelas na classificação iRAP. Com isso, projeta-se uma redução anual de aproximadamente 16% das fatalidades, contribuindo para alcançar o conceito de visão zero.

Além disso, as implicações práticas para gestores de concessões e formuladores de políticas públicas são claras: investir em segurança viária não só atende aos requisitos regulatórios, mas também é uma estratégia economicamente vantajosa. As limitações do estudo, como dificuldades na obtenção de dados homogêneos e variações nas características das rodovias, destacam a necessidade de um sistema robusto de coleta e análise de dados. Também se deve ter cautela na utilização do iRAP no que se refere a possíveis diferenças nas informações dos sinistros de trânsito disponíveis, como, por exemplo, os tipos de sinistros considerado na base de dados da PRF e os tipos considerados no iRAP.

Para futuras pesquisas, recomenda-se ampliar a aplicação da metodologia iRAP em outros estados e integrar novas tecnologias, como sistemas de monitoramento em tempo real, para adaptar rapidamente as estratégias de segurança.

Em conclusão, a aplicação da metodologia iRAP em concessões rodoviárias no Brasil demonstra ser uma abordagem eficaz e sustentável economicamente para promover a segurança viária e obter um retorno econômico significativo. Este estudo fornece evidências empíricas sobre a eficácia das contramedidas no contexto brasileiro e indica a possibilidade de replicar o modelo para outros projetos de concessões no país. A adoção de abordagens baseadas em evidências e orientadas pela segurança é um passo fundamental para melhorar continuamente as condições do trânsito, salvando vidas e contribuindo para a alocação eficiente e responsável dos recursos disponíveis. Entretanto, deve-se observar as limitações e cautelas na aplicação da metodologia iRAP, conforme já registrado.

## **5.1 LIMITAÇÕES DO TRABALHO**

O presente estudo baseou-se em dados de sinistros e na análise iRAP de um trecho específico de rodovia federal, permitindo que as conclusões e inferências derivassem de um caso real. No início do desenvolvimento do trabalho, foi realizada uma busca por trechos no Brasil onde fosse possível comparar as estatísticas de sinistros antes e depois da implementação das contramedidas iRAP, o que proporcionaria uma análise direta da eficácia da metodologia na redução do número e da severidade dos sinistros. No entanto, não foram encontrados casos que atendessem a esses critérios.

A motivação central deste estudo foi avaliar a aplicação prática do iRAP em uma situação real da rodovia, considerando não apenas a situação atual, mas também uma projeção futura após a

implementação das contramedidas previstas no plano de investimento. O estudo apresenta, assim, um potencial para que, em alguns anos, seja possível realizar uma nova análise, comparando as estatísticas de sinistros antes e depois das intervenções.

É importante salientar que uma rodovia não é estática ao longo do tempo; suas características podem mudar devido ao aumento no volume e na composição do tráfego, além de transformações nas ocupações lindeiras. Além disso, a rodovia pode passar por intervenções como manutenção, melhorias na sinalização, ampliação e adequação de sua capacidade. O banco de dados utilizado para os sinistros abrange informações desde 2007, e nesta análise, não foram feitas ponderações sobre possíveis alterações nas condições da rodovia ao longo dos anos, como intervenções físicas ou fenômenos como expansão urbana ou polos geradores de tráfego, que poderiam influenciar as estatísticas de sinistros. Apesar da solidez dos resultados, essa observação é relevante, pois tais fatores podem ter impactado a evolução dos sinistros ao longo do tempo.

## **5.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Recomenda-se para o futuro avaliar a metodologia iRAP por meio de métodos estatísticos mais sofisticados, abordando aspectos e outras variáveis não contempladas nesta pesquisa. Também se pode avaliar a evolução dos sinistros para um trecho de rodovia, antes e depois da implementação do iRAP, ponderando os mesmos aspectos que foram abordados neste trabalho, quais sejam, as informações dos sinistros, as características da rodovia e as contramedidas aplicadas. Também podem ser simuladas situações em que se variam as condições de contorno das entradas de dados, tais como, custos, benefícios e taxas. Desta forma, a efetividade do plano de investimento originário do iRAP poderá ser avaliada em sua completude.

Destaca-se a aplicação de uma política pública de segurança viária para concessões de rodovias, como no caso do BrazilRAP para rodovias federais. Recomenda-se a adoção do iRAP para as rodovias concedidas, o que permitiria avaliar toda a malha federal (concedida e sob gestão pública) e planejar ações para aumentar a segurança. O iRAP é um critério objetivo, possibilitando análises comparativas de segurança e avaliação da evolução das rodovias, tanto pela classificação por estrelas quanto pelo histórico de sinistros.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABETRAN - Associação Brasileira de Educação de Trânsito (2017) *Visão Zero: é possível zerar as mortes no trânsito*. Disponível em: <<https://www.abetran.org.br/index.php/noticias/noticias-gerais/150-visao-zero-e-possivel-zerar-as-mortes-no-transitonão>>. Acesso em: junho de 2022.

ABNT (2007) *NBR 15486 – Segurança no Tráfego – Dispositivos de Contenção Viária – Diretrizes de Projeto e Ensaio de Impacto*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.

ABNT (2020) *NBR 10697 – Pesquisa de Sinistros de Trânsito – Terminologia*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.

AGRESTI, A. (2007) Uma introdução à análise de dados categóricos. 2ª edição, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, 394 p. Disponível em: <<https://doi.org/10.1002/0470114754>>. Acesso em: outubro de 2024.

AHMED, I. (2013) *Road Infrastructure and Road Safety*. Transport and Communications Bulletin for Asia and The Pacific, nº 83.

ANTT (2022) *Estudos de concessão rodoviária no Brasil*. Disponível em: <<https://www.antt.gov.br/concessoes/estudos.html>>. Acesso em: outubro de 2024.

ANTT (2024) *Informações Gerais de rodovias* Disponível em: <<https://www.gov.br/antt/pt-br/assuntos/rodovias/informacoes-gerais>>. Acesso em: outubro de 2024.

ANTT (2024) *Rodovias do Paraná - Lote 6*. Disponível em: <<https://www.gov.br/antt/pt-br/assuntos/rodovias/novos-projetos-em-rodovias/rodovias-integradas-do-parana-lote-6>>. Acesso em: outubro de 2024.

ARTERIS (2019) *RAP / RODOVIA DOS CALÇADOS (DUPLICAÇÃO KM 48+100 AO KM 77+100)* Disponível em: <[https://sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents/CBH-MOGI/19615/03\\_rap\\_-\\_caracterizacao\\_do\\_emprego-1.pdf](https://sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents/CBH-MOGI/19615/03_rap_-_caracterizacao_do_emprego-1.pdf)>. Acesso em: outubro de 2024.

AUSTROADS (2022) *Guide to Road Safety Part 6: Road Safety Audit*. Disponível em: <<https://austroads.gov.au/publications/road-safety/agrs06>>. Acesso em: dezembro de 2024.

BARBETTA, P. A. (2017) *Estatística aplicadas às ciências sociais*. Florianópolis: Editora UFSC.

BELTRÁN, A.; RODRIGUEZ, M.; CÁRDENAS, J. (2014) *Aplicación de la metodología Irap y el software ViDA-iRAP em um tramo de autopista en México*. Disponível em: <[http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2215-37052015000100005](http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2215-37052015000100005)>. Acesso em: dezembro de 2024.

BLAND, J. & ALTMAN, D. (1997) *Notas estatísticas: Alfa de Cronbach*. BMJ, 314, 572. <<http://dx.doi.org/10.1136/bmj.314.7080.572>>.

BRANCO, M. (1999) *Segurança Viária*. São Paulo: Editora CL-A. CDD 363.125.

BRASIL (1987) *DECRETO Nº 94.002, DE 4 DE FEVEREIRO DE 1987*. Presidência da República, Casa Civil. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/1980-1989/d94002.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/d94002.htm)>. Acesso em: dezembro de 2024.

BRASIL (2008) LEI Nº 11.705 *Lei de Alcoolemia Zero, Lei Seca*. Disponível em: <<https://legis.senado.leg.br/norma/582127>>. Acesso em: outubro de 2020.

BRASIL (2011) *LEI Nº 12.379 Dispõe sobre o Sistema Nacional de Viação – SNV e dá outras providências*. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/ato2011-2014/2011/lei/112379.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2011-2014/2011/lei/112379.htm)>. Acesso em: outubro de 2024.

BRASIL (2018) *LEI Nº 13.614 Cria o Plano Nacional de Redução de Mortes e Lesões no Trânsito (PNATRANS)*. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/ato2015-2018/2018/lei/L13614.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2015-2018/2018/lei/L13614.htm)>. Acesso em: outubro de 2024.

BRAZILRAP (2022) *2nd BrazilRAP Annual Webinar*. Disponível em: <<https://irap.org/2021/12/event-summary-2nd-brazilrap-annual-webinar/>>. Acesso em: outubro de 2024.

CMF (2022) *Crash Modification Factors Clearinghouse*. Disponível em: <<https://cmfclearinghouse.fhwa.dot.gov/about.php>>. Acesso em: outubro de 2024.

CNT (2021) *TRANSPORTE EM FOCO: Rodovias que perdoam*. Disponível em: <<https://cdn.cnt.org.br/diretorioVirtual/5d10ad26-e26e-4979-9092-024503d49dfc.pdf>>. Acesso em: outubro de 2024.

CNT (2023) *Painel CNT de Rodovias que Perdoam*. Disponível em: <<https://cnt.org.br/painel-cnt-rodovias-que-perdoam>>. Acesso em: outubro de 2024.

CNT (2023a) *Acidentes e mortes nas rodovias federais custaram ao país quase R\$ 13 bilhões em 2022*. Disponível em: <<https://www.cnt.org.br/agencia-cnt/acidentes-e-mortes-nas-rodovias-federais-custaram-ao-pais-quase-13-bilhoes-em-2022>>. Acesso em: outubro de 2024.

CNT (2024) *Painel CNT de Acidentes Rodoviário*. Disponível em: <[https://cnt.org.br/painel-acidente?\\_gl=1\\*osk5wk\\*\\_gcl\\_au\\*NDQ1NTgzMzA3LjE3MjgzMjY3Mzg.\\*\\_ga\\*OTQ5NTkyOTUuMTcyODMyNjc2OA.\\*\\_ga\\_7GB3MLTQLS\\*MTcyODMyNjc2OC4xLjEuMTcyODMyNjc2Ny4zMS4wLjA](https://cnt.org.br/painel-acidente?_gl=1*osk5wk*_gcl_au*NDQ1NTgzMzA3LjE3MjgzMjY3Mzg.*_ga*OTQ5NTkyOTUuMTcyODMyNjc2OA.*_ga_7GB3MLTQLS*MTcyODMyNjc2OC4xLjEuMTcyODMyNjc2Ny4zMS4wLjA)>. Acesso em: outubro de 2024.

COLONNA, P.; INTINI, P.; BERLOCO, N.; RANIERI, V. (2017) *Integrated American-European Protocol for Safety Interventions on Existing Two-lane Rural Roads*. European Transport Research Review. <<https://doi.org/10.1007/s12544-017-0274-4>>. Acesso em: outubro de 2024.

DAIDONE, L.; PAGLIARI, E.; PENNISI, L.; CAPORALI, E.; MAZZIA, E.; TIBERI, P.; (2022) *Inspeções de infraestrutura rodoviária para avaliar a rede rodoviária de acordo com a metodologia iRAP/EuroRAP*. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146523002442>>. Acesso em: dezembro de 2024.

ELVIK, R.; HOYE, A.; VAA, T.; SORENSEN, M. (2015) *O Manual de Medidas de Segurança Viária*. Madrid: Fundación Mapfre. Disponível em: <<https://documentacion.fundacionmapfre.org/documentacion/publico/pt/bib/155308.do>>. Acesso em: outubro de 2024.

GRZEBIETA, R.; RECHNITZER, G. (2014) *Crashworthy Systems – A Paradigm Shift in Road Safety Design*. Department of Civil Engineering of Monash University Accident Research Centre, Victoria, Australia.

HAUER, E. (1997) *Observational Before-After Studies in Road Safety—Estimating the Effect of Highway and Traffic Engineering Measures on Road Safety*. Elsevier Science Incorporated, Tarrytown, NY.

HOQUE, M. M.; RAHMAN, M. A.; SMITH, G. (2012) *Highway Safety Assessment in Bangladesh*. Department of Civil Engineering, Bangladesh University of Engineering and Technology (BUET), Bangladesh.

HYDEN, C. (2020) *Speed in a High-speed Society*. Journal of Injury Control and Safety Promotion, v. 27, n. 1, p. 44-50. DOI: 10.1080/17457300.2019.1680566.

IPEA (2020) *Nota Técnica nº 75, Impactos Socioeconômicos dos Impactos dos Acidentes de Transportes no Brasil e no Período de 2007 a 2018*. IPEA, Brasília.

IRAP (2015) *Vaccines for Roads*. 3ª ed. International Road Assessment Programme. Disponível em: <[http://downloads.iRAP.org/Vaccines\\_for\\_roads\\_3/Vaccines\\_for\\_Roads\\_3.pdf](http://downloads.iRAP.org/Vaccines_for_roads_3/Vaccines_for_Roads_3.pdf)>. Acesso em: outubro de 2020.

IRAP (2021) *Star Rating and Investment Plan Manual*. Disponível em: <<https://kazrap.kz/wp-content/uploads/2021/05/4-iRAP-Star-Rating-and-Investment-Plan-Manual-English.pdf>>. Acesso em: outubro de 2024.

IRAP (2022) *Software Online ViDA*. Disponível em: <<https://irap.org/pt/2014/06/vida-online-software/>>. Acesso em: julho de 2022.

IRAP (2022a) *Software online ViDA*. Disponível em: <<https://irap.org/pt/2014/06/vida-online-software/>>, Acesso em: outubro de 2024.

IRAP (2022b) *Coding Manual, Drive on the Right Edition*. Disponível em: <<http://iRAP.org/>>. Acesso em: março de 2022.

IRAP (2022c) *ViDA User Guide*. Disponível em: <[https://irap.org/pt/specifications/#:~:text=Guia%20do%20usu%C3%A1rio%20ViDA,Road%20Investment%20Plan%20\(SRIP\)](https://irap.org/pt/specifications/#:~:text=Guia%20do%20usu%C3%A1rio%20ViDA,Road%20Investment%20Plan%20(SRIP))>. Acesso em: de outubro de 2024.

IRAP (2022d) *Star Rating Bands, iRAP Methodology Fact Sheet #7*. Disponível em: <<https://irap.org/methodology/>>. Acesso em: de outubro de 2024.

IRAP (2023) *Panorama BrazilRAP*. Disponível em: <<https://irap.org/pt/2023/02/brazilrap-dnit-delivers-54500km-of-roads-coded-by-irap/>>. Acesso em: outubro de 2024.

IRAP (2024) *Parceiros da AusRAP prometem comprometimento com estradas mais seguras para todos os usuários* Disponível em: <<https://irap.org/pt/2024/10/ausrap-partners-pledge-commitment-to-safer-roads-for-all-users/>>. Acesso em: outubro de 2024.

ITF (2016) *Zero Deaths and Serious Injuries – Leading a Paradigm Shift to a Safe System*. Disponível em: <<https://itf-oecd.org/zero-road-deaths>>. Acesso em: outubro de 2024.

JUNIRMAN, R. A.; DIXIT, V. (2017) *Fatores que influenciam a frequência de acidentes na Indonésia*. Estudos de Transporte Asiáticos, Volume 4, Edição 4.

LAKATOS, E.; MARCONI, M. (2010), *Fundamentos de metodologia científica*. São Paulo: Atlas.

MCINERNEY, B. (2017) *Liderança política global para estradas de 3 estrelas ou melhores*. Disponível em: <[http://resources.irap.org/iRAP%20Innovation%20Workshop/2017/iRAP%20Innov%202017%20G-5%20-%20Success%20Stories%20&%20Innovative%20Investment%20-%20R%20McInerney.pdf?\\_gl=1\\*1yw0rg6\\*\\_ga\\*MjAxMjUwMDM1NC4xNzI4MzMzMzE4\\*\\_ga\\_HK6PSM29PR\\*MTcyODMzMjMxOC4xLjEuMTcyODMzMjU5MC4wLjAuMA](http://resources.irap.org/iRAP%20Innovation%20Workshop/2017/iRAP%20Innov%202017%20G-5%20-%20Success%20Stories%20&%20Innovative%20Investment%20-%20R%20McInerney.pdf?_gl=1*1yw0rg6*_ga*MjAxMjUwMDM1NC4xNzI4MzMzMzE4*_ga_HK6PSM29PR*MTcyODMzMjMxOC4xLjEuMTcyODMzMjU5MC4wLjAuMA)>. Acesso em: outubro de 2024.

MCINERNEY, B.; SMITH, G. (2020) *Saving Lives Through Investment in Safer Roads: The iRAP Partnership*. Disponível em: <[https://www.academia.edu/731164/Saving\\_Lives\\_through\\_Investment\\_in\\_Safer\\_Roads\\_The\\_iRAP\\_Partnership](https://www.academia.edu/731164/Saving_Lives_through_Investment_in_Safer_Roads_The_iRAP_Partnership)>. Acesso em: dezembro 2024.

MEDEIROS, J. B.; TOMASI, C. (2008) *Comunicação Científica: normas técnicas para redação científica*. São Paulo: Atlas.

MINISTÉRIO DA ECONOMIA (2021) *Guia geral de análise socioeconômica de custo-benefício de projetos de investimento em infraestrutura*. Disponível em: <<https://www.gov.br/casacivil/pt-br/assuntos/governanca/comite-interministerial-de-governanca/arquivos/guia-geral-de-analise-socioeconomica-de-custo-beneficio.pdf>>. Acesso em: dezembro de 2024.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES (2023) *Infográfico com os lotes do sistema rodoviário do Paraná*. Disponível em: <[https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/noticias/2023/imagens/infografico\\_rodoviaspr.jpeg/view](https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/noticias/2023/imagens/infografico_rodoviaspr.jpeg/view)>. Acesso em: outubro de 2024.

MONTELLA (2010) *Accident Analysis & Prevention, Volume 42, Issue 2. A comparative analysis of hotspot identification methods*. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0001457509002632>>. Acesso em: outubro de 2024.

NAYAK, S.R., PRUSTY, S. K., PATI, A. A., BARIK, R. R. (2016) *Effect of Risk Assessment Model in Implementation of Transportation Infrastructure Management Strategies Integrated*. Proceedings of International Interdisciplinary Conference On Engineering Science & Management Held on 17th – 18th December 2016, Goa, India. ISBN 9788193137383

OMS (2009) *Relatório Global sobre Segurança Rodoviária - Hora de Agir*. Disponível em: <<https://www.afro.who.int/publications/global-status-report-road-safety-time-action>>. Acesso em: outubro de 2024.

OMS (2017) *Metas Globais de Desempenho para a Segurança no Trânsito*. Disponível em: <[https://cdn.who.int/media/docs/default-source/documents/health-topics/road-traffic-injuries/12globalroadsafetytargets-pt.pdf?sfvrsn=140e638b\\_22&download=true](https://cdn.who.int/media/docs/default-source/documents/health-topics/road-traffic-injuries/12globalroadsafetytargets-pt.pdf?sfvrsn=140e638b_22&download=true)>. Acesso em: outubro de 2024.

OMS (2018) *Acidentes de trânsito matam 1,25 milhão de pessoas no mundo por ano*. Disponível em <<https://brasil.un.org/pt-br/78961-acidentes-de-tr%C3%A2nsito-matam-125-milh%C3%A3o-de-pessoas-no-mundo-por-ano>>. Acesso em outubro 2024.

OMS (2023) *Apesar do progresso notável, a segurança viária continua sendo um problema mundial urgente*. Disponível em: <<https://www.paho.org/pt/noticias/13-12-2023-apesar-do-progresso-notavel-seguranca-viaria-continua-sendo-um-problema-mundial>>. Acesso em novembro 2024.

ONSV (2015) *90% dos acidentes são causados por falhas humanas, alerta OBSERVATÓRIO*. Disponível em <<https://www.onsv.org.br/comunicacao/materias/90-dos-acidentes-sao-causados-por-falhas-humanas-alerta-observatorio>>. Acesso em: outubro de 2024.

ONSV (2021) *Relatório Final Rodovias que Perdoam*. Observatório Nacional de Segurança Viária, Coordenação de Jorge Tiago Bastos, Livro Eletrônico, Curitiba. Disponível em <<https://www.onsv.org.br/projetos/rodovias-que-perdoam>>. Acesso em: outubro de 2024.

ONU (2010) *Resolução A/RES/64/255 a “Década de Ações para a Segurança no Trânsito”* Disponível em: <<https://undocs.org/Home/Mobile?FinalSymbol=A%2FRES%2F64%2F255&Language=E&DeviceType=Desktop&LangRequested=False>>. Acesso em: outubro de 2024.

ONU (2017) *Metas globais de desempenho em segurança no trânsito*. Organização das Nações Unidas. Disponível em: <<https://www.who.int/fr/publications/m/item/global-road-safety-performance-targets>>. Acesso em: outubro de 2024.

ONU (2020) *Resolução 74/299, Melhorando a Segurança Viária Global*. Organização das Nações Unidas, New York, NY, EUA. Disponível em: <<https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N20/226/30/PDF/N2022630.pdf?OpenElement>>. Acesso em: novembro de 2021.

ONU (2021) *Década de Ação pela Segurança no Trânsito 2011-2020 é lançada oficialmente hoje (11) em todo o mundo*. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/56643-d%C3%A9cada-de-a%C3%A7%C3%A3o-pela-seguran%C3%A7a-no-tr%C3%A2nsito-2011-2020-%C3%A9-lan%C3%A7ada-oficialmente-hoje-11-em-todo-o>> Acesso em outubro 2024.

OPAS (2023) *Segurança no trânsito*. Disponível em: <<https://www.paho.org/pt/topicos/seguranca-no-transito>> Acesso em outubro 2024.

PARVINASHTIANI, Z. (2017) *Systemic Safety Evaluation of Two Lane Rural Roads Using United States Road Assessment Program Methodology*. Iowa State University Capstones, Theses and Dissertations. Digital Repository.

PEARSON, K. (1900) *On the criterion that a given system of deviations from the probable in the case of a correlated system of variables is such that it can be reasonably supposed to have arisen from random sampling*. The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science, 50 (302), 157-175.

PERSIA, L. GIGLI, R., AZARKO, A., USAMI, D. S. (2019) *Accident Data Analysis and On-field Inspections: Do They Lead To Similar Conclusions? AIIT 2nd International Congress on Transport Infrastructure and Systems in a Changing World (TIS ROMA 2019), 23rd – 24th September 2019, Rome, Italy*.

PIANEZZER, T.; BARRETO, C.; TANI, V. (2021) *Caracterização Dos Acidentes Rodoviários Ocorridos Em Locais Críticos De acordo Com O Risco Associado À Rodovia*. Disponível em: <<https://www.labtrans.ufsc.br/wp-content/uploads/2021/01/Caracteriza%C3%A7%C3%A3o-dos-acidentes-rodovi%C3%A1rios-ocorridos-em-locais-cr%C3%ADticos-de-acordo-com-o-risco-associado-%C3%A0-rodovia..pdf>> Acesso em dezembro 2024.

PRF (2021) *Atlas da Década de Ações para Segurança Viária. Polícia Rodoviária Federal, Ministério da Justiça e Segurança Pública, Brasília*.

PRF (2024) *PRF aponta alta de mortes e lesões nas rodovias federais paranaenses em 2024*. Disponível em: <<https://www.gov.br/prf/pt-br/noticias/estaduais/parana/2024/maio/prf-aponta-alta-de-mortes-e-lesoes-nas-rodovias-federais-paranaenses-em-2024>>. Acesso em: outubro de 2024.

PRISMA (2020) *Transparent Reporting of Systematic Reviews and Meta-Analyzes*. Disponível em: <<http://www.prisma-statement.org/>>. Acesso em: outubro de 2024.

RAMÍREZ, Y.; CAMACHO, J.; MONTROYA, J.; (2021) *Uso del modelo iRAP para evaluar la seguridad vial en carreteras de dos carriles en Ecuador*. Disponível em: <<https://revistas.intec.edu.do/index.php/cite/article/view/2184/2651>>. Acesso em: dezembro de 2024.

RAZELAN, I. S. M. (2017) *Safer Roads: Comparisons Between Road Assessment Program and Composite Road Safety Index Method*. *Matec Wef of Conferences* 103, 08005 (2017) DOI: 10.1051/mateconf/201710308005

SOARES, L.; PRADO, H.; BALANIUK, R.; FERNEDA, E.; BORTOLI, A. (2018) *Caracterização de acidentes rodoviários e as ações governamentais para a redução de mortes e lesões no trânsito Um estudo de dados da rodovia BR-101 no período de 2014 a 2016*. Disponível em: <<http://revistascientificas.filo.uba.ar/index.php/rtt/article/view/5331>>. Acesso em: dezembro de 2024.

TINGVALL, C.; HAWORTH, N. (1999) *Visão Zero - Uma abordagem ética à segurança e mobilidade*. Disponível em: <<https://www.monash.edu/muarc/archive/our-publications/papers/visionzero>> Acesso em outubro 2024.

TOOLKIT (2022) *O kit de ferramentas de segurança rodoviária (Case Studies)*, Disponível em: <<https://toolkit.irap.org/>>. Acesso em: outubro de 2024.

ViDA (2021) *Guia do usuário ViDA* Disponível em: <<https://irap.org/pt/rap-tools/enabling-software/vida/>>. Acesso em outubro 2024.

VOSviewer (2020) *VOSviewer, Visualizing Scientific Landscapes*. Disponível em: <<https://www.vosviewer.com>>. Acesso em: outubro 2024.

WHO (2018) *Global Status Report on Road Safety*. World Health Organization. ISBN 978-92-4-156568-4. Disponível em: <<https://www.who.int/publications/i/item/9789241565684>>. Acesso em: maio de 2023.

WRI (2018) *SUSTENTÁVEL E SEGURO Visão e Diretrizes para Zerar as Mortes no Trânsito* Disponível em: <[https://www.wribrasil.org.br/sites/default/files/Sustentavel\\_Seguro.pdf](https://www.wribrasil.org.br/sites/default/files/Sustentavel_Seguro.pdf)>. Acesso em: outubro de 2024.

ZHANG, T., TANG, C., SMITH G., WU, L. (2014) *Road Assessment Model and Pilot Application in China*. Creative Commons Attribution License, Published 14 May 2014.

## APÊNDICE A – REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

### A.1. MÉTODOS E PESQUISA

O primeiro passo foi avaliar as práticas científicas relacionadas à revisão sistemática, com o objetivo de selecionar os métodos e ferramentas mais adequados para o desenvolvimento do estudo. Em seguida, definiu-se o objetivo principal do trabalho, essencial para guiar a pesquisa, pois é indispensável saber o destino antes de traçar o caminho.

O estudo estabeleceu como propósito analisar a evolução dos estudos sobre segurança viária, utilizando uma revisão sistemática da produção científica na área. O foco foi correlacionar esses estudos com programas de avaliação de rodovias, em especial o iRAP – *International Road Assessment Programme* (2015). Para isso, optou-se pela aplicação de uma análise bibliométrica, que permite uma avaliação quantitativa e qualitativa da produção científica nas bases de dados selecionadas.

Além de oferecer importantes referências bibliográficas, a revisão sistemática contribuiu para o delineamento da pesquisa, viabilizando a definição clara do tema, da hipótese e dos objetivos do estudo.

A relevância do tema é evidente, considerando os impactos sociais e econômicos dos sinistros em rodovias, que afetam países ao redor do mundo. Espera-se que os resultados alcançados forneçam subsídios para investimentos mais eficazes em segurança viária e para o desenvolvimento de políticas públicas alinhadas aos objetivos globais de redução de acidentes. Essa necessidade torna-se ainda mais urgente em um contexto de recursos públicos escassos, agravado por desafios como a pandemia de COVID-19, crises econômicas e conflitos internacionais.

#### A.1.1. METODOLOGIA PRISMA

A metodologia PRISMA (2020) foi desenvolvida para sistematizar revisões bibliográficas, contribuindo de forma significativa para alcançar os objetivos de revisões sistemáticas e meta-análises. Criada por um grupo internacional de autores e metodologistas experientes, a metodologia reflete uma evolução do modelo QUOROM (*Quality of Reporting of Meta-Analysis*), estabelecendo diretrizes claras e abrangentes para relatórios científicos.



A Declaração PRISMA (2020), conforme informações disponíveis na literatura e em fontes confiáveis da internet, é composta por uma lista de verificação com 27 itens e um diagrama de fluxo dividido em quatro fases. Esses elementos oferecem um guia estruturado para planejar, conduzir e reportar revisões sistemáticas, garantindo maior transparência e rigor metodológico.

No entanto, nesta pesquisa, a metodologia PRISMA (2020) não foi aplicada em sua totalidade. Seus princípios e diretrizes, entretanto, foram utilizados para apoiar o desenvolvimento do estudo, contribuindo para a eficiência da análise realizada. A metodologia auxiliou diretamente na organização, nos métodos e nos critérios de pesquisa, assegurando uma abordagem estruturada e fundamentada.

### **A.1.2. PORTAL DE PERIÓDICOS DA CAPES/MEC**

O Portal de Periódicos, mantido pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), é uma biblioteca virtual de referência no Brasil. Ele reúne e disponibiliza o que há de mais relevante na produção científica internacional, atendendo instituições de ensino e pesquisa em território nacional.

Entre seus recursos, destaca-se o acesso especial para a Comunidade Acadêmica Federada (CAFe), gerida pela Rede Nacional de Ensino e Pesquisa (RNP). Nesse sistema, cada instituição funciona como Provedora de Identidade, autenticando e fornecendo informações de seus usuários para acessar os serviços disponíveis no portal. Essa estrutura robusta facilita o acesso a bases de dados internacionais e permite realizar buscas por assunto, periódico, livro ou base específica, configurando-se como uma ferramenta indispensável para pesquisas científicas.

### **A.1.3. VOSVIEWER**

O *VOSviewer* (2020) é uma ferramenta computacional gratuita para construção e visualização de redes bibliométricas. Essas redes podem incluir, por exemplo, periódicos, pesquisadores ou publicações individuais, e podem ser construídas com base em relações de citação, acoplamento bibliográfico, cocitação ou coautoria. Além disso, o *software* oferece funcionalidades de análise de texto que pode ser usada para construir e visualizar redes de ocorrências de termos importantes extraídos de um corpo de literatura científica. A utilização do software foi importante para a análise bibliométrica, permitindo avaliar a evolução histórica e a relação entre as produções científicas para segurança viária em todo o mundo.

#### **A.1.4. CRITÉRIOS DE PESQUISA E SELEÇÃO DE ARTIGOS**

Uma vez definidas as ferramentas que seriam utilizadas e o objetivo do estudo, iniciou-se a pesquisa. Para tanto, o passo fundamental foi avaliar as palavras-chaves bem como as áreas de conhecimentos de interesse.

Antes de detalhar os aspectos citados acima, torna-se necessário esclarecer que não foi considerado como critério de seleção dos artigos sua classificação quanto às suas respectivas publicações, no caso, o método Qualis da CAPES, que é utilizado para classificar a qualidade dos artigos *stricto sensu*. A seleção de artigos para leitura se baseou na relevância do tema para o objetivo deste estudo e, principalmente, pela abordagem, direta ou indireta, do método de avaliação de rodovias, especialmente o iRAP.

Como palavras-chaves, inicialmente, foram realizadas buscas com os termos [“iRAP”], seguido por [“iRAP and “safety”]. Entretanto, a busca não se mostrou eficiente, considerando que o termo “iRAP” é muito utilizado nas ciências biológicas e na medicina. Então, foi testado o termo [“road safety”], que retornou grande número de arquivos.

O número elevado de resultados para a o termo “road safety” conduziu à estratégia de fazer uma análise macro, qualitativa e quantitativa para entender os rumos da segurança viária desde 2000 e depois refinar a busca para o termo [“international road assessment programme”], visando avaliar o método de avaliação de rodovias iRAP.

Deste modo, utilizando as ferramentas de busca do portal de periódicos da CAPES, precisamente nas bases “Web of Science” e “Scopus (Elsevier)”, procedeu-se a busca pelo termo [“road safety”], para o período compreendido entre os anos de 2000 e 2021. Foram realizadas pesquisas nos dias 02, 03 e 11 de maio de 2021, sendo que os resultados, efetivamente utilizados, foram originários da última data.

Como áreas do conhecimento, foram selecionadas: engenharia, transportes e políticas sociais. As áreas escolhidas permitiram avaliar não somente aspectos técnicos, mas também políticas públicas voltadas para a segurança viária.

Um dos objetivos da pesquisa foi avaliar a evolução da produção científica no que se refere à segurança viária, com o foco em avaliação e classificação de rodovias e o período, 2000 a 2021,

foi escolhido tendo como base a década de segurança no trânsito definida pelas Organizações das Nações Unidas – ONU (2021), entre 2011 e 2020, e que tinha como meta reduzir pela metade o número global de mortes e lesões no trânsito. Neste período, surgiu e foi disseminada a metodologia *iRAP*. Logo, com o período escolhido foi possível avaliar a evolução da produção científica e comparar as duas décadas.

Posteriormente, utilizando o mesmo critério de busca, foram utilizadas as seguintes bases para complementar a pesquisa: Google Acadêmico, *Science Direct* e o próprio CAFE/CAPES. Complementarmente, e visando avaliar a produção científica no Brasil, os termos foram pesquisados em bases nacionais de dissertações e teses de mestrados e doutorados.

Os estudos selecionados para uma avaliação mais aprofundada foram condensados em uma planilha eletrônica que auxiliou não só na análise, mas também no controle e na definição do critério da seleção.

## A.2. RESULTADOS E ANÁLISES

Com a aplicação dos métodos e critérios resumidos no capítulo anterior chegou-se aos seguintes resultados.

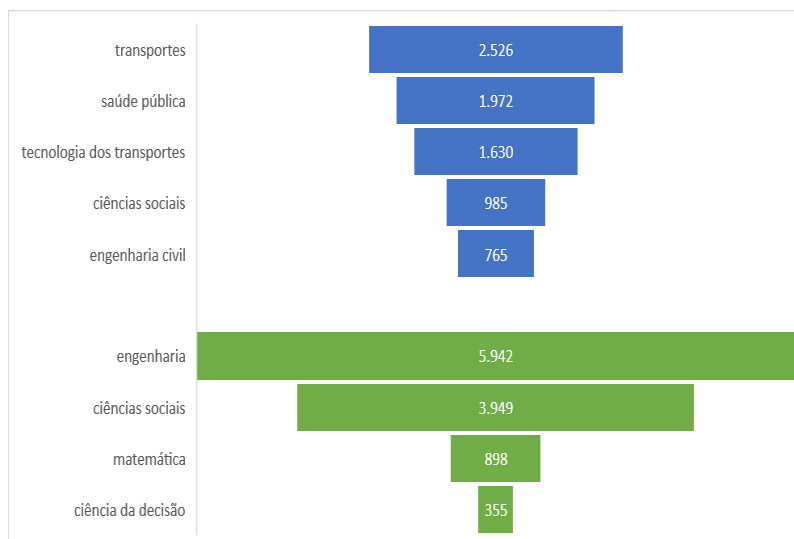
### A.2.1. WEB OF SCIENCE E SCOPUS (ELSEVIER)

A pesquisa realizada nas bases da “*Web of Science*” e da “*Scopus*” retornaram 13.168 resultados, conforme descrição abaixo na Tabela 1.A:

**Tabela A.1** Resultados das pesquisas nas bases “*Web of Science*” e “*Scopus*”

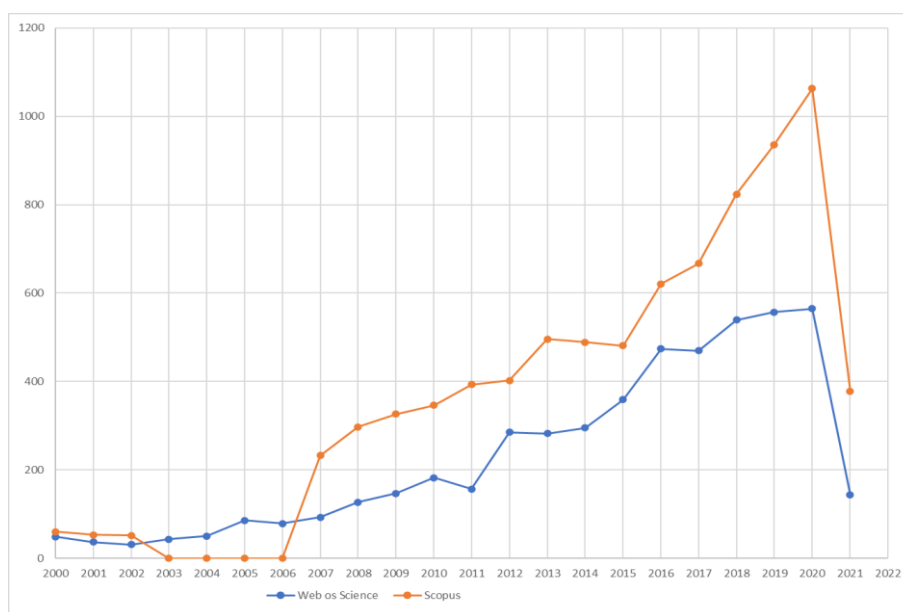
Descrição	<i>Web of Science</i>	<i>Scopus (Elsevier)</i>
Data Pesquisa:	11/05/2021	11/05/2021
Período da Pesquisa:	2000 a 2021	2000 a 2021
Palavras-Chave:	“ <i>road safety</i> ”	“ <i>road safety</i> ”
Categorias de busca:	<ul style="list-style-type: none"><li>• <i>transportation or</i></li><li>• <i>public environmental occupational health or</i></li><li>• <i>transportation science technology or</i></li><li>• <i>social sciences interdisciplinary or</i></li><li>• <i>engineering civil or</i></li><li>• <i>education educational research or</i></li><li>• <i>engineering multidisciplinary or</i></li><li>• <i>public administration or</i></li><li>• <i>health policy services or</i></li><li>• <i>political science or</i></li><li>• <i>education scientific disciplines or</i></li><li>• <i>construction building technology or</i></li><li>• <i>statistics probability or</i></li><li>• <i>imaging science photographic technology</i></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <i>engineering or</i></li><li>• <i>social sciences or</i></li><li>• <i>mathematics or</i></li><li>• <i>decision Science</i></li></ul>
Resultados:	5.051	8.117

No que se refere às categorias de pesquisa, obteve-se os números de produções científica expressos na Figura A.1. A soma ultrapassa o número total de produções, o que leva a concluir que muitas produções abarcam mais de uma categoria de pesquisa.



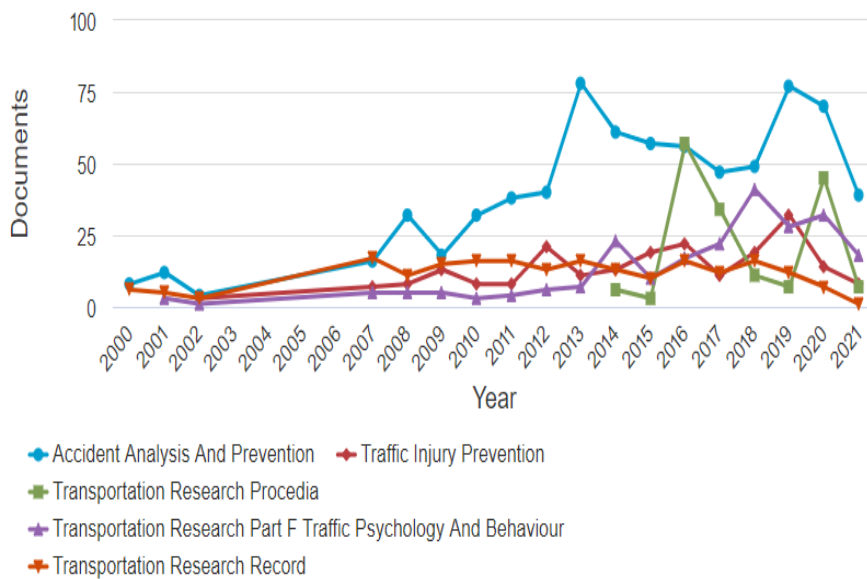
“Web of Science” (azul) e “Scopus” (verde)  
**Figura A.1** Categorias de pesquisa das produções

O histórico temporal de produção apresentou tendência ascendente do número de produção ao longo do tempo, conforme Figura A.2 Destaca-se que na base “Scopus”, para o período compreendido entre os anos 2003 e 2006, não foram apresentadas nenhuma produção.



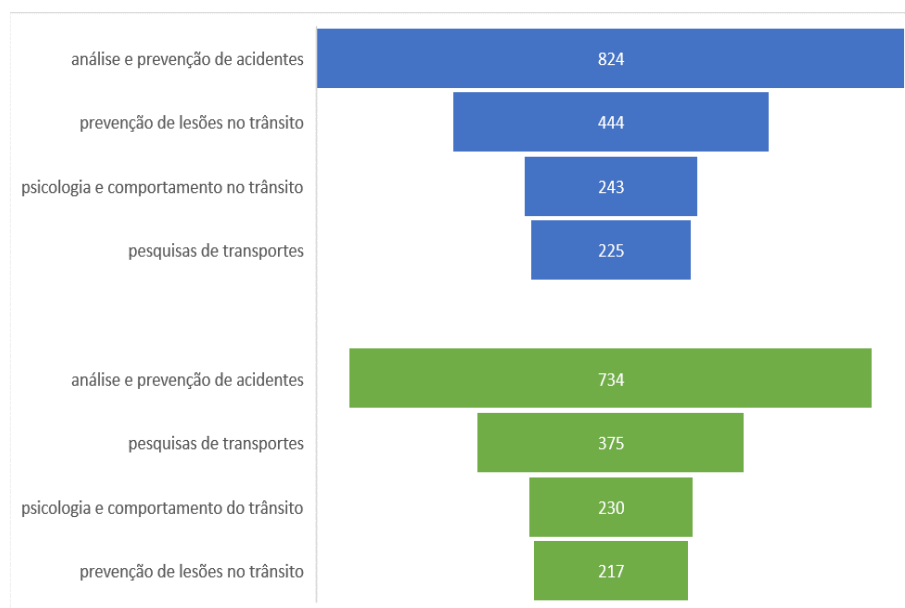
**Figura A.2** Série histórica da produção científica mundial

Buscando complementar o entendimento da evolução das produções científicas ao longo dos anos, a base da “Scopus” permite avaliar a evolução pelos temas das respectivas produções, conforme Figura A.3.



**Figura A.3** Evolução do número de produções por temas de pesquisa  
 Fonte: *Scopus*, 2021.

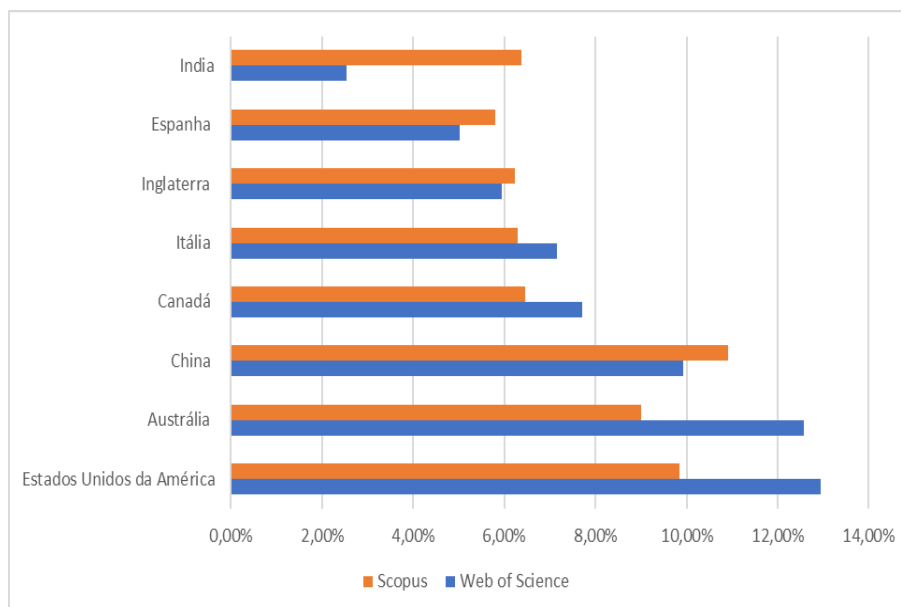
Ainda no que se refere aos temas, as linhas de pesquisas mais destacadas nas buscas estão representadas na Figura A.4.



**Figura 4.A** Linhas de Pesquisas

Do total de produção científica a maioria são artigos, 57,95% (*Web of Science*) e 70,62% (*Scopus*), em segundo lugar estão as publicações de anais de eventos, 35,20% (*Web of Science*) e 23,74% (*Scopus*). Em ambas as bases, as universidades respondem por quase a totalidade das publicações.

Quanto às origens das produções científicas, destacam-se: Estados Unidos da América, Austrália e China, conforme Figura A.5.



**Figura A.5** Origem das Produções Científicas

O gráfico mostra que há diferença nas posições dos três países com maior número de produção. Na base da “*Web of Science*”, os maiores produtores são, na ordem, Estados Unidos, Austrália e China. Já na base “*Scopus*”, os maiores produtores são, na ordem, China, Estados Unidos e Austrália. Os resultados da base “*Scopus*” permitiram identificar 258 (3,18%) produções científicas na América Latina, sendo 72 (0,89%) produções no Brasil.

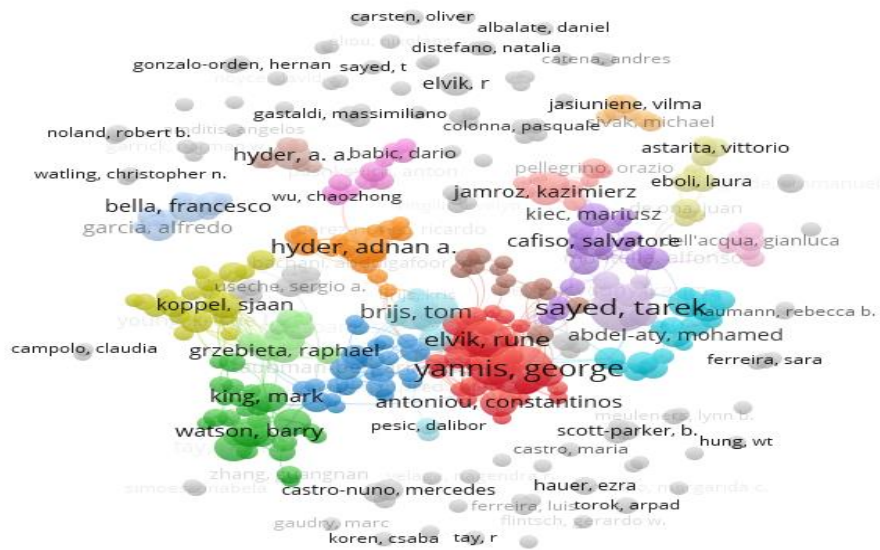
Quanto registo de autores, os resultados das buscas apresentaram números diferentes para as duas bases:

- i. *Web of Science*: Yannis, G. (71 – 1,406%); Hyder, A.A. (62 – 1,227%); Sayed, T. (61 – 1,208%); e Elvik, R. (52 – 1,029%)
- ii. *Scopus*: Yannis, G. (86 – 1,060%); Sayed, T. (48 – 0,591%); Elvik, R. (46 – 0,567%); e Brijs, T. (43 – 0,530%)

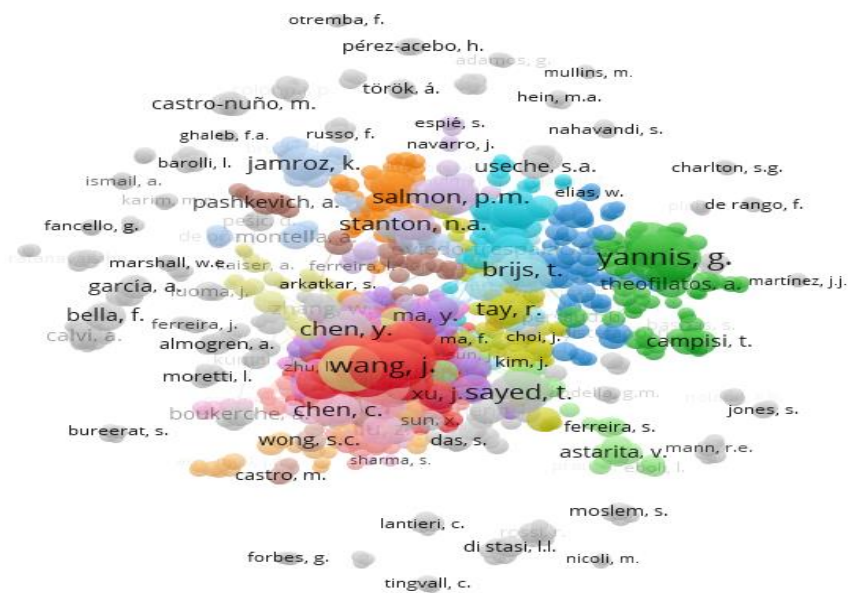
E, em termos de número de citações relacionadas à segurança viária, destacam-se as publicações abaixo:

- i. *The statistical analysis of crash-frequency data: A review and assessment of methodological alternatives*; Lord, D.; Mannering, F. (2010); citações: 836 (*Web of Science*) e 929 (*Scopus*)
- ii. *Driving speed and the risk of road crashes: A review*; Aarts, L.; Van Schagen, I. (2006); citações: 546 (*Web of Science*) e 637 (*Scopus*)

Para concluir a análise bibliométrica foi utilizado o *software VOSviewer*, cujos resultados estão apresentados nas Figuras A.6 e A.7.



**Figura A.6** Análise de Cluster - *VOSviewer*, base *Web of Science*



**Figura A.7** Análise de Cluster - *VOSviewer*, base *Scopus*

Analisando as Figuras A.6 e A.7, destaca-se a importância colaborativa dos autores destacados abaixo, para a pesquisa relacionada à segurança viária: Yannis, George (194); Papadimitriou, Eleonora (133); Brijs, Tom (112); Koppel, Sjaan (96); Wets, Geert (96); Hyder, Adnan A. (85) e King, Mark (73).



No que se refere ao número de citações, os sete autores que mais se destacam são: Sayed, Tarek (894); Yannis, George (879); Watson, Barry (675); Wong, S. C. (603); Wets, Geert (571); Bella, Francesco (559) e Elvik, Rune (538).

### **A.2.2. TESES E DISSERTAÇÕES NACIONAIS**

Complementando a pesquisa, procedeu-se a busca sobre segurança viária e programas de avaliação de rodovias em bases nacionais de teses e dissertações de mestrado e doutorado. Tal pesquisa foi importante para fornecer uma visão da produção científica no Brasil.

A busca foi realizada no dia 24 de abril de 2021, com a palavra-chave [“segurança viária”] e contemplou duas bases, da seguinte forma:

- i. Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações do Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia – IBICT: 74 resultados.
- ii. Catálogo de Teses e Dissertações da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES: 308 resultados.

### **A.2.3. ARTIGOS SELECIONADOS**

Considerando as buscas já citadas e auxiliadas por pesquisas junto às bases da Google Acadêmico e da *Science Direct*, com a palavra-chave [“segurança viária”], alguns artigos foram selecionados para leitura e assim permitir melhor compreensão do estado da arte da produção científica.

Ao todo foram selecionados 48 artigos, cuja escolha se pautou na aderência do título e do *abstract* ao objetivo deste artigo, ou seja, avaliar a segurança viária e métodos de avaliação de rodovias como instrumento público para salvar vidas.

### **A.2.4. ANÁLISE**

As buscas realizadas, bem como a análise bibliométrica, demonstraram a crescente produção em todo o mundo relacionada à segurança viária, evidenciando a preocupação das autoridades e pesquisadores no desenvolvimento de técnicas que possam contribuir para a redução do número de mortes decorrentes de sinistros de trânsito.

O fato das áreas de maior concentração das produções serem transportes, ciências sociais e saúde pública, demonstra a preocupação com o impacto social e econômico decorrente dos

sinistros, como foi citado no início desta dissertação, onde publicação do IPEA (2020) demonstrou o enorme custo dos sinistros de trânsito.

Analisando as produções científicas, verificou-se um acréscimo considerável depois de 2010, o que sugere que as ações decorrentes das metas impostas pela ONU (2020) resultaram em movimento global na tentativa de superar as metas estabelecidas. Alguns artigos apresentaram estudos de casos em todo o mundo, a produção científica se concentrou sobretudo nos Estados Unidos, China e Austrália. Destaca-se a baixa produção científica sobre segurança viária na América Latina, inclusive no Brasil, o que não quer dizer que esses países não tenham se empenhado em implementar ações e programas visando reduzir o número de vítimas e sinistros.

Apesar do baixo número de produções científicas do Brasil, considerando as duas principais bases que foram consultadas, observa-se um considerável número de dissertações e teses de mestrado e doutorado, embora abordem de diversas formas o tema segurança viária. Estudos e pesquisas, relacionadas aos métodos de avaliação de rodovias, ainda são muito incipientes, não sendo encontrado nenhum trabalho abordando os resultados pós-implantação de contramedidas indicadas.

Observou-se grande influência e importância para produção científica dos seguintes autores: Yannis, George; Sayed, Tarek; Brijs, Tom; Hyder, Adnan A. e Elvik, Rune. Dentre os artigos selecionados para leitura somente seis são de autoria de um dos autores acima citados e dos seis artigos, somente três referem-se às metodologias de avaliação de rodovias para fins de segurança viária.

Os artigos, além de apresentarem o esforço público para reduzir o número de sinistros, destacam a dificuldade dos países subdesenvolvidos em avançar em suas metas. Para tanto, destacam ações que abarcam os três elementos: rodovias, usuários e veículos. Também enaltecem a utilização de tecnologias, tais como, vídeos-registros e a internet das coisas (*Internet of Things – IOT*).

Os artigos contemplam métodos e ferramentas para a segurança viária, tanto corretivos quanto preventivos, e apresentam inúmeros casos de utilização de estatísticas e históricos de sinistros, destacando alguns modelos preditivos de sinistros, e principalmente, a utilização de auditoria viária para balizar as ações nas vias. Abordam também análise de riscos, avaliação da

infraestrutura viária e do comportamento dos motoristas, correlacionando-as com as causas de sinistros.

Alguns artigos apresentaram a utilização de tecnologias para ações de segurança viária, tais como imagens de monitoramento das vias, sensores de velocidade, informações originárias de smartphones, relatórios de aplicativos como *Waze* ou *Google Maps*, sistemas de detecção de veículo, dentre outros. Tecnologias, que sozinhas ou combinadas, contribuem para uma direção segura ou responsável, muitas vezes, a utilização de tais ferramentas também vem acompanhada de campanhas educativas ou de alertas para os motoristas.

A utilização de métodos de avaliação de rodovias se mostrou bastante evidente na medida que avalia as vias e tenta criar rodovias que perdoam, ou seja, torná-las menos suscetíveis aos perigos, mitigando as penalidades aos usuários que cometam algum erro. Dentre os métodos de avaliação de rodovias, identificados nos artigos selecionados, o iRAP é o mais citado, apresentando casos em diversos países, tais como: Austrália, Bangladesh, Brasil, China, Cingapura, Estados Unidos, Filipinas, Índia, Indonésia, Malásia, Moçambique, Nova Zelândia e Vietnã. Segundo o sítio eletrônico do iRAP, em maio de 2021, o programa alcançava mais de 100 países, com mais de 1,5 milhões de quilômetros avaliados conforme a metodologia e 1,1 milhões de quilômetros classificados por estrelas.

Diversos estudos apresentaram considerações sobre a metodologia iRAP, Junirman e Dixit (2017) demonstrou que o sistema de classificação de estrelas tem correlação negativa e baixa com a ocorrência de sinistros, demonstrando que metodologia iRAP usada precisa ser ajustada. Também indica que o método é usado em vários países onde estatísticas relacionadas aos sinistros não estão disponíveis, portanto, é de fundamental importância revisar a metodologia.

Colonna *et al.* (2017) abordam as seleções de contramedidas do iRAP, destacando que cada problema de segurança viária deve ter tratamento adequado e que, contramedidas padronizadas podem produzir impactos diferenciados, logo devem ser devidamente estudadas, caso contrário, corre-se o risco de não atingir o objetivo esperado. Conforme, Nayak *et al.* (2016), essas contramedidas podem ser desde simples intervenções (marcações adequadas da estrada, sinalização, condições da superfície da estrada etc.) ou então outras mais estruturantes (faixas adicionais, barreiras de segurança, eliminações de obstáculos junto às margens das vias).

Trabalho de Zhang *et al.* (2014) avalia o plano de investimentos, originário das contramedidas, relacionando-as aos custos dos sinistros. O trabalho pondera os valores dos investimentos de implantação das contramedidas em relação à economia decorrente da redução do número de sinistros. No caso da ChinaRAP, a avaliação do programa concluiu que é importante avaliar o antes e o depois da implantação das contramedidas, considerando pesquisa sobre os efeitos diretos decorrentes das medidas implementadas. O estudo não recomendou utilizar parâmetros de programas estrangeiros para avaliar o programa local e indicou que trabalhos futuros deverão comparar diretamente as contramedidas com as estatísticas de sinistros, antes e depois do programa.

Razelan (2017) ao avaliar um caso na Malásia afirma em seu trabalho que com o objetivo de promover rodovias mais seguras, pode-se utilizar métodos simultaneamente, tais como, o programa de avaliação rodoviária com a análise do índice de risco ambiental rodoviário, de forma que um método preencha a lacuna um do outro.

Parvinashtiani (2017) apresentou importante consideração sobre a metodologia iRAP, por meio de indicadores estatísticos, relacionando a frequência de sinistros com a pontuação da via. Os resultados mostraram uma correlação, estatisticamente significativa, entre a frequência de sinistros, o volume de tráfego e a pontuação de proteção da estrada. A função de desempenho de segurança desenvolvida mostrou que mudar de uma estrada de 3 estrelas para uma estrada de 2 estrelas resultaria em 47% mais sinistros.

Alguns pesquisadores associam os sinistros de trânsito à velocidade da via, neste sentido, Hyden (2020) apresentou um estudo onde o sistema de avaliação por estrelas e o plano de investimentos do iRAP são analisados em relação à forma como a velocidade é tratada, concluindo que se pode ajustar o limite de velocidade e os atributos de velocidade de forma a contribuir para a segurança viária. Importante contribuição do trabalho é o fato 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. Nesses casos, as velocidades dos veículos devem ser gerenciadas objetivando minimizar os riscos, tais como a implementação de recursos de *traffic calm*, como lombadas de estrada e faixas de ruído transversais. Por fim, o autor conclui que o iRAP, até o momento, não demonstrou nenhuma estratégia eficiente de redução de velocidade.

Por fim, os trabalhos mostram que ainda existe uma série de questões relacionadas aos métodos de avaliação de rodovia, para fins de segurança viária, que precisam ser esclarecidas e que trabalhos futuros devem aprofundar a relação entre as estatísticas de sinistros, antes e depois da aplicação das contramedidas originárias do iRAP, com as próprias contramedidas implementadas. O trabalho de Persia *et al.* (2019) vai nesta direção, quando procura relacionar a análise de dados de sinistros com inspeções de campo, avaliando em que condições as pontuações “RAP” contribuem para a previsão do número de sinistros.

### A.3. DESTAQUES E TENDÊNCIAS FUTURAS

O método de avaliação de rodovias se mostra importante ferramenta de segurança viária, a universalização de critérios e sua ampla aplicação aumenta o potencial de utilização do *iRAP*, na medida que permite avaliar rodovias em todo o mundo, sob os mesmos critérios. Este método aborda conceitos de “perdão pela estrada” e “orientação positiva”, que precisam ser integrados ao projeto de engenharia das rodovias visando para minimizar riscos (AHMED, 2013),

Ponderando os grandes efeitos negativos em todo o mundo, originários das perdas com os sinistros, os gestores tendem a utilizar todos os meios disponíveis para investir em segurança viária. Tal desafio é maior ainda em países subdesenvolvidos, onde os recursos financeiros se encontram cada vez mais escassos e ferramentas técnicas, como *iRAP* e auditorias de segurança no trânsito, podem ajudar os países a identificarem os fatores de risco no projeto de rodovias e desenvolver planos para redução dos sinistros.

Hoque *et al.* (2012), afirmou que a investigação sistemática de sinistros pode levar à implementação de contramedidas mais econômicas destinadas a tipos específicos de sinistros e/ou grupos específicos de usuários de rodovias. E que a falta de experiência em segurança, pesquisa e financiamento necessário são restrições significativas para os países, como no caso de Bangladesh, onde tratar questões de segurança, como melhorias institucionais, o compartilhamento de conhecimento e a experiência de programas eficazes de segurança no trânsito em todo o mundo, são fundamentais para se atingir as metas da ONU (2020). Por outro lado, destaca que são necessários mais pesquisas e estudos para auxiliar na compreensão das relações entre as características do projeto de rodovias e as características dos sinistros.

Ainda neste sentido, Parvinashtiani (2017) afirma que o Programa de Avaliação de Rodovias dos EUA e outras abordagens de gerenciamento de avaliação de segurança sistêmica são ferramentas valiosas para as agências de transportes, a fim de identificar locais com potencial risco à segurança. No entanto, a fim de fornecer uma compreensão mais aprofundada dos desafios associados a essas ferramentas, existe uma necessidade definitiva de mais estudos de pesquisa nesta área.

No Brasil, especificamente, a segurança viária nunca esteve tão em evidência, programas tais como o *Vision Zero*, Rodovias que Perdoam e o *iRAP* estão sendo amplamente divulgadas e implementadas. Em 2019, foi lançado o BrasilRAP, onde se pretende aplicar a avaliação por

meio de estrelas em toda malha rodoviária federal. O iRAP ainda está sendo desenvolvido e fomentado nos estudos de concessões de infraestrutura de rodovias, o que também ampliará, significativamente, sua aplicação no país. Entretanto, a produção acadêmica sobre o tema ainda se mostra muito incipiente.

Recentemente, o Governo Feral publicou um Programa de Modernização de Rodovias, o ino@BR, que tem como um dos seus pilares centrais a segurança viária, ou seja, um dos objetivos do programa é elevar o padrão de segurança viária nas rodovias federais e uma das diretrizes do programa é a implantação de metodologia para classificação de segurança das rodovias e dos projetos de construção e duplicação.

Diante de todo o exposto, percebe-se o grande potencial de aplicação de métodos de avaliação de rodovias, para fins de segurança viária, como instrumento público para reduzir o número de mortes e sinistros. E, que tal metodologia está alinhada às metas da ONU (2020) e à ampla aplicação do iRAP em todo o mundo. Entretanto, ainda se carece de estudos que permitam avaliar o método pós sua aplicação total, ou seja, comparar as estatísticas antes e depois da aplicação do método, inclusive a implementação das contramedidas num período que permita concluir a respeito da efetividade das ações.

Estudos já foram realizados, mas é necessário aprofundar o conhecimento no que se refere à relação entre a metodologia de avaliação com as estatísticas de sinistros. Outro ponto que merece destaque é a ausência de ligação entre o programa de avaliação de rodovias e a segurança veicular relacionando as contramedidas indicadas, os tipos de sinistros e a segurança dos veículos para aquele tipo de acidente.

### **A.3.1. ATUALIZAÇÃO DA PESQUISA**

Em 2024, foi realizada uma nova pesquisa para identificar dissertações e artigos recentes que abordassem o tema, a inclusão de referências recentes enriqueceu a fundamentação teórica, alinhando a pesquisa às práticas e metodologias mais modernas, especialmente em relação à aplicação da metodologia iRAP em cenários variados.

Essa atualização contribuiu significativamente para a profundidade da dissertação, consolidando uma base sólida para a análise crítica e prática das questões relacionadas à segurança viária e à implementação de contramedidas práticas.

## APÊNDICE B – LISTA DE CONTRAMEDIDAS DO IRAP

	Medida	Resultado	
		Atributo	Categoria
1	<a href="#">Alinhamento vertical (principal)</a>	Pontuação	≥ 0% a <4%
2	<a href="#">Alinhamento (melhora da linha de visão)</a>	Linha de visão	Adequada
3	<a href="#">Alinhamento horizontal</a>	Curvatura	Reta ou curva suave
4	<a href="#">Faixa duplicada - faixa central de &gt; 20 m</a>	Tipo de faixa central	Largura física da faixa central ≥20 m
		Número de faixas	Duas
5	<a href="#">Duplicada - &gt; faixa central de 10 a 20 m</a>	Tipo de faixa central	Largura física da faixa central de 10 a < 20 m
		Número de faixas	Duas
6	<a href="#">Duplicada - faixa central de 5 a 10 m</a>	Tipo de faixa central	Largura física da faixa central de 5 a < 20 m
		Número de faixas	Duas
7	<a href="#">Duplicada - faixa central de 1 a 5 m</a>	Tipo de faixa	Largura física da faixa central de 1 a < 5 m
		Número de faixas	Duas
8	<a href="#">Duplicada - faixa central de &lt; 1 m</a>	Tipo de faixa	Largura física da faixa central de 0 a < 1 m
		Número de faixas	Duas
9	<a href="#">Duplicação com barreira na faixa central</a>	Tipo de faixa central	Barreira de segurança - não perigosa para motocicletas
		Número de faixas	Duas
10	<a href="#">Via de acesso</a>	Pontos de acesso a propriedades	Acesso residencial <3
		Via de acesso	Presente
11	<a href="#">Faixa adicional (2 + 1 vias com barreira)</a>	Tipo de faixa central	Barreira de segurança - cabos de aço
		Número de faixas	Duas e uma
12	<a href="#">Implementação de rede de mão única</a>	Tipo de faixa central	Mão única
13	<a href="#">Faixa de ultrapassagem</a>	Número de faixas	Duas e uma
14	<a href="#">Grau de separação</a>	Tipo de interseção	Faixa de transposição
15	<a href="#">Barreira da faixa central (sem duplicação)</a>	Tipo de faixa central	Barreira de segurança - cabos de aço
16	<a href="#">Distância total da faixa central de conversão</a>	Tipo de faixa central	Faixa central continuada de conversão
17	<a href="#">Barreira da faixa central (1+1)</a>	Tipo de faixa central	Barreira de segurança - cabos de aço
18	<a href="#">Balizamento central sonorizado e postes flexíveis</a>	Tipo de faixa central	Postes flexíveis
19	<a href="#">Faixa central pintada</a>	Tipo de faixa central	Faixa central pintada (> 1 m)
20	<a href="#">Linha central ampla</a>	Tipo de faixa central	Linha central ampla (0,3 m a 1 m)
21	<a href="#">Faixa para motocicletas (separada)</a>	Infraestrutura para veículos motorizados de duas rodas	Caminho sem barreira exclusivo para motocicletas
22	<a href="#">Faixa para motocicletas (construída na rodovia)</a>	Infraestrutura para veículos motorizados de duas rodas	Faixa também para motocicletas na rodovia
23	<a href="#">Faixa para motocicletas (logotipos pintados somente na rodovia)</a>	Infraestrutura para veículos motorizados de duas rodas	Faixa também para motocicletas na rodovia
24	<a href="#">Ampliação da faixa (&gt;0,5 m)</a>	Largura da faixa	Ampliação (≥ 3,25 m)
25	<a href="#">Ampliação da faixa (até 0,5 m)</a>	Largura da faixa	Ampliação (≥ 3,25 m)
26	<a href="#">Acostamento pavimentado do lado do passageiro (&gt;1 m)</a>	Acostamento pavimentado - lado do passageiro	Ampliação (≥ 2,4 m)
27	<a href="#">Acostamento pavimentado do lado do passageiro (&lt; 1 m)</a>	Acostamento pavimentado - lado do passageiro	Faixa central (≥ 1,0 m a < 2,4 m)
28	<a href="#">Acostamento pavimentado do lado do condutor (&gt;1 m)</a>	Acostamento pavimentado - lado do condutor	Ampliação (≥ 2,4 m)
29	<a href="#">Acostamento pavimentado do lado do condutor (&lt;1 m)</a>	Acostamento pavimentado - lado do condutor	Faixa central (≥ 1,0 m a < 2,4 m)
30	<a href="#">Acostamento com vibrador/sonorizador</a>	Acostamento com vibrador/sonorizador	Presente



	Medida	Resultado	
		Atributo	Categoria
31	<a href="#">Barreiras à beira da rodovia - lado do condutor</a>	Perigo à beira da rodovia - distância do lado do condutor	5 a <10 m
		Perigo à beira da rodovia - objeto do lado do passageiro	Barreira de segurança - não perigosa para motocicletas
32	<a href="#">Barreiras à beira da rodovia - lado do passageiro</a>	Perigo à beira da rodovia - distância do lado do passageiro	5 a <10 m
		Perigo à beira da rodovia - objeto do lado do passageiro	Barreira de segurança - não perigosa para motocicletas
33	<a href="#">Remoção de perigos à beira da rodovia - lado do condutor</a>	Perigo à beira da rodovia - distância do lado do condutor	>=10m
		Perigo à beira da rodovia - objeto do lado do passageiro	Árvore > 10 cm
34	<a href="#">Remoção de perigos à beira da rodovia - lado do passageiro</a>	Perigo à beira da rodovia - distância do lado do passageiro	>=10m
		Perigo à beira da rodovia - objeto do lado do passageiro	Árvore > 10 cm
36	<a href="#">Inclinação melhorada - lado do condutor</a>	Perigo à beira da rodovia - distância do lado do passageiro	>=10m
		Perigo à beira da rodovia - objeto do lado do passageiro	Inclinação para baixo (> -15°)
37	<a href="#">Rotatória</a>	Tipo de interseção	Rotatória
38	<a href="#">Pavimentação da superfície da rodovia</a>	Resistência à derrapagem/aderência	Asfalto - adequado
39	<a href="#">Renovação da superfície da rodovia</a>	Estado da rodovia	Bom
40	<a href="#">Resistência à derrapagem (rodovia pavimentada)</a>	Resistência à derrapagem/aderência	Asfalto - adequado
41	<a href="#">Resistência à derrapagem (rodovia não pavimentada)</a>	Resistência à derrapagem/aderência	Asfalto - inadequado
42	<a href="#">Interseção sinalizada (4 aproximações)</a>	Tipo de interseção	4 aproximações sinalizadas e com faixa para conversão protegida
43	<a href="#">Trecho para conversão protegido em um local já sinalizado (4 aproximações)</a>	Tipo de interseção	4 aproximações sinalizadas e com faixa para conversão protegida
44	<a href="#">Trecho para conversão protegido (4 aproximações sem sinalização)</a>	Tipo de interseção	4 aproximações sem sinalização e com faixa para conversão protegida
45	<a href="#">Interseção sinalizada (3 aproximações)</a>	Tipo de interseção	3 aproximações sinalizadas e com faixa para conversão protegida
46	<a href="#">Trecho para conversão protegido em um local já sinalizado (3 aproximações)</a>	Tipo de interseção	3 aproximações sinalizadas e com faixa para conversão protegida
47	<a href="#">Trecho para conversão protegido (3 aproximações sem sinalização)</a>	Tipo de interseção	3 aproximações sem sinalização e com faixa para conversão protegida
48	<a href="#">Melhoria do cruzamento rodo-ferroviário</a>	Tipo de interseção	Cruzamento ferroviário - ativo (luzes piscantes/cancela automática)
49	<a href="#">Melhoria da faixa central</a>	Tipo de interseção	Ponto da faixa central - formal
		Qualidade da interseção	Adequada
50	<a href="#">Ciclovía (separada da rodovia)</a>	Infraestrutura para bicicletas	Caminho separado da rodovia
51	<a href="#">Ciclovía (na rodovia)</a>	Infraestrutura para bicicletas	Faixa na rodovia
52	<a href="#">Infraestrutura para pedestres em outro nivelamento</a>	Infraestrutura para travessia de pedestres - rodovia inspecionada	Infraestrutura para pedestres em outro nivelamento

	Medida	Resultado	
		Atributo	Categoria
53	<a href="#">Travessia sinalizada</a>	Infraestrutura para travessia de pedestres - rodovia inspecionada	Refúgio com sinalização
54	<a href="#">Área escolar</a>	Supervisor na travessia da área escolar	Área escolar - policial ou supervisor presente no horário de início e fim das aulas
55	<a href="#">Travessia em nível mais alto sem sinalização</a>	Infraestrutura para travessia de pedestres - rodovia inspecionada	Travessia em nível mais alto sem sinalização e demarcação, mas com refúgio
56	<a href="#">Travessia sem sinalização</a>	Infraestrutura para travessia de pedestres - rodovia inspecionada	Travessia sem sinalização e demarcação, mas com refúgio
57	<a href="#">Área de refúgio</a>	Infraestrutura para travessia de pedestres - rodovia inspecionada	Somente área de refúgio
58	<a href="#">Qualidade da melhoria da infraestrutura para pedestres</a>	Qualidade da travessia para pedestres	Adequada
59	<a href="#">Infraestrutura para pedestres em via lateral em outro nivelamento</a>	Infraestrutura para travessia de pedestres - rodovia inspecionada	Infraestrutura para pedestres em outro nivelamento
60	<a href="#">Via lateral com travessia para pedestres sinalizada</a>	Infraestrutura para travessia de pedestres - rodovia inspecionada	Refúgio com sinalização
61	<a href="#">Via lateral com travessia para pedestres sinalizada</a>	Infraestrutura para travessia de pedestres - rodovia inspecionada	Travessia sem sinalização e demarcação, mas com refúgio
62	<a href="#">Caminho do lado do passageiro (sem barreira)</a>	Calçada - do lado do passageiro	Barreira física
63	<a href="#">Caminho do lado do passageiro (&gt; 3 m da rodovia)</a>	Calçada - do lado do passageiro	Sem separação física ≥ 3,0 m
64	<a href="#">Caminho do lado do passageiro (adjacente à rodovia)</a>	Calçada - do lado do passageiro	Sem separação física de 0 m a <1,0 m
65	<a href="#">Caminho do lado do passageiro (caminho informal &gt;1 m)</a>	Calçada - do lado do passageiro	Caminho informal ≥ 1,0 m
66	<a href="#">Caminho do lado do passageiro (com barreira)</a>	Calçada - do lado do condutor	Barreira física
67	<a href="#">Caminho do lado do condutor (&gt; 3 m da rodovia)</a>	Calçada - do lado do condutor	Sem separação física ≥ 3,0 m
68	<a href="#">Caminho do lado do condutor (adjacente à rodovia)</a>	Calçada - do lado do condutor	Sem separação física de 0 m a <1,0 m
69	<a href="#">Caminho do lado do condutor (caminho informal &gt;1 m)</a>	Calçada - do lado do condutor	Caminho informal ≥ 1,0 m
70	<a href="#">Cerca de proteção para pedestres</a>	Cerca de proteção para pedestres	Presente
71	<a href="#">Iluminação (interseção)</a>	Iluminação da rua	Presente
72	<a href="#">Iluminação da rua (travessia para pedestres)</a>	Iluminação da rua	Presente
73	<a href="#">Iluminação da rua (central)</a>	Iluminação da rua	Presente
74	<a href="#">Linha de visão (remoção de obstáculos)</a>	Linha de visão	Adequada
75	<a href="#">Aviso de área escolar - luz piscante</a>	Aviso de área escolar	Luz piscante de aviso de área escolar
76	<a href="#">Aviso de área escolar - sinais e demarcações</a>	Aviso de área escolar	Sinais estáticos de aviso de área escolar ou demarcação da rodovia
77	<a href="#">Balizamento e sinalização (interseção)</a>	Qualidade da interseção	Adequada
78	<a href="#">Melhorar balizamento da curva</a>	Qualidade da curva	Adequada
79	<a href="#">Melhorar balizamento</a>	Balizamento	Adequado
80	<a href="#">Restringir/combina pontos de acesso direto</a>	Pontos de acesso a propriedades	Inexistentes
81	<a href="#">Redutor de velocidade</a>	Controle de velocidade/reductor de velocidade	Presente
82	<a href="#">Melhorias de estacionamento</a>	Estacionamento para veículos	Fraca

83	<a href="#">Melhoria da inclinação (ciclovía)</a>	Perigo à beira da rodovia - distância do lado do passageiro	5 a <10 m
		Perigo à beira da rodovia - objeto do lado do passageiro	Inclinação para baixo (> -15°)
84	<a href="#">Remoção de perigos à beira da rodovia (ciclovía)</a>	Perigo à beira da rodovia - distância do lado do passageiro	5 a <10 m
		Perigo à beira da rodovia - objeto do lado do passageiro	Árvore > 10 cm
85	<a href="#">Barreiras à beira da rodovia (ciclovía)</a>	Perigo à beira da rodovia - distância do lado do passageiro	5 a <10 m
		Perigo à beira da rodovia - objeto do lado do passageiro	Barreira de segurança - não perigosa para motocicletas
86	<a href="#">Barreira da faixa central (faixa para motocicletas)</a>	Infraestrutura para veículos motorizados de duas rodas	Caminho de mão dupla sem barreiras exclusivo para motocicletas
87	<a href="#">Inclinação melhorada (segmento de faixa para motocicletas) do lado do passageiro</a>	Perigo à beira da rodovia - distância do lado do passageiro	>=10m
		Perigo à beira da rodovia - objeto do lado do passageiro	Inclinação para baixo (> -15°)
88	<a href="#">Remoção de perigos à beira da rodovia (segmento da faixa para motocicletas) - lado do passageiro</a>	Perigo à beira da rodovia - distância do lado do passageiro	>=10m
		Perigo à beira da rodovia - objeto do lado do passageiro	Árvore > 10 cm
89	<a href="#">Barreiras à beira da rodovia (segmento da faixa para motocicletas) do lado do passageiro</a>	Perigo à beira da rodovia - distância do lado do passageiro	5 a <10 m
		Perigo à beira da rodovia - objeto do lado do passageiro	Barreira de segurança - não perigosa para motocicletas
90	<a href="#">Inclinação melhorada (segmento de faixa para motocicletas) do lado do condutor</a>	Perigo à beira da rodovia - distância do lado do condutor	>=10m
		Perigo à beira da rodovia - objeto do lado do condutor	Inclinação para baixo (> -15°)
91	<a href="#">Remoção de perigos à beira da rodovia (segmento da faixa para motocicletas) do lado do condutor</a>	Perigo à beira da rodovia - distância do lado do condutor	>=10m
		Perigo à beira da rodovia - objeto do lado do passageiro	Árvore > 10 cm
92	<a href="#">Barreiras à beira da rodovia (segmento da faixa para motocicletas) do lado do condutor</a>	Perigo à beira da rodovia - distância do lado do condutor	5 a <10 m
		Perigo à beira da rodovia - objeto do lado do passageiro	Barreira de segurança - não perigosa para motocicletas
93	<a href="#">Revisão do controle da velocidade</a>	Velocidade de operação (percentil 85)	<30km/h
94	<a href="#">Revisão do controle da velocidade (faixa para motocicletas)</a>	Limite de velocidade para motocicletas	<30km/h

## APÊNDICE C – QUADRO RESUMO DOS PONTOS CRÍTICOS E RESPECTIVAS CONTRAMEDIDAS

SNV	Trecho (km)	Ponto Crítico - km (rural:R ou urb.:U)	Município	Informações (predominantes) dos Sinistros	Classificação iRAP - antes (situação atual, sem as contramedidas previstas)				Classificação iRAP - depois (situação futura, depois das contramedidas implementadas)				Contramedidas (iRAP)
					Veic.	Mot.	Ped.	Cicl.	Veic.	Mot.	Ped.	Cicl.	
277BPR0245	455,1 a 457,9	456	Laranjeiras do Sul	Quantidade: 12 Principais Causas: falta de atenção Tipo: colisões transversal e traseira Vítimas: sem Mortes: sem registro Turno: pleno dia Meteorologia: céu claro Dia: fim de semana Pista: simples Traçado: misto Uso Solo: rural	3	3	2	2	5	4	3	3	- iluminação viária
277BPR0250	457,9 a 480,1	472	Nova Laranjeiras	Quantidade: 55 Principais Causas: falta de atenção Tipo: colisões com objeto fixo e saída de pista Vítimas: com Mortes: 01 registro Turno: plena noite Meteorologia: céu claro Dia: fim e meio de semana Pista: simples Traçado: reta Uso Solo: urbano	2	2	3	1	3	3	3	3	- remoção de perigos à margem da via nos dois lados
277BPR0270	480,1 a 521,3	484	Nova Laranjeiras	Quantidade: 40 Principais Causas: velocidade incompatível Tipo: tombamento Vítimas: com Mortes: 02 registros Turno: pleno dia Meteorologia: céu claro Dia: meio de semana Pista: simples Traçado: curva Uso Solo: rural	1	1	4	2	3	3	4	2	- tramento no centro da via (canteiro central fictício ou zebrado); - remoção de perigos à margem da via nos dois lados; - sonorizadores ao longo do acostamento.
277BPR0280	521,3 a 531,9	531	Campo Bonito	Quantidade: 35 Principais Causas: desobediência normas e ingestão de álcool Tipo: colisão transversal Vítimas: com Mortes: 02 registros Turno: plena noite Meteorologia: céu claro Dia: fim de semana Pista: simples Traçado: reta Uso Solo: rural	1	1	4	2	3	3	4	3	- defesa/barreira no canteiro central; - defesa/barreira no bordo da pista lado passageiro; - remoção de perigos à margem da via lado condutor; - sonorizadores ao longo acostamento.
277BPR0285	531,9 a 552,1	536	Ibema	Quantidade: 25 Principais Causas: falta de atenção Tipo: colisão transversal Vítimas: com Mortes: 05 registros Turno: pleno dia Meteorologia: céu claro Dia: meio de semana Pista: simples Traçado: curva Uso Solo: urbano	1	1	-	1	3	3	-	2	- defesa/barreira no canteiro central; - defesa/barreira no bordo da pista lado passageiro; - remoção de perigos à margem da via lado condutor; - sonorizadores ao longo acostamento.
277BPR0290	552,1 a 575,0	572	Cascavel	Quantidade: 21 Principais Causas: desobediência às normas Tipo: colisão transversal Vítimas: com Mortes: sem registros Turno: pleno dia Meteorologia: céu claro Dia: meio de semana Pista: simples Traçado: curva/cruzamento Uso Solo: rural	2	2	3	-	3	3	2	-	- defesa/barreira no canteiro central; - defesa/barreira no bordo da pista lado passageiro; - remoção de perigos à margem da via lado condutor;
		574	Cascavel	Quantidade: 21 Principais Causas: falta de atenção Tipo: colisão (transversal, traseira e lateral) Vítimas: com Mortes: 02 registros Turno: pleno dia Meteorologia: céu claro Dia: fim de semana Pista: simples Traçado: reta Uso Solo: rural	2	2	3	-	3	3	2	-	- tramento no centro da via (canteiro central fictício ou zebrado); - defesa/barreira no bordo da pista lado passageiro; - remoção de perigos à margem da via lado condutor; - remoção de perigos à margem da via lado passageiro;

SNV	Trecho (km)	Ponto Crítico - km (rural:R ou urb.:U)	Município	Informações (predominantes) dos Sinistros	Classificação iRAP - antes (situação atual, sem as contramedidas previstas)				Classificação iRAP - depois (situação futura, depois das contramedidas implementadas)				Contramedidas (iRAP)
					Veic.	Mot.	Ped.	Cicl.	Veic.	Mot.	Ped.	Cicl.	
277BPRO295	575,0 a 583,1	583	Cascavel	Quantidade: 140 Principais Causas: falta de atenção Tipo: colisão (transversal e traseira) Vítimas: com Mortes: 03 registros Turno: pleno dia Meteorologia: céu claro Dia: meio de semana Pista: simples Traçado: reta Uso Solo: urbano	2	2	5	1	3	2	5	1	- defesa/barreira no bordo da pista lado passageiro; - faixa adicional com defesa/barreira;
277BPRO300	583,1 a 586,9	584	Cascavel	Quantidade: 387 Principais Causas: falta de atenção Tipo: colisão traseira Vítimas: com Mortes: 05 registros Turno: pleno dia Meteorologia: céu claro Dia: meio de semana Pista: simples/dupla Traçado: reta / cruzamento Uso Solo: urbano	3	3	-	2	4	3	-	2	- remoção de perigos à margens da via lado passageiro;
277BPRO305	586,9 a 597,1	592	Cascavel	Quantidade: 198 Principais Causas: falta de atenção Tipo: colisão transversal Vítimas: com Mortes: 05 registros Turno: pleno dia Meteorologia: céu claro Dia: meio de semana Pista: simples Traçado: reta / Uso Solo: urbano	2	2	-	-	4	3	5	-	- defesa/barreiras na borda da pista, lado do passageiro; - duplicação da pista e defesa/barreira central; - iluminação viária; - sonorizadores ao longo do acostamento.
277BPRO310	604,1 a 605,1	605	Santa Tereza do Oeste	Quantidade: 14 Principais Causas: falta de atenção e ultrapassagem indevida Tipo: colisão traseira Vítimas: com Mortes: 01 registro Turno: pleno dia Meteorologia: céu claro Dia: meio de semana Pista: simples Traçado: reta Uso Solo: rural	3	3	3	2	3	2	2	1	- defesa/barreira central (sem duplicação da pista); - sonorizadores ao longo do acostamento.
277BPRO320	612,0 a 634,9	633	Céu Azul	Quantidade: 65 Principais Causas: falta de atenção Tipo: saída de pista Vítimas: com Mortes: 01 registro Turno: pleno dia Meteorologia: céu claro Dia: fim de semana Pista: simples Traçado: reta / cruzamento Uso Solo: rural	2	2	-	-	3	5	5	-	- faixa adicional com defesa/barreira
277BPRO325	634,9 a 638,0	637	Céu Azul	Quantidade: 43 Principais Causas: falta de atenção e desobediência às normas Tipo: colisão traseira Vítimas: com Mortes: 02 registros Turno: pleno dia Meteorologia: céu claro Dia: fim e meio de semana Pista: simples Traçado: reta Uso Solo: urbano	3	3	-	-	3	2	-	-	- faixa adicional com defesa/barreira; - defesa/barreira na borda da pista, lado passageiro.
277BPRO330	638,0 a 640,4	640	Céu Azul	Quantidade: 22 Principais Causas: falta de atenção Tipo: saída de pista e colisão e colisão lateral Vítimas: com Mortes: 02 registros Turno: pleno dia Meteorologia: céu claro Dia: fim e meio de semana Pista: simples Traçado: reta Uso Solo: rural	3	3	-	-	3	3	-	-	- canteiro central fictício/zebrado central; - remoção de perigos à margem da via, lado passageiro
277BPRO335	640,4 a 652,5	643	Matelândia	Quantidade: 82 Principais Causas: desobediência às normas Tipo: saída de pista e colisão traseira Vítimas: com Mortes: 02 registros Turno: pleno dia Meteorologia: céu claro Dia: fim e meio de semana Pista: simples Traçado: curva Uso Solo: rural	2	2	-	-	3	2	-	-	- canteiro central fictício/zebrado central; - remoção de perigos à margem da via, lado passageiro; - remoção de perigos à margem da via, lado do condutor;

SNV	Trecho (km)	Ponto Crítico - km (rural:R ou urb.:U)	Município	Informações (predominantes) dos Sinistros	Classificação iRAP - antes (situação atual, sem as contramedidas previstas)				Classificação iRAP - depois (situação futura, depois das contramedidas implementadas)				Contramedidas (iRAP)
					Veic.	Mot.	Ped.	Cicl.	Veic.	Mot.	Ped.	Cicl.	
277BPR0340	652,5 a 658,6	658	Matelândia	Quantidade: 83 Principais Causas: falta de atenção Tipo: colisão transversal Vítimas: sem Mortes: 01 registro Turno: pleno dia Meteorologia: céu claro Dia: fim de semana Pista: simples Traçado: reta Uso Solo: urbano	2	2	-	-	3	3	-	-	- sonorizadores ao longo do acostamento; - remoção de perigos à margem da via, lado passageiro;
277BPR0345	658,6 a 660,5	660	Matelândia	Quantidade: 84 Principais Causas: desobediência às normas Tipo: saída de pista Vítimas: com Mortes: 02 registros Turno: pleno dia Meteorologia: céu claro Dia: meio e fim de semana Pista: dupla Traçado: curva Uso Solo: rural	2	2	5	-	4	3	5	-	- sonorizadores ao longo do acostamento; - remoção de perigos à margem da via, lado passageiro; - canalização de pedestres; - defensas/barreiras na pista, lado passageiro.
277BPR0350	660,5 a 669,4	669	Medianeira	Quantidade: 63 Principais Causas: desobediência às normas Tipo: colisão traseira Vítimas: com Mortes: 07 registros Turno: pleno dia Meteorologia: céu claro Dia: meio e fim de semana Pista: dupla Traçado: reta Uso Solo: urbano	2	2	3	2	3	2	3	1	- defesa/barreira central (sem duplicação da pista); - sonorizadores ao longo do acostamento; - defesa/barreira na borda da pista, lado passageiro.
277BPR0355	669,4 a 673,6	673	Medianeira	Quantidade: 116 Principais Causas: falta de atenção Tipo: colisão transversal Vítimas: com Mortes: 04 registros Turno: pleno dia Meteorologia: céu claro Dia: meio e fim de semana Pista: dupla Traçado: reta Uso Solo: urbano	2	2	-	2	4	3	-	2	- sonorizadores ao longo do acostamento; - defesa/barreira na borda da pista, lado passageiro.
277BPR0360	673,6 a 676,2	674	Medianeira	Quantidade: 69 Principais Causas: falta de atenção Tipo: colisão traseira Vítimas: com Mortes: 01 registro Turno: pleno dia Meteorologia: céu claro Dia: fim de semana Pista: dupla Traçado: reta Uso Solo: urbano	2	2	-	-	4	3	-	-	- remoção de perigos à margem da via, lado passageiro; - sonorizadores ao longo do acostamento
277BPR0365	676,2 a 689,0	683	São Miguel do Iguaçu	Quantidade: 60 Principais Causas: desobediência às normas Tipo: saída de pista Vítimas: com Mortes: 01 registro Turno: pleno dia Meteorologia: céu claro e também com chuva Dia: meio e fim de semana Pista: dupla Traçado: curva Uso Solo: rural	2	2	3	2	3	2	2	2	- defesa/barreira central (sem duplicação da pista); - remoção de perigos à margem da via, lado passageiro; - sonorizadores ao longo do acostamento.
277BPR0370	689,0 a 692,6	690	São Miguel do Iguaçu	Quantidade: 49 Principais Causas: falta de atenção Tipo: saída de pista e colisão traseira Vítimas: com Mortes: 03 registros Turno: pleno dia e plena noite Meteorologia: céu claro Dia: meio e fim de semana Pista: dupla Traçado: reta Uso Solo: urbano	2	2	-	2	3	3	-	1	- iluminação viária; - remoção de perigos à margem da via, lado do passageiro.
277BPR0375	692,6 a 711,9	693	São Miguel do Iguaçu	Quantidade: 45 Principais Causas: falta de atenção Tipo: colisões transversal e traseira Vítimas: com Mortes: sem registros Turno: pleno dia Meteorologia: céu claro Dia: fim de semana Pista: dupla Traçado: reta Uso Solo: rural	2	2	4	2	3	2	3	2	- defesa/barreira central (sem duplicação da pista); - iluminação viária; - sonorizadores ao longo do acostamento.

SNV	Trecho (km)	Ponto Crítico - km (rural:R ou urb.:U)	Município	Informações (predominantes) dos Sinistros	Classificação iRAP - antes (situação atual, sem as contramedidas previstas)				Classificação iRAP - depois (situação futura, depois das contramedidas implementadas)				Contramedidas (iRAP)
					Veic.	Mot.	Ped.	Cicl.	Veic.	Mot.	Ped.	Cicl.	
277BPRO380	711,9 a 727,6	726	Foz do Iguaçu	Quantidade: 324 Principais Causas: falta de atenção Tipo: colisões transversal Vítimas: com Mortes: sem registros Turno: pleno dia Meteorologia: céu claro Dia: meio de semana Pista: dupla Traçado: cruzamento Uso Solo: urbano	2	3	5	1	3	2	5	1	- iluminação viária (interseção); - defesa/barreira central (sem duplicação); - sonorizadores ao longo do acostamento.
277BPRO385	727,6 a 731,6	728	Foz do Iguaçu	Quantidade: 334 Principais Causas: falta de atenção Tipo: colisões traseira Vítimas: com Mortes: sem registros Turno: pleno dia Meteorologia: céu claro Dia: fim de semana Pista: dupla Traçado: cruzamento Uso Solo: urbano	4	4	-	2	5	4	-	3	- remoção de perigos à margem da via, lado passageiro.