



**DINÂMICA DA VELOCIDADE MÉDIA EM VIAS URBANAS E  
RODOVIAS: IDENTIFICAÇÃO DE COMPORTAMENTOS  
QUE INFLUENCIAM O EXCESSO DE VELOCIDADE**

**RODRIGO NUNES CAVALCANTE**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM TRANSPORTES**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

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

**DINÂMICA DA VELOCIDADE MÉDIA EM VIAS URBANAS E  
RODOVIAS: IDENTIFICAÇÃO DE COMPORTAMENTOS  
QUE INFLUENCIAM O EXCESSO DE VELOCIDADE**

**RODRIGO NUNES CAVALCANTE**

**ORIENTADOR: ALAN RICARDO DA SILVA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM TRANSPORTES**

**PUBLICAÇÃO: T.DM-003/2024  
BRASÍLIA/DF: 09/2024**

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

**DINÂMICA DA VELOCIDADE MÉDIA EM VIAS URBANAS E  
RODOVIAS: IDENTIFICAÇÃO DE COMPORTAMENTOS QUE  
INFLUENCIAM O EXCESSO DE VELOCIDADE**

**RODRIGO NUNES CAVALCANTE**

**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:**

---

**ALAN RICARDO DA SILVA, Dr, (Universidade de Brasília)  
(ORIENTADOR)**

---

**MICHELLE ANDRADE, Dra, (Universidade de Brasília)  
(EXAMINADOR INTERNO)**

---

**JORGE TIAGO BASTOS, Dr, (Universidade Federal do Paraná)  
(EXAMINADORA EXTERNO)**

**BRASÍLIA/DF, 26 de Setembro de 2024.**

## FICHA CATALOGRÁFICA

CAVALCANTE, R. N.

Dinâmica da Velocidade Média em Vias Urbanas e Rodovias: identificação de comportamentos que influenciam o excesso de velocidade. Brasília, 2024.

xii, 69 p., 210x297mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Transportes, 2024).

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

1 – Controle da Velocidade Média

3 – OCR

I – ENC/FT/UnB

2 – Comportamento dos Condutores

4 – Dinâmica da Velocidade

II – Título (série)

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

CAVALCANTE, R. N. (2024). Dinâmica da Velocidade Média em Vias Urbanas e Rodovias: identificação de comportamentos que influenciam o excesso de velocidade. Publicação T.DM-003/2024. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 69 p.

## CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: RODRIGO NUNES CAVALCANTE

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Dinâmica da Velocidade Média em Vias Urbanas e Rodovias: identificação de comportamentos que influenciam o excesso de velocidade.

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.

---

Rodrigo Nunes Cavalcante  
[rcavalcanteder@gmail.com](mailto:rcavalcanteder@gmail.com)

QD 01, Lote 1700/1780, Ed. Gamaggiore, Apto. 1005, Setor Leste – Gama/DF72.445-010.  
Brasil

## DEDICATÓRIA

*Dedico esta conquista, em primeiro lugar, a Deus, cuja presença constante em minha vida sempre guiou e iluminou meu caminho. A Ele devo toda a força espiritual que me sustentou em cada desafio, proporcionando-me a fé necessária para continuar, mesmo nos momentos mais difíceis. Também dedico à Santíssima Virgem Maria, que sempre intercedeu por mim, amparando-me com seu manto de amor e proteção;*

*Aos meus pais, Davino e Irene, que me educaram com valores sólidos, me mostraram os caminhos corretos e nunca deixaram de acreditar no meu potencial, sou eternamente grato. Eles sempre estiveram ao meu lado, incentivando meus estudos e me ensinando, pelo exemplo, a importância da dedicação e do esforço;*

*À minha querida esposa, Pâmela Cavalcante, mulher incrível, guerreira, dedicada e incansável, que, com seu amor, apoio e compreensão, se fez presente em todos os momentos desta jornada. Nos dias mais difíceis, foi ela quem me motivou a seguir em frente, sempre acreditando em mim e me fortalecendo com sua presença e carinho;*

*Às minhas filhas, Maria Clara e Ana Luíza, que são minha maior motivação e a razão pela qual busco ser um ser humano melhor a cada dia. Elas são a luz que ilumina meus passos e me lembram diariamente do que realmente importa na vida;*

*Dedico também este trabalho a todas as pessoas que foram vítimas de sinistros de trânsito e aos seus familiares, que enfrentaram as duras consequências desses momentos com coragem e resiliência. Que esta pesquisa possa, de alguma forma, contribuir para um futuro mais seguro e para a redução de sofrimentos semelhantes;*

*A todos, meu profundo respeito e reconhecimento.*

## *AGRADECIMENTOS*

Aos meus pais, Davino e Irene, que sempre me mostraram o valor do estudo e me guiaram pelos caminhos do bem.

Minha eterna gratidão à minha esposa, Pâmela Cavalcante, por seu apoio incondicional, sua força nos momentos difíceis e por ser minha inspiração diária.

Às minhas filhas, Maria Clara e Ana Luíza, meu amor incondicional, que são a razão pela qual busco ser sempre melhor.

Agradeço também aos meus familiares, colegas e amigos que me incentivaram e apoiaram nesta conquista, em especial Samuel Morgan, Sinomar, Eduardo, Allisson e Glaydson, cujas palavras de apoio e amizade foram fundamentais.

Aos amigos de turma do mestrado e da UnB, que compartilharam comigo as angústias e os desafios desta caminhada, meu sincero agradecimento pela parceria e companheirismo.

Sou profundamente grato ao meu excelente orientador, professor Alan, cuja dedicação, paciência e compreensão das minhas limitações fizeram uma diferença fundamental para que eu pudesse chegar até aqui. Seu apoio constante e suas valiosas orientações foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores e colaboradores do Programa de Pós-Graduação em Transportes (PPGT), meu respeito e reconhecimento pela excelência no ensino e orientação. Em especial, agradeço à professora Michelle e ao professor Pastor, que se tornaram amigos ao longo deste percurso e com quem espero colaborar em futuros projetos e pesquisas. Agradeço a todos por fazerem parte desta jornada de aprendizado e crescimento.

Agradeço também aos órgãos de trânsito que foram fundamentais para a realização desta pesquisa, fornecendo os dados necessários com prontidão e atenção. Ao DNIT, especialmente aos servidores Júlio e Yago, pelo suporte e disponibilidade; ao DER/DF, na pessoa do superintendente Elcy Ozório, por sua colaboração; e ao DETRAN/DF, na pessoa da servidora Mônica, pela atenção e apoio.

Meu sincero agradecimento a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho e para esta etapa significativa da minha vida.

## RESUMO

A gestão da velocidade dos veículos é um fator de grande importância para a segurança viária, influenciando diretamente a frequência e a gravidade dos sinistros de trânsito. A gestão adequada da velocidade pode reduzir significativamente o número de sinistros e salvar vidas, sendo uma estratégia essencial em políticas públicas de segurança viária. O estudo das velocidades praticadas pelos condutores é tema bastante presente em estudos científicos, bem como as consequências de altas velocidades. No entanto, poucos correlacionam o comportamento dos condutores no que tange à velocidade média com elementos viário ambientais. Este estudo teve como objetivo verificar se a partir das velocidades praticadas em diferentes ambientes de condução é possível extrair aspectos comportamentais que estejam relacionados ao excesso de velocidade, por meio de diferentes tipos de vias e a velocidade média praticada pelos condutores. Para isso, adotou uma abordagem observacional, utilizando dados coletados de Dispositivos de Fiscalização Eletrônica de Velocidade (DFEV) com reconhecimento óptico de caracteres (OCR) operados por órgãos de trânsito em diferentes tipos de vias urbanas e rodovias. A metodologia envolveu a seleção de segmentos viários específicos, o cálculo da velocidade média dos veículos, e diversas comparações para identificar padrões comportamentais dos condutores em resposta às condições viário ambientais. Os resultados indicaram que, embora os DFEV equipados com OCR sejam eficazes na redução da velocidade média, desafios persistem devido a comportamentos adaptativos dos condutores, como o "salto canguru", onde os condutores reduzem a velocidade antes dos DFEV e aumentam depois. Este comportamento compromete a efetividade da fiscalização pontual e destaca a necessidade de estratégias mais integradas e adaptativas. A pesquisa demonstrou também que a potência do veículo não é o principal fator para o excesso de velocidade, e que os condutores é que tem o desejo de aumentar a velocidade, independentemente de onde estejam. Este estudo, de custo zero e replicável em larga escala, sugere que a cooperação entre órgãos de trânsito para o compartilhamento de dados pode potencializar os esforços na moderação de velocidade, contribuindo para um ambiente viário mais seguro.

## ABSTRACT

Vehicle speed management is an important factor for road safety, directly influencing the frequency and severity of traffic accidents. Proper speed management can significantly reduce the number of accidents and save lives, making it an essential strategy for public road safety policies. Studying the speeds practiced by drivers is a common topic in scientific research, as well as the consequences of high speeds. However, few studies correlate driver behavior regarding average speed with environmental road elements. This study aimed to verify whether it is possible to extract behavioral aspects related to speeding based on the speeds practiced in different driving environments, by analyzing different types of roads and the average speed practiced by drivers. An observational approach was adopted to achieve this, using data collected from Electronic Speed Enforcement Devices (ESED) with Optical Character Recognition (OCR) operated by traffic authorities on various types of urban roads and highways. The methodology involved the selection of specific road segments, calculation of the average vehicle speed, and several comparisons to identify driver behavioral patterns in response to environmental road conditions. The results indicated that although the ESED equipped with OCR is effective in reducing average speed, challenges persist due to adaptive behaviors of drivers, such as the "kangaroo jump," where drivers reduce speed before the ESED and increase it afterward. This behavior undermines the effectiveness of point-based enforcement and highlights the need for more integrated and adaptive strategies. The research also demonstrated that vehicle power is not the primary factor for speeding and that drivers have an inherent desire to increase speed regardless of the location. This study, with zero cost and scalable replication, suggests that cooperation between traffic authorities in data sharing can enhance efforts in speed moderation, contributing to a safer road environment.

# ÍNDICE

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO</b> .....  | <b>1</b>  |
| 1.1      | DELIMITAÇÃO DO PROBLEMA .....  | 2         |
| 1.2      | HIPÓTESES .....  | 3         |
| 1.3      | OBJETIVOS .....  | 3         |
| 1.4      | JUSTIFICATIVA .....  | 4         |
| 1.5      | ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....   | 8         |
| <b>2</b> | <b>CLASSIFICAÇÃO E REGULAMENTAÇÃO DAS VIAS: UMA VISÃO GERAL</b> .....                          | <b>9</b>  |
| 2.1      | DEFINIÇÕES DE VIAS .....   | 9         |
| 2.1.1    | Rodovias Interestaduais .....  | 9         |
| 2.1.2    | Rodovias Estaduais .....   | 10        |
| 2.1.3    | Vias Urbanas .....   | 10        |
| 2.2      | FISCALIZAÇÃO DE VELOCIDADE .....   | 11        |
| 2.3      | FISCALIZAÇÃO ELETRÔNICA DE VELOCIDADE com OCR .....  | 15        |
| <b>3</b> | <b>COMPORTAMENTO DE RISCO RELACIONADO À VELOCIDADE PRATICADA PELOS CONDUTORES</b> .....        | <b>17</b> |
| 3.1      | FATORES DE RISCO .....   | 17        |
| 3.2      | INFLUÊNCIA DA INFRAESTRUTURA viária NA VELOCIDADE .....  | 20        |
| 3.3      | DINÂMICA DA VELOCIDADE ANTES E APÓS OS PONTOS DE FISCALIZAÇÃO .....                            | 21        |
| 3.4      | INFLUÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS VEICULARES NA VELOCIDADE MÉDIA PRATICADA PELOS CONDUTORES ..... | 22        |
| <b>4</b> | <b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....   | <b>25</b> |
| 4.1      | Etapa 1: Seleção dos Trechos ou Segmentos Viários .....  | 25        |
| 4.2      | Etapa 2: Solicitação dos Dados aos Órgãos Responsáveis .....                                   | 26        |
| 4.3      | Etapa 3: Sequenciamento dos Equipamentos Escolhidos .....                                      | 26        |
| 4.4      | Etapa 4: Cálculo da Velocidade Média .....   | 27        |
| 4.5      | Etapa 5: Análise estatística .....   | 27        |
| <b>5</b> | <b>ANÁLISE DOS RESULTADOS</b> .....  | <b>29</b> |
| 5.1      | APLICAÇÃO DO MÉTODO .....  | 29        |
| 5.1.1    | Etapa 1: Seleção dos trechos ou segmentos viários .....  | 29        |
| 5.1.2    | Etapa 2: Solicitação dos Dados aos Órgãos Responsáveis .....                                   | 31        |
| 5.1.3    | Etapa 3: Sequenciamento dos Equipamentos Escolhidos .....                                      | 33        |
| 5.1.4    | Etapa 4: Cálculo da Velocidade Média .....   | 36        |
| 5.1.5    | Etapa 5: Análise Estatística .....   | 42        |
| <b>6</b> | <b>CONCLUSÕES</b> .....  | <b>59</b> |
| 6.1      | LIMITAÇÕES DO TRABALHO .....   | 60        |

|   |           |
|---|-----------|
| 6.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS..... | 61        |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>       | <b>63</b> |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 2.1 Descrição das vias segundo suas velocidades .....   | 11 |
| Tabela 3.1 Caracterização de veículos.....   | 24 |
| Tabela 5.1 Dados brutos obtidos de cada órgão, para 10 dias .....                                    | 32 |
| Tabela 5.2 Análise das distâncias (km) dos segmentos com DFEV de cada jurisdição ...                 | 35 |
| Tabela 5.3 Tipos de veículos e frequências de passagens.....   | 36 |
| Tabela 5.4 Unidades Federativas dos veículos que transitam pelo DF .....                             | 37 |
| Tabela 5.5 Tipos de veículos e frequências de passagem, após filtragem .....                         | 38 |
| Tabela 5.6 Unidades Federativas dos veículos que transitam pelo DF, após filtragem ...               | 39 |
| Tabela 5.7 Faixas de velocidade DER/DF x DNIT .....  | 42 |
| Tabela 5.8 Faixas de velocidade DER/DF x DETRAN/DF .....   | 44 |
| Tabela 5.9 Faixas de velocidade DNIT x DETRAN/DF.....  | 44 |
| Tabela 5.10 Comparação da faixa de velocidade média e o cometimento de infração no ponto .....       | 45 |
| Tabela 5.11 Quantidade de passagens de veículos na entrada e saída do DF.....                        | 46 |
| Tabela 5.12 Estatísticas de comparação das velocidades médias de entrada e saída.....                | 47 |
| Tabela 5.13 Análise das faixas de velocidades por períodos dos dias.....                             | 49 |
| Tabela 5.14 Comparação das velocidades médias de veículos menos potentes .....                       | 50 |
| Tabela 5.15 Comparação das velocidades médias de veículos mais potentes .....                        | 52 |
| Tabela 5.16 Comparação de veículos menos potentes e mais potentes .....                              | 54 |
| Tabela 5.17 Comparação das proporções de veículos que trafegam até 10% da velocidade permitida ..... | 55 |
| Tabela 5.18 Comparação total de veículos mais potentes e menos potentes.....                         | 56 |
| Tabela 5.19 Comparação total das proporções de potência .....  | 57 |

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1.1 Ilustração dos diferentes tipos de ambiente viário (elaborada pelo autor com auxílio da IA - CHAT GPT) .....   | 6  |
| Figura 1.2 Ilustração da relação entre o sentido das vias/rodovias e o ambiente viário (elaborada pelo autor com auxílio da IA - CHAT GPT) .....                              | 7  |
| Figura 2.1 Dispositivos de Fiscalização Eletrônica de Velocidade, fixos, do tipo controlador de velocidade e redutor de velocidade.....                                       | 13 |
| Figura 3.1 Ilustração da dinâmica da velocidade e o comportamento de aproximação e distanciamento do perímetro urbano (elaborada pelo autor com auxílio da IA CHAT GPT) ..... | 18 |
| Figura 4.1 Fluxograma metodológico.....   | 25 |
| Figura 5.1 Ilustração dos trechos a serem estudados sob jurisdição do DNIT e DER/DF .....   | 30 |
| Figura 5.2 Ilustração das localizações dos Dispositivos de Fiscalização Eletrônica equipados com OCR.....   | 31 |
| Figura 5.3 Identificações de alguns dos equipamentos fornecidos pelos órgãos de trânsito, sendo: (a) DNIT, (b) DER/DF, (c) DETRAN/DF e (d) distribuição espacial DER/DF ....  | 33 |
| Figura 5.4 Elaboração de sequenciamento dos equipamentos por órgão .....  | 34 |
| Figura 5.5 <i>Boxplot</i> da distribuição das distâncias entre os equipamentos de fiscalização sob as jurisdições do DNIT, DER/DF e DETRAN/DF .....                           | 36 |
| Figura 5.6 Representação gráfica do Salto Canguru nas vias do DETRAN/DF .....   | 40 |
| Figura 5.7 Representação gráfica do Salto Canguru nas vias do DER/DF .....  | 41 |
| Figura 5.8 Representação gráfica do Salto Canguru nas vias do DNIT .....  | 41 |

## LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURA E ABREVIACÕES

|               |   |
|---------------|---|
| AASHTO        | <i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i> |
| BR            | Código de identificação das rodovias brasileiras                          |
| CONTRAN       | Conselho Nacional de Trânsito   |
| CTB           | Código de Trânsito Brasileiro   |
| DETRAN/DF     | Departamento de Trânsito do Distrito Federal                              |
| DER/DF        | Departamento de Estradas de Rodagem do Distrito Federal                   |
| DF            | Distrito Federal  |
| DFEV          | Dispositivos de Fiscalização Eletrônica de Velocidade                     |
| DNIT          | Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes                    |
| ETSC          | <i>European Transport Safety Council</i>                                  |
| GO            | Goiás   |
| ITS           | <i>Intelligent Transport System</i>                                       |
| MG            | Minas Gerais  |
| OCR           | <i>Optical Character Recognition</i>                                      |
| OECD          | Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico                 |
| OMS           | Organização Mundial da Saúde  |
| ONU           | Organização das Nações Unidas   |
| OPAS          | Organização Pan-Americana da Saúde  |
| PNATRANS      | Plano Nacional de Redução de Mortes e Lesões no Trânsito                  |
| RADARES FIXOS | Dispositivos de fiscalização para controle e redução de velocidade        |
| SENATRAN      | Secretaria Nacional de Trânsito   |
| WHO           | <i>World Health Organization</i>  |

# 1 INTRODUÇÃO

A velocidade dos veículos é um fator crítico que influencia diretamente a segurança viária, a eficiência do tráfego e a qualidade de vida em áreas urbanas e rodovias. Conforme destacado por Aarts & Van Schagen (2006), a velocidade afeta tanto a probabilidade de ocorrência de sinistros quanto a severidade deles quando ocorrem. Estudos, como o de Elvik *et al.* (2004) mostram que há uma correlação exponencial entre a velocidade e a probabilidade de fatalidades em sinistros de trânsito. Sendo assim, a gestão da velocidade pode levar a uma melhoria significativa na fluidez do tráfego e na redução do congestionamento, o que, por sua vez, contribui para a redução da emissão de poluentes e melhoria da qualidade ambiental urbana (SCHRANK *et al.*, 2012).

A compreensão dos padrões de velocidade é fundamental para o planejamento e a implementação de medidas de controle de tráfego. A variabilidade da velocidade entre veículos, conhecida como diferença de velocidades, é um fator importante que pode aumentar a probabilidade de sinistros. Estudos indicam que maiores disparidades nas velocidades de condução contribuem para a maior ocorrência de colisões (TAYLOR *et al.*, 2000).

A aplicação de políticas de moderação de velocidade, tais como zonas de baixa velocidade, câmeras de fiscalização de velocidade e sistemas inteligentes de transporte, tem mostrado resultados positivos na redução de sinistros e no aumento da segurança viária (PEDEN *et al.*, 2004). Tais políticas devem ser acompanhadas de um planejamento urbano que considere a mobilidade e a acessibilidade de todos os usuários da via.

A Organização Mundial da Saúde (OMS, 2018) estima que o excesso de velocidade seja responsável por cerca de 30% das mortes no trânsito global. De acordo com a Organização, a redução da velocidade média em 5% pode salvar cerca de 30.000 vidas por ano. Por isso, medidas que possam somar com a moderação do tráfego devem ser estudadas e debatidas com foco na segurança viária.

No contexto brasileiro, a Lei nº 13.614, de 11 de janeiro de 2018 criou o Plano Nacional de Redução de Mortes e Lesões no Trânsito (PNATRANS) que foi revisado e atualizado em 2022, estabelece diretrizes para a organização do trânsito e a segurança viária, incluindo a regulação das velocidades nas vias urbanas e rodovias (PNATRANS, 2022). O PNATRANS reconhece a

importância da moderação do tráfego e da redução das velocidades como estratégias fundamentais para a prevenção de sinistros e a promoção de um trânsito mais seguro e eficiente.

Além do PNATRANS, a adoção do conceito de Visão Zero (TINGVALL & HAWORTH, 1999; TINGVALL & KRAFFT, 2017), em que nenhuma morte no trânsito é aceitável tem influenciado as políticas de segurança viária de diversos países, com foco na eliminação de fatalidades e lesões graves no trânsito. O conceito de Visão Zero propõe um sistema viário que perdoa falhas humanas e prioriza a segurança, enfatizando a importância da moderação das velocidades como um dos pilares para alcançar esse objetivo.

A moderação do tráfego, por sua vez, é uma abordagem que busca promover uma redução gradual e controlada das velocidades nas vias urbanas e rodovias, levando em consideração aspectos como a segurança dos usuários, a fluidez do tráfego e o impacto ambiental. Essa abordagem está alinhada com a ideia de que a redução das velocidades contribui para a redução da gravidade dos sinistros e para a promoção de um trânsito mais seguro e humanizado.

Esse contexto, evidencia que a gestão da velocidade é um fator importante na redução de sinistros, embora sua implementação não os elimine completamente. A abordagem da Visão Zero (TRAFIKVERKET, 2012) reconhece a inevitabilidade dessas ocorrências, mas visa eliminar mortes e lesões graves. Pode-se dizer, ainda, que o comportamento humano, especialmente o risco associado a altas velocidades, continua sendo uma preocupação, mesmo com dispositivos de controle de velocidade, e ainda será uma variável latente nessa equação.

## **1.1 DELIMITAÇÃO DO PROBLEMA**

Embora o emprego dos Dispositivos de Fiscalização Eletrônica de Velocidade (DFEV) reduzam a velocidade média dos veículos nos trechos fiscalizados, comportamentos de risco continuam, como redução de velocidade antes dos DFEV e aumento da velocidade após a passagem por esses equipamentos. Essas condutas limitam a eficácia desses equipamentos (RETTING *et al.*, 2003; MONTELLA *et al.*, 2012; DE PAUW *et al.*, 2014; HØYE, 2014, AMÂNCIO *et al.*, 2024).

Sabendo que o excesso de velocidade é uma das principais causas de sinistros de trânsito, influenciado por fatores comportamentais e outros, como tipo de via, volume de tráfego, condições climáticas e infraestrutura viária (WHO, 2018; ELVIK *et al.*, 2019), este estudo

busca investigar a dinâmica da velocidade em rodovias interestaduais, estaduais e vias urbanas, utilizando dados de DFEV com reconhecimento óptico de caractere – OCR (*Optical Character Recognition*). A análise permitirá avaliar como as diferentes características viário ambientais influenciam os padrões de velocidade, conforme dito por Sadia *et al.* (2018) e a eficácia dos equipamentos de fiscalização, como destacado por Wilson *et al.* (2010) e Job *et al.* (2020).

Dessa forma, este estudo buscará responder o seguinte problema de pesquisa: Quais aspectos comportamentais influenciam o excesso de velocidade praticada pelos condutores?

## **1.2 HIPÓTESES**

A hipótese principal dessa pesquisa é que elementos viário ambientais influenciam na velocidade praticada pelos condutores. Em ambientes com baixo volume de tráfego, os condutores tendem à velocidades mais altas, e em ambientes com muitas intervenções urbanas, os condutores tendem à velocidades menores.

Tem-se também como hipóteses secundárias:

- O sentido do trecho rodoviário influencia na velocidade praticada pelos condutores, pois quando este trafega de um ambiente sem muita retenção de tráfego para um ambiente com mais retenção, a velocidade média demora mais a diminuir, e de modo oposto, no caso contrário;
- A velocidade praticada pelos condutores está diretamente relacionada ao comportamento deles, independentemente das características dos veículos.

## **1.3 OBJETIVOS**

O objetivo geral desse trabalho é analisar se a partir de elementos viário ambientais é possível extrair aspectos comportamentais que estejam relacionados ao excesso de velocidade, por meio de diferentes tipos de vias e da velocidade média praticada pelos condutores.

Tem-se como objetivos específicos:

- Comparar a velocidade média praticada pelos condutores em diferentes tipos de vias.
- Avaliar a influência do sentido do trecho na velocidade média praticada.
- Investigar as características veiculares com os padrões de velocidade.

## 1.4 JUSTIFICATIVA

Os sinistros de trânsito são uma das principais causas de mortes e ferimentos graves no Brasil, gerando altos custos sociais e econômicos (WHO, 2018). A velocidade excessiva é um fator crítico para a frequência e severidade desses eventos (AARTS & VAN SCHAGEN, 2006; NILSSON, 2004; ELVIK, 2019). Por isso, compreender a relação entre velocidade, características do ambiente viário e comportamento dos condutores é importante para desenvolver políticas públicas eficazes de segurança viária.

A literatura global demonstra uma forte associação entre velocidade e sinistros. Velocidades mais altas aumentam a gravidade das colisões e diminuem o tempo de reação dos condutores (JOB & BRODIE, 2022; ELVIK, 2009). Estratégias de gerenciamento de velocidade, como limites de velocidade, fiscalização e mudanças no desenho das vias, são fundamentais para reduzir sinistros (JOB *et al.*, 2020). Por isso é importante focar nas mudanças considerando usuários vulneráveis, como pedestres, pois são os mais afetados (TEFFT, 2013; HUSSAIN *et al.*, 2008; DAVIS, 2001; ROSEN *et al.*, 2011).

No contexto brasileiro, desafios, como altas taxas de urbanização e fiscalização limitada, exigem estudos específicos para entender as dinâmicas locais de velocidade (NESOFF *et al.*, 2018). Estudos mostram que a redução de limites de velocidade tem pouco impacto no tempo de viagem, mas grandes benefícios para a segurança (SARNO, 2016; NUNES *et al.*, 2022). O Código de Trânsito Brasileiro - CTB (BRASIL, 1997) estabelece limites de velocidade, mas a conformidade é frequentemente baixa.

Os Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS) e tecnologias como o Reconhecimento Óptico de Caracteres (OCR) oferecem possibilidades para coleta de dados detalhados sobre velocidade. Esses dados são fundamentais para análises estatísticas e desenvolvimento de intervenções eficazes. Como exemplo, o estudo de Da Silva e Santos (2020) revela a importância das ações educativas com o uso de tecnologias avançadas, como os equipamentos de leitura de placas, na modificação do comportamento dos condutores e na redução da velocidade média dos veículos no contexto de rodovias estaduais. A utilização de tecnologias como a leitura de placas permitiu um monitoramento mais preciso e eficaz, enquanto as ações educativas promoveram uma mudança de comportamento entre os condutores (DA SILVA; SANTOS, 2020).

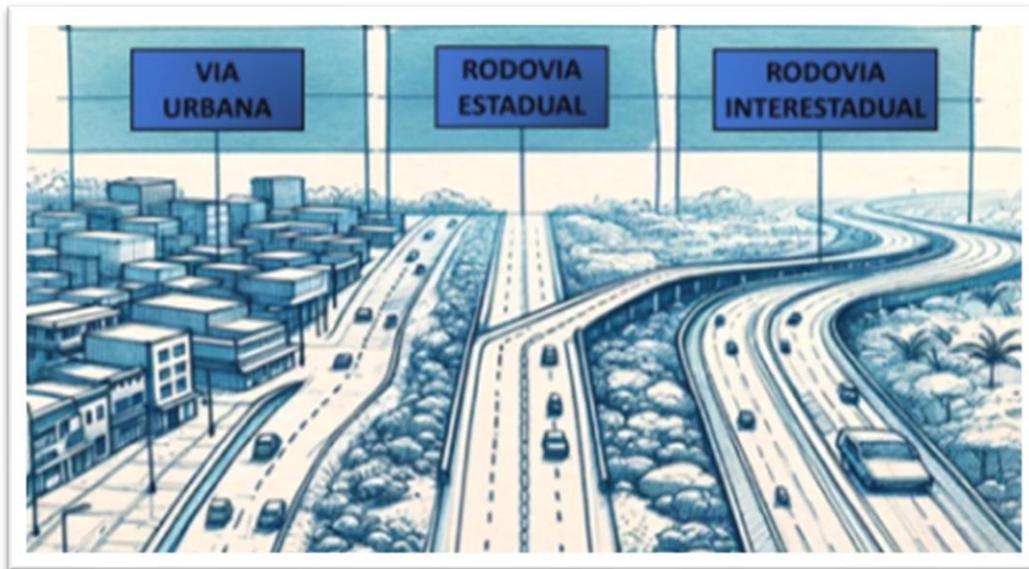
Já a pesquisa de Dos Santos (2024) mostrou uma outra forma para a redução da velocidade dos veículos em vias urbanas, ao posicionar veículos sinistrados estrategicamente ao longo dessas áreas. O impacto visual provocou uma reação imediata dos condutores, conforme medições realizadas via OCRs. O estudo, evidenciou que a presença de veículos sinistrados atua como um lembrete visual dos perigos no trânsito, resultando em um comportamento mais cauteloso dos condutores naquele espaço, no entanto, com efeito de curto prazo. Esses tipos de ações educativas com intervenções visuais de impacto podem ser eficazes como parte de estratégias de gerenciamento de velocidade e segurança viária (DOS SANTOS, 2024).

Fundamentada em marcos teóricos como Visão Zero (TINGVALL & HAWORTH, 1999; TINGVALL & KRAFFT, 2017) e o Sistema Seguro (CORBEN, 2020), esta pesquisa alinha-se às diretrizes globais de segurança viária (UN, 2015; WHO, 2017) e ao PNATRANS (PNATRANS, 2022). Este estudo visa contribuir para a redução de sinistros, salvando vidas e promovendo um trânsito mais seguro para todos, destacando que reduções modestas na velocidade podem ter impactos significativos na segurança, conforme evidenciado por Aarts & Van Schagen (2006), Nilsson (2004) e Elvik (2019).

Este estudo propõe avaliar a dinâmica da velocidade em diferentes tipos de vias — rodovias interestaduais, rodovias estaduais e vias urbanas — utilizando dados de velocidade coletados por DFEV com tecnologia OCR. A pesquisa é fundamentada na literatura existente que discute o impacto de intervenções de gestão da velocidade, como DFEV, no comportamento dos condutores e na segurança viária. O trabalho de Høye (2014) oferece uma análise abrangente sobre o efeito dos DFEV e da gestão das velocidades dos veículos e na ocorrência de sinistros, incluindo a discussão sobre "saltos de canguru", um fenômeno onde o condutor reduz bruscamente a velocidade antes dos DFEV e aumenta a velocidade logo após passá-los.

As Figuras 1.1 e 1.2 representam o contexto a ser analisado nesse trabalho. A Figura 1.2 ilustra a separação das vias, onde cada ambiente viário é delimitado de maneira clara, facilitando a organização e o fluxo de veículos, possuindo infraestruturas intuitivamente compreendidas pelos condutores, promovendo comportamentos de condução mais seguros. Estudos de Theeuwes *et al.* (2024) e Sadia *et al.* (2018) se complementam ao fornecer uma visão abrangente sobre a influência das características viárias na seleção de velocidade dos condutores. Ambos destacam a importância de um desenho viário intuitivo e bem sinalizado para promover comportamentos de condução seguros. Theeuwes *et al.* (2024) focam na ideia

de "estradas autoexplicativas", onde a infraestrutura viária facilita a compreensão imediata por parte dos condutores, enquanto Sadia *et al.* (2018) oferecem uma análise mais quantitativa, demonstrando como fatores individuais e ambientais interagem para influenciar a escolha de velocidade.



**Figura 1.1** Ilustração dos diferentes tipos de ambiente viário (elaborada pelo autor com auxílio da IA - CHAT GPT)

Estudos como os de Theeuwes *et al.* (2024) e Sadia *et al.* (2018), sublinham que a configuração do ambiente viário e a sinalização não são apenas elementos físicos, mas também ferramentas psicológicas que moldam a percepção e o comportamento dos condutores. Vias bem projetadas e sinalizadas aumentam a eficiência do tráfego e a segurança viária, reduzindo a incidência de comportamentos de risco e sinistros. Pode-se pensar ainda na configuração apresentada na Figura 1.1, como sendo o modelo ideal de infraestrutura, mas que na prática nem sempre ocorre. No Brasil, um exemplo de ambientes viários bem definidos ou mais próximo disso são os rodoanéis no estado de São Paulo, onde o tráfego pesado não ingressa na cidade (BONINI *et al.*, 2020). Ainda segundo Theeuwes *et al.* (2024) e Sadia *et al.* (2018), a percepção do ambiente é importante para o desenvolvimento da velocidade que deve ser praticada, e gera influência no comportamento dos condutores.

Já a Figura 1.2 ilustra um segmento contínuo, sem uma delimitação clara entre os ambientes viários, onde se torna difícil para o condutor distinguir qual tipo de via ou rodovia ele está trafegando, devido à ausência de características viárias bem definidas e informativas, como visto na Figura 1.1. Esse cenário é mais frequente em trechos viários com infraestrutura

simplificada ou transições entre diferentes tipos de vias, como rodovias que se conectam diretamente a áreas urbanas sem uma delimitação clara. Nesses casos, a falta de diferenciação evidente entre os tipos de vias, aliada à carência de elementos físicos e sinalização que indiquem a mudança de ambiente viário, pode impactar o comportamento dos condutores e a dinâmica do tráfego. Isso influencia os padrões de velocidade e pode aumentar o risco de sinistros, uma vez que a indefinição do perfil viário pode levar a tomadas de decisão inadequadas.



**Figura 1.2** Ilustração da relação entre o sentido das vias/rodovias e o ambiente viário (elaborada pelo autor com auxílio da IA - CHAT GPT)

O estudo de Høye (2014) sugere que os DFEV são eficazes em reduzir a velocidade média, mas também destaca a existência de comportamentos adaptativos, como os “saltos de canguru”, que podem reduzir a eficácia a longo prazo dessas medidas. Retting *et al.*, (2003) aponta para a necessidade de abordagens mais sofisticadas no posicionamento e operação dos DFEV para mitigar o comportamento de aumento de velocidade após a passagem pelos DFEV. Isso reflete a importância de considerar não apenas a presença de DFEV, mas também como eles são percebidos pelos condutores.

Este estudo investigará como intervenções de controle de velocidade podem ser aprimoradas para garantir reduções sustentáveis na velocidade média dos veículos a longo prazo. Sugerimos que estratégias mais eficazes podem incluir o uso de DFEV em locais menos previsíveis, a

combinação desses dispositivos com outras medidas de moderação de tráfego e a incorporação de tecnologias que possibilitem uma análise contínua e dinâmica do comportamento dos condutores. Segundo Wilson *et al.* (2010), a instalação de equipamentos de controle de velocidade em pontos estratégicos está associada a uma redução significativa na velocidade média dos veículos e na ocorrência de sinistros, tanto em ambientes urbanos quanto em rodovias, o que destaca a importância desses dispositivos para a segurança viária.

Com a análise dos dados de velocidade será possível uma avaliação das estratégias de controle de velocidade, buscando correlacionar as variações de velocidade detectadas pelos DFEV com OCR ao longo de trechos viários distintos. As percepções obtidas por Høye (2014) e outros estudos relevantes ajudarão a formular recomendações para políticas de trânsito que sejam mais eficazes em manter reduções consistentes e seguras nas velocidades dos veículos, minimizando os comportamentos de risco associados aos ajustes temporários de velocidade em resposta à fiscalização.

## **1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO**

A presente dissertação foi dividida em seis capítulos. Após este Capítulo introdutório, o Capítulo 2 trata da classificação e regulamentação das vias. O Capítulo 3 aborda o comportamento de risco relacionado à velocidade dos condutores. O Capítulo 4 introduz os materiais e métodos utilizados na pesquisa. O Capítulo 5 apresenta a análise dos resultados do estudo e finalmente, as conclusões e recomendações para trabalhos futuros são apresentadas no Capítulo 6.

## **2 CLASSIFICAÇÃO E REGULAMENTAÇÃO DAS VIAS: UMA VISÃO GERAL**

No contexto do planejamento e administração de vias no Brasil, é importante compreender as diferenças entre rodovias interestaduais, rodovias estaduais e vias urbanas. As principais diferenças entre essas categorias de vias estão relacionadas à jurisdição, administração, função e geometria, conforme delineado no Código de Trânsito Brasileiro (CTB) e complementado por regulamentações específicas de órgãos federais e estaduais.

Além das distinções em jurisdição e administração, as vias no Distrito Federal e em seu entorno apresentam variações significativas no que diz respeito ao ambiente viário. Este ambiente engloba aspectos como fluxo de tráfego, tipos de veículos predominantes, características geográficas e urbanísticas, e a interação com a infraestrutura circundante.

### **2.1 DEFINIÇÕES DE VIAS**

As vias podem ser divididas basicamente em 3 tipos, como as rodovias interestaduais, as rodovias estaduais e as vias urbanas, que possuem características distintas, como será visto com mais detalhes a seguir.

#### **2.1.1 Rodovias Interestaduais**

As rodovias interestaduais, também conhecidas como rodovias federais, são aquelas que atravessam mais de um estado, conectando diferentes regiões do país. Elas são de responsabilidade do Governo Federal, que delega a administração ao Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). Essas rodovias são essenciais para o transporte de mercadorias e passageiros em longas distâncias, sendo fundamentais para a integração nacional e o desenvolvimento econômico do Brasil. Elas são identificadas por uma numeração iniciada com a letra "BR" seguida de três dígitos, conforme definido pelo Código de Trânsito (BRASIL, 1997) e as regulamentações específicas.

### **2.1.2 Rodovias Estaduais**

São administradas pelos respectivos governos estaduais, que são responsáveis pela manutenção e regulamentação do tráfego nessas vias. Elas são projetadas para facilitar o trânsito dentro do estado, conectando cidades e outras rodovias importantes, e podem variar em qualidade dependendo das capacidades financeiras e administrativas do estado (BRASIL, 1997).

Apenas para uma definição mais acurada, segundo Brasil (1997), rodovias são vias rurais pavimentadas destinadas ao trânsito de longa distância, possuindo controle de acesso em diversos níveis e características específicas para suportar maiores velocidades e volumes de trânsito. Esse é o caso das rodovias Interestaduais e Estaduais. As rodovias urbanas, que às vezes se confundem com as vias urbanas de trânsito rápido, serão vistas com mais detalhes a seguir.

### **2.1.3 Vias Urbanas**

Geridas pelos estados e municípios, são essenciais para o trânsito dentro dos perímetros urbanos, conectando diferentes partes da cidade, incluindo áreas residenciais, comerciais e industriais. Estas vias são planejadas para otimizar a segurança e acessibilidade local, frequentemente integrando elementos como semáforos, faixas de pedestres, ciclovias e cruzamentos em nível, conforme diretrizes estabelecidas em planos diretores e leis de uso do solo local (BRASIL, 1997).

Segundo o Código de Trânsito Brasileiro (CTB) as vias urbanas são classificadas da seguinte forma (BRASIL, 1997):

- 1. Via de Trânsito Rápido:** Não possui interseções em nível, acesso direto aos lotes lindeiros e semáforos, permitindo uma circulação livre e contínua.
- 2. Via Arterial:** Caracteriza-se por possuir interseções em nível, geralmente controladas por semáforo, com acessibilidade significativa, permitindo o trânsito entre as regiões da cidade.
- 3. Via Coletora:** Destinada a coletar e distribuir o trânsito que deseja acessar as vias de maior capacidade ou sair delas, interligando as vias locais às arteriais.

4. Via Local: Destinada principalmente ao acesso local, com tráfego de veículos de menor volume e controle de velocidade, proporcionando segurança e conforto aos usuários locais.

Esses conceitos refletem a intenção de estruturar o sistema viário de maneira a atender às diferentes necessidades de mobilidade urbana e rural, garantindo segurança, eficiência e fluidez no trânsito. As rodovias, por exemplo, são projetadas para facilitar o deslocamento rápido e seguro entre cidades, enquanto as vias urbanas são planejadas para distribuir o trânsito dentro das áreas urbanas, com variações na permissão de acesso e controle de tráfego.

A Tabela 2.1 descreve os tipos de vias e as velocidades para cada uma delas, conforme o CTB (BRASIL, 1997).

**Tabela 2.1** Descrição das vias segundo suas velocidades

| TIPO DE VIA  | DESCRIÇÃO  | VELOCIDADE MÉDIA PERMITIDA              |
|--------------|--|---|
| RODOVIAS     | Vias rurais pavimentadas.  | 110 km/h (carros, motos e caminhonetas) |
|              |  | 90 km/h (ônibus e micro-ônibus)         |
|              |  | 80 km/h (caminhões)                     |
| VIA ARTERIAL | Caracteriza-se por interseções em nível, geralmente controladas por semáforo, com acessibilidade aos lotes lindeiros e às vias secundárias e locais. | 60 km/h                                 |
| VIA COLETORA | Destina-se a coletar e distribuir o trânsito que tenha necessidade de entrar ou sair das vias de maior hierarquia.                                   | 40 km/h                                 |
| VIA LOCAL    | Caracteriza-se por interseções em nível não semaforizadas, destinada apenas ao acesso local ou a áreas restritas.                                    | 30 km/h                                 |

## 2.2 FISCALIZAÇÃO DE VELOCIDADE

A fiscalização de velocidade é determinante para a segurança viária, pois ajuda a reduzir a frequência e a gravidade dos sinistros de trânsito. Dispositivos como os de fiscalização eletrônicos e câmeras de monitoramento incentivam os condutores a respeitarem os limites de velocidade, promovendo um comportamento mais seguro nas vias.

A Resolução Nº 798 de 2020 do CONTRAN estabelece diretrizes para a regulamentação do trânsito, focando na fiscalização e aplicação de penalidades. Ela consolida normas, definindo

critérios técnicos para o uso de dispositivos de fiscalização eletrônica, como DFEV, e especifica procedimentos para instalação, operação e manutenção desses equipamentos em locais estratégicos e sinalizados. A resolução detalha a fiscalização de infrações de trânsito, especialmente relacionadas à velocidade, e define as penalidades conforme o Código de Trânsito Brasileiro. Também inclui critérios técnicos de precisão e confiabilidade dos dispositivos, orientações para certificação e homologação, e recomenda a revisão periódica das normas para acompanhar mudanças tecnológicas e necessidades de segurança viária (BRASIL, 2020).

Os DFEV fixos do tipo controlador de velocidade e do tipo redutor de velocidade devem ser equipados com OCR, conforme CONTRAN (2020). A norma distingue os dois tipos de equipamentos: o DFEV controlador de velocidade que é projetado para monitorar a velocidade dos veículos ao longo de um segmento de via, com a intenção de que a velocidade máxima estabelecida seja obedecida; e o DFEV redutor de velocidade que é implementado especificamente em locais que requerem uma redução pontual da velocidade por razões de segurança, como por exemplo, em áreas escolares ou hospitalares. A integração desses dispositivos fixos é importante para a fiscalização e melhoria da segurança viária.

A Figura 2.1 (a) representa um DFEV fixo do tipo controlador que é configurado para monitorar múltiplas faixas de tráfego simultaneamente e podem ser instalados em postes ou estruturas elevadas que abrangem várias faixas de rodagem. A estrutura destes equipamentos é robusta, projetada para funcionar de forma ininterrupta e resistir a condições climáticas adversas. Já a Figura 2.1 (b) representa um DFEV fixo do tipo redutor que é frequentemente instalado em locais estratégicos onde é fácil para os condutores visualizá-lo. Podem incluir elementos adicionais como displays de mensagens variáveis ou sinais luminosos que indicam a velocidade atual do veículo, servindo como um alerta imediato para o condutor.

Embora os controladores e os redutores de velocidade tenham objetivos distintos no controle e moderação do tráfego, a integração dessas tecnologias com sistemas de OCR permite uma análise real e segura da dinâmica da velocidade dos veículos ao longo de diferentes segmentos de estrada. Essa combinação possibilita a coleta de dados relevantes sobre o comportamento dos condutores, como a manutenção de velocidades consistentes em áreas controladas ou a redução abrupta de velocidade perto de redutores. Com base no estudo de Jiménez-Bravo *et al.* (2022), pode-se dizer que o uso do OCR para rastrear veículos em múltiplos pontos de

verificação ajuda a identificar padrões comportamentais que seriam difíceis de captar com a aplicação isolada de um único tipo de equipamento, contribuindo para uma compreensão mais abrangente de como diferentes mecanismos de fiscalização influenciam o comportamento dos condutores ao longo do tempo.



(a) Controlador de velocidade (b) Redutor de velocidade

**Figura 2.1** Dispositivos de Fiscalização Eletrônica de Velocidade, fixos, do tipo controlador de velocidade e redutor de velocidade

O Artigo 218 do Código de Trânsito Brasileiro define as penalidades para o excesso de velocidade de acordo com a gravidade da infração. Se um condutor exceder o limite de velocidade em até 20%, ele comete uma infração média, resultando em uma multa. Se a velocidade exceder o limite em mais de 20% até 50%, a infração é classificada como grave, também resultando em multa. Quando a velocidade excede o limite em mais de 50%, a infração é considerada gravíssima, resultando em uma multa triplicada e na suspensão imediata do direito de dirigir. Este artigo é importante para a segurança no trânsito, pois estabelece penalidades proporcionais à gravidade da infração, incentivando o cumprimento dos limites de velocidade e contribuindo para a redução de sinistros (BRASIL, 2020).

O Projeto de Lei Nº 2.789 de 2023, propõe alterações na Lei Nº 9.503, de 23 de setembro de 1997, que instituiu o Código de Trânsito Brasileiro (CTB). As mudanças focam nos Artigos 61, 218 e 280, visando atualizar as diretrizes de velocidade e fiscalização no trânsito. A principal alteração no Artigo 61 consiste na revisão dos limites de velocidade em vias urbanas e rurais, adaptando-os às condições atuais de infraestrutura e segurança viária. Caso seja aprovado, a mudança passará a ser da seguinte forma:

## **Artigo 61:**

*A velocidade máxima permitida para a via será indicada por meio de sinalização, obedecidas suas características técnicas, o tipo de uso das vias e as condições de trânsito.*

### *§ 1º*

#### *I - nas vias urbanas:*

- a) 60 km/h nas vias de trânsito rápido;*
- b) 50 km/h nas vias arteriais;*
- c) 40 km/h nas vias coletoras;*
- d) 30 km/h nas vias locais;*

#### *II - nas vias rurais:*

*§ 2º O órgão ou entidade de trânsito ou rodoviário com circunscrição sobre a via poderá regulamentar, por meio de sinalização, velocidades iguais ou inferiores àquelas estabelecidas no parágrafo anterior, levando em consideração o tipo de uso de cada via, em casos em que as características técnicas e as condições de trânsito assim recomendarem.*

*§ 3º O órgão de trânsito deverá monitorar a utilização da via por pedestres, ciclistas e pessoas com deficiência e mobilidade reduzida e, havendo circulação destes, alterar a classificação da via com base em seu uso e determinar o limite de velocidade de acordo com essa classificação.*

## **Artigo 218:**

*Transitar em velocidade superior à máxima permitida para o local ou trecho determinado,*

*medida por instrumento ou equipamento hábil, em rodovias, vias de trânsito rápido, vias arteriais e demais vias.*

**Artigo 280:**

*§ 5º A infração prevista no artigo 218 deste Código poderá ser caracterizada por meio da aferição da velocidade instantânea ou da velocidade média na forma regulamentada pelo Contran.*

*§ 6º A fiscalização por velocidade média não poderá ser realizada entre trechos nos quais houver sinalizações distintas de velocidades máximas.*

O impacto esperado dessas alterações é o aumento da segurança nas vias urbanas e rurais, com uma redução significativa no número de sinistros e infrações de trânsito, promovendo um ambiente viário mais seguro e eficiente. Nesse sentido, o Projeto de Lei, busca modernizar o Código de Trânsito Brasileiro para refletir as necessidades e desafios contemporâneos do trânsito no Brasil, através da revisão dos limites de velocidade, modernização da fiscalização e aprimoramento do processo de autuações.

### **2.3 FISCALIZAÇÃO ELETRÔNICA DE VELOCIDADE COM OCR**

A evolução da tecnologia de Reconhecimento de Caracteres Ópticos (OCR) vem desde a década de 1920 até sua aplicação moderna em diversas áreas, com ênfase na fiscalização de trânsito. Inicialmente desenvolvida para reconhecer padrões de caracteres, a tecnologia evoluiu significativamente, especialmente após a década de 1980, com o avanço dos computadores. Na área de trânsito, os OCRs são essenciais para o reconhecimento automático de placas de veículos, permitindo a identificação precisa e eficiente de infrações de velocidade. Esta aplicação melhora a segurança viária ao possibilitar o monitoramento contínuo e a penalização de violações de trânsito (JANG, 2020).

Após a captura da imagem e a conversão dos caracteres da placa em texto, o sistema compara esses caracteres com um banco de dados de registros de veículos para identificar o proprietário do veículo infrator (SILVA, 2019). As informações sobre a infração, incluindo a imagem do veículo, a placa e os detalhes da velocidade, são registradas, armazenadas e ficam sob responsabilidade do órgão de trânsito fiscalizador. Com esses dados, uma notificação de infração é gerada e enviada ao proprietário do veículo, contendo todos os detalhes da infração e instruções para pagamento ou contestação (FARAH, 2013).

Estudos demonstram que a utilização de OCRs na fiscalização de velocidade melhora significativamente a eficiência do processo. De acordo com Smith *et al.* (2018), a precisão dos OCRs na leitura de placas de veículos pode atingir níveis superiores a 98%, o que minimiza a necessidade de intervenção manual e reduz o erro humano na identificação de infrações.

Segundo o estudo de Johnson & Peters (2019), a instalação de OCRs em zonas urbanas e rodovias resultou em uma redução de 20% no número de sinistros graves em áreas monitoradas, destacando a eficácia desses sistemas na promoção da segurança viária. A fiscalização eletrônica da velocidade pode ser eficaz na redução do excesso de velocidade e, conseqüentemente, no número de sinistros e mortes no trânsito (AMÂNCIO, 2024). Por isso, os sistemas de (OCR) e o monitoramento de placas de veículos são ferramentas valiosas para a avaliação do comportamento de risco no trânsito.

É importante destacar que a implementação de sistemas de OCR e monitoramento em larga escala pode ter um custo elevado, necessitando de investimento significativo em infraestrutura e tecnologia. No entanto, é necessário implementar medidas eficazes para mudar a cultura do trânsito e promover a segurança viária (WHO, 2004).

Embora a implementação inicial dos sistemas de OCRs possa representar um custo elevado quando comparado aos sistemas tradicionais, os benefícios a longo prazo, incluindo a redução de sinistros e a eficiência operacional, justificam o investimento. Um relatório da ETSC (2021) destaca que os custos de instalação e manutenção dos sistemas de OCRs são compensados pela diminuição de sinistros e infrações, resultando em economia para as administrações públicas e sociedade.

### **3 COMPORTAMENTO DE RISCO RELACIONADO À VELOCIDADE PRATICADA PELOS CONDUTORES**

O comportamento de risco no trânsito refere-se a ações dos condutores, passageiros, ciclistas ou pedestres que aumentam a probabilidade de sinistros, lesões ou fatalidades. Esse comportamento pode incluir uma variedade de práticas perigosas, como excesso de velocidade, dirigir sob a influência de álcool ou drogas, uso inadequado de dispositivos móveis, desrespeito às sinalizações de trânsito, e outras atitudes imprudentes (OMS, 2018).

O comportamento de risco no trânsito, caracterizado pela alta velocidade, é um problema grave que contribui significativamente para sinistros e mortes no trânsito. Estudos como os realizados por Elvik *et al.* (2004) comprovam a relação direta entre o comportamento do condutor e a velocidade excessiva, revelando um ciclo vicioso que coloca em perigo a vida de todos os usuários da via. Esses autores destacam que pequenas reduções na velocidade média podem levar a reduções substanciais na frequência e gravidade dos sinistros, destacando a importância de políticas eficazes de gestão de velocidade para a segurança viária. Dessa forma, este Capítulo busca analisar com mais detalhes estes comportamentos de riscos relacionados à velocidade praticada pelos condutores em veículos automotores.

#### **3.1 FATORES DE RISCO**

A Figura 3.1 ilustra um cenário de transição entre rodovia e perímetro urbano, evidenciando como os padrões de velocidade dos veículos variam conforme se aproximam ou se afastam do ambiente urbano. No sentido de entrada para a área urbana, os veículos apresentam velocidades maiores, enquanto no sentido saída do perímetro urbano, as velocidades praticadas são menores, sugerindo uma adaptação tardia à necessidade de redução. Essa diferença de comportamento pode indicar que os condutores não ajustam suas velocidades conforme as condições viárias, o que aumenta o risco de sinistros em áreas urbanas. Nota-se que o estudo de Rao *et al.* (2017) aponta que as manobras de entrada e saída de vias principais causam uma redução significativa na velocidade dos veículos. Isso ocorre porque os condutores precisam reduzir as velocidades ao entrar e aumentá-las ao sair dessas vias.



**Figura 3.1** Ilustração da dinâmica da velocidade e o comportamento de aproximação e distanciamento do perímetro urbano (elaborada pelo autor com auxílio da IA CHAT GPT)

Bastos *et al.* (2021) realizaram um estudo naturalístico de direção no Brasil e constataram que condutores que apresentaram comportamentos de risco, tiveram maior probabilidade de exceder os limites de velocidade. Van Nes *et al.* (2019), realizaram um estudo sobre o comportamento de condutores e concluíram que a presença de condutores imprudentes e que excedem a velocidade pode levar a um aumento da irritabilidade e do comportamento hostil entre os demais condutores.

Fatores como congestionamentos, pressa para chegar ao destino, condições climáticas adversas e a sensação de anonimato no trânsito também podem aumentar a imprudência do condutor (STRADLING *et al.*, 1994; COOPER & NOVACO, 1986). A crença de que a velocidade garante agilidade e controle, a subestimação dos riscos e a falta de empatia com outros usuários da via podem levar a comportamentos imprudentes (STRADLING *et al.*, 1994; REASON, 1990).

Em um ambiente com alta velocidade média do tráfego, os condutores tendem a se adaptar a essa velocidade, aumentando comportamentos de riscos como ultrapassagens perigosas e mudanças bruscas de faixa (STRADLING *et al.*, 1994; COOPER & NOVACO, 1986). As variações bruscas na velocidade do tráfego podem aumentar a probabilidade de comportamentos de risco, como frenagens bruscas, excessos de velocidades e mudanças bruscas de faixa (WHO, 2004).

Os condutores imprudentes tendem a dirigir em velocidades mais altas, ignorando limites e colocando em risco a segurança de si mesmos e dos demais (STRADLING *et al.*, 1994). A imprudência leva à redução da distância de segurança entre os veículos, diminuindo o tempo de reação em caso de frenagens bruscas ou imprevistos (COOPER & NOVACO, 1986). A combinação de imprudência e velocidade excessiva multiplica o risco de sinistros graves e fatais, com graves consequências para os envolvidos e para a sociedade (REASON, 1990).

A energia cinética envolvida em colisões em alta velocidade aumenta a gravidade das lesões e a probabilidade de mortes (STRADLING *et al.*, 1994; COOPER & NOVACO, 1986). Sinistros causados por comportamentos de risco e velocidade excessiva podem gerar traumas psicológicos, sequelas físicas permanentes e custos sociais elevados (REASON, 1990). A análise da velocidade antes e depois da implementação de medidas como campanhas educativas, fiscalização mais rigorosa e melhorias na infraestrutura permite avaliar a efetividade dessas medidas na redução do comportamento de risco (WHO, 2004).

O PNATRANS (PNATRANS, 2022) reconhece a importância de combater o comportamento de risco e a velocidade excessiva como medidas para reduzir o número de sinistros de trânsito no país. A avaliação da imprudência no trânsito é de suma importância para a implementação de medidas eficazes de combate às condutas arriscadas e à garantia da segurança viária. Através da coleta e análise de dados, é possível identificar os locais e horários com maior incidência de comportamentos de risco, direcionar ações de fiscalização e campanhas educativas para avaliar o impacto das medidas implementadas.

Com base no estudo de imagens e vídeos capturados em rodovias e vias urbanas, pode-se identificar diversos indicadores de risco, como o excesso de velocidade, pois ao comparar a velocidade registrada do veículo com o limite de velocidade da via, é possível identificar e quantificar o comportamento de alta velocidade (STRADLING *et al.*, 1994; COOPER & NOVACO, 1986). A análise dos dados permite identificar os pontos da via onde o comportamento de risco é mais frequente, direcionando ações de fiscalização e campanhas educativas (WHO, 2004). O monitoramento contínuo permite identificar comportamentos de risco em tempo real, possibilitando a intervenção imediata das autoridades de trânsito (WHO, 2004).

### 3.2 INFLUÊNCIA DA INFRAESTRUTURA VIÁRIA NA VELOCIDADE

A gestão da velocidade e a qualidade da infraestrutura no ambiente urbano e rural são fatores importantes para a segurança viária. Estudos como o de Theeuwes *et al.* (2024) e Sadia *et al.* (2018) comprovam a relação entre esses fatores e a incidência de sinistros de trânsito, destacando a importância de uma abordagem integrada para a redução de sinistros e melhoria da segurança nas estradas.

No contexto da análise da velocidade, diversos aspectos viários são importantes para uma avaliação abrangente e precisa, visando a implementação de medidas eficazes de controle e segurança. Esses aspectos incluem a geometria da via, a sinalização, o tipo de pavimento, a presença de dispositivos de moderação de tráfego, e a infraestrutura de fiscalização eletrônica (FAIZ *et al.*, 2022).

A geometria da via, incluindo o número de faixas, a largura das faixas, e a presença de curvas e inclinações, afeta diretamente a velocidade dos veículos. Estudos como o de Dai (2012) demonstram que vias mais estreitas e com maior número de curvas tendem a reduzir a velocidade média dos veículos. A configuração geométrica é importante para identificar áreas de risco e implementar medidas corretivas.

De acordo com o Manual Brasileiro de Sinalização (BRASIL, 2022), se feita da forma adequada, facilita a orientação dos condutores sobre os limites de velocidade e outras regras de trânsito, pois sua eficácia depende de boa visibilidade, clareza e posicionamento adequado. O manual fornece, ainda, diretrizes detalhadas sobre a sinalização viária, destacando a importância de sinais claros e bem-posicionados para a segurança viária.

Hashim *et al.* (2023), esclarece que o tipo de pavimento também pode influenciar o comportamento dos condutores em relação à velocidade. Pavimentos em boas condições promovem uma condução mais segura e confortável, enquanto pavimentos deteriorados podem levar a redução da velocidade para evitar danos aos veículos.

Já a implementação de dispositivos como lombadas, faixas elevadas e rotatórias é eficaz na redução da velocidade dos veículos em áreas urbanas. O Manual de Medidas Moderadoras de Tráfego, (BHTRANS, 2020) destaca que esses dispositivos são fundamentais para proteger pedestres e ciclistas, especialmente em zonas escolares e áreas residenciais.

No contexto da visibilidade, Almoshaogeh *et al.* (2023) esclarecem que a iluminação das vias também são aspectos importantes a serem considerados, pois vias bem iluminadas e com boa visibilidade contribuem para uma condução mais segura, especialmente durante a noite e em condições climáticas adversas. A OPAS (2012) recomenda melhorias na iluminação pública como parte das estratégias para aumentar a segurança viária.

Segundo a LSEPS (2017), somado a tudo isso, a utilização de DFEV e outros dispositivos de fiscalização eletrônica são práticas consolidadas para monitorar e controlar as velocidades dos veículos. Estudos mostram que a presença de fiscalização eletrônica reduz significativamente a incidência de excesso de velocidade. Bastos *et al.* (2020) indicam que a fiscalização eletrônica, além de reduzir as infrações, também diminui a severidade dos sinistros.

Nesse contexto, pode-se afirmar que, conforme destacado pela FHWA (2022), a gestão de velocidade deve ser integrada a uma estratégia de planejamento urbano mais ampla, focada na segurança, sustentabilidade e eficiência. Essa abordagem facilita a implementação de medidas eficazes e sustentáveis, adaptadas às necessidades específicas de cada ambiente viário.

### **3.3 DINÂMICA DA VELOCIDADE ANTES E APÓS OS PONTOS DE FISCALIZAÇÃO**

A dinâmica da velocidade em vias urbanas e rodovias é influenciada por diversos fatores, incluindo a presença de dispositivos de fiscalização. Condutores tendem a alterar seu comportamento de condução quando se aproximam de dispositivos de fiscalização eletrônica, resultando em padrões de aumentos e reduções de velocidades que podem ter implicações para a segurança viária.

Ao se aproximarem de um DFEV, muitos condutores reduzem a velocidade para evitar multas, comportamento que foi amplamente documentado na literatura. Por exemplo, a (AASHTO, 2006; 2010) destaca que a instalação de DFEV é eficaz na redução das velocidades médias dos veículos, contribuindo para a diminuição dos sinistros de trânsito. Porém, após passarem por um DFEV, alguns condutores retomam a velocidade rapidamente, um fenômeno conhecido como "efeito salto de canguru", conforme descrito por Høyve (2014).

Aumentar a velocidade bruscamente após a redução ao passar por um DFEV pode ter várias consequências negativas, conforme observado por Elvik *et al.* (2009), como picos de velocidade

que ultrapassam os limites estabelecidos, aumentando o risco de sinistros. A rápida variação de velocidade reduz o tempo de reação dos outros condutores e pedestres, conforme destacado por McLean & Kloeden (2002), aumentando a probabilidade de colisões e atropelamentos.

Ogden (1996) argumenta que a altas velocidades podem levar à perda de controle do veículo, especialmente em condições climáticas adversas ou em curvas fechadas. Importante destacar que o aumento e a redução de velocidade frequente e brusca causa desgaste excessivo nos componentes do veículo, como motor, freios e pneus, diminuindo a vida útil do veículo e aumentando os custos de manutenção.

Para reduzir os riscos associados ao comportamento de aumento e redução de velocidade próximo aos DFEV, várias medidas podem ser implementadas, destacando-se os sistemas de controle por seções, que monitoram a velocidade média ao longo de um trecho mais longo da estrada. Eles são recomendados para reduzir o "efeito salto de canguru" (HØYE, 2014). Campanhas educativas podem aumentar a conscientização sobre os riscos da redução brusca e a importância de manter uma velocidade constante e segura (WHO, 2017). Além disso, segundo a OMS (2018), melhorias na infraestrutura, como a implementação de sinalização adequada e visível, os dispositivos de atenuação de impacto, podem contribuir para a redução de sinistros e mortes no trânsito.

### **3.4 INFLUÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS VEICULARES NA VELOCIDADE MÉDIA PRATICADA PELOS CONDUTORES**

No estudo de Melman *et al.* (2022), os autores exploraram o impacto dos modos esportivos dos veículos sobre o comportamento dos condutores, especificamente em relação às velocidades praticadas. O artigo parte da premissa de que os modos esportivos, frequentemente disponíveis em veículos modernos, podem influenciar a maneira como os condutores se comportam ao volante, potencialmente induzindo a velocidades mais elevadas. A pesquisa foi realizada utilizando um simulador de direção, permitindo um controle das variáveis e a possibilidade de observar diretamente o comportamento dos condutores sob diferentes condições de condução.

O estudo não encontrou um aumento significativo na percepção de perigo por parte dos condutores ao dirigir em modo esportivo, o que indica que a sensação de controle proporcionada pode encorajar uma condução mais rápida sem que os condutores se sintam mais inseguros. Em

termos de segurança viária, isso levanta preocupações, pois as velocidades mais altas podem aumentar o risco de sinistros.

Os resultados indicaram que a ativação do modo esportivo, em geral, levou a um aumento nas velocidades médias praticadas pelos condutores, sugerindo uma adaptação comportamental ao modo de condução do veículo. Isso pode ser atribuído a uma maior responsividade e sensação de controle que esses modos conferem, o que pode levar os condutores a se sentirem mais confiantes e, portanto, mais propensos a praticar altas velocidades. No entanto, os autores também ressaltam que essa adaptação não é universal e pode variar significativamente entre os indivíduos, dependendo de fatores como a experiência de condução e a familiaridade com o veículo (MELMAN *et al.*, 2022).

Os achados deste estudo sugerem que as características do veículo, como potência, desempenham um papel importante na forma como os condutores adaptam seu comportamento, particularmente no que diz respeito à velocidade. Por isso, informações sobre a cilindrada, potência e velocidade máxima de motores de diferentes categorias de veículos oferece uma visão ampla da relação entre a potência do motor e o desempenho de um veículo em diferentes contextos.

Por exemplo, motores de menor cilindrada, como os de 1.0 L, com potência entre 75 e 88 CV, atingem velocidades de até 175 km/h e são ideais para uso urbano devido à economia de combustível. Em contraste, motores maiores, como os 2.0 L turbo, alcançam potências de até 250 CV e velocidades superiores a 240 km/h, tornando-os efetivos para desempenho esportivo e situações onde alta potência é necessária. Essa categorização é útil para consumidores e engenheiros na escolha do veículo mais adequado conforme a necessidade de potência, economia e tipo de uso, seja urbano ou em rodovias.

A Tabela 3.1 descreve a caracterização de veículos, conforme os manuais específicos de algumas marcas e modelos.

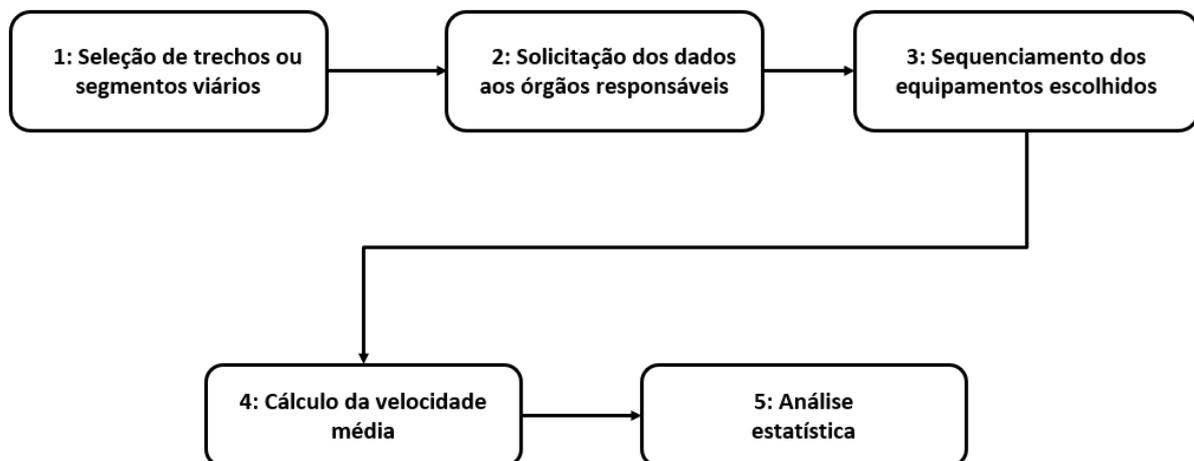
**Tabela 3.1** Caracterização de veículos

| <b>CATEGORIA DO MOTOR</b> | <b>CILINDRADA (L)</b> | <b>POTÊNCIA (CV)</b> | <b>VELOCIDADE MÁXIMA (Km/h)</b> | <b>EXEMPLO DE MODELO</b>    |
|---------------------------|-----------------------|----------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| <b>Motor 1.0</b>          | 1,0 L                 | 75 CV                | 160 km/h                        | Fiat Mobi, VW Gol           |
| <b>Motor 1.0 Turbo</b>    | 1,0 L                 | 128 CV               | 192 km/h                        | VW UP! 1.0 TSI              |
| <b>Motor 1.4</b>          | 1,4 L                 | 88 CV                | 175 km/h                        | Chevrolet Onix              |
| <b>Motor 1.6</b>          | 1,6 L                 | 110 – 120 CV         | 190 – 200 km/h                  | Hyundai HB20, Ford Ka       |
| <b>Motor 1.8</b>          | 1,8 L                 | 139 – 144 CV         | 205 – 210 km/h                  | Toyota Corolla, Fiat Cronos |
| <b>Motor 2.0</b>          | 2,0 L                 | 150 – 170 CV         | 210 – 230 km/h                  | Honda Civic, VW Jetta       |
| <b>Motor 2.0 Turbo</b>    | 2,0 L                 | 220 – 250 CV         | 240 – 260 km/h                  | Audi A4, BMW 320i           |

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

Embora no Brasil a análise de comportamento em segurança viária seja tradicionalmente conduzida por meio de questionários, simuladores de direção e análise estatística de sinistros, este estudo adota uma abordagem observacional baseada em análises estatísticas dos dados coletados. O método permite capturar de forma precisa as velocidades dos veículos e outras informações relevantes, possibilitando a realização de análises detalhadas que visam identificar padrões de comportamento dos condutores em condições reais de tráfego.

Neste Capítulo são descritos os materiais e métodos empregados na pesquisa utilizando dados obtidos de DFEV fixos com tecnologia OCR, operados por órgãos de trânsito federais e estaduais. Notadamente as instituições públicas responsáveis pela gestão do trânsito no Brasil possuem uma extensa base de dados sobre o fluxo veicular, coletados por meio de dispositivos de fiscalização eletrônica instalados nas vias públicas, e que na maioria dos casos é subutilizada. O fluxograma metodológico da pesquisa é apresentado na Figura 4.1 e as etapas são descritas a seguir.



**Figura 4.1** Fluxograma metodológico

### 4.1 ETAPA 1: SELEÇÃO DOS TRECHOS OU SEGMENTOS VIÁRIOS

O primeiro passo do estudo consiste na seleção dos segmentos viários e do período temporal a serem analisados. Recomenda-se escolher trechos que apresentem características distintas em termos de tráfego, geometria viária, e limites de velocidade, entre outros fatores relevantes. Além disso, é essencial que esses trechos possuam, no mínimo, dois DFEV, preferencialmente

do tipo controlador de velocidade, equipados com tecnologia OCR, que são fundamentais para a coleta precisa de dados de velocidade dos veículos. É importante que os equipamentos com tecnologia OCR estejam com os horários devidamente sincronizados, para garantir a acuracidade dos dados e evitar registros de velocidades extremas que possam distorcer os resultados.

## **4.2 ETAPA 2: SOLICITAÇÃO DOS DADOS AOS ÓRGÃOS RESPONSÁVEIS**

Após a seleção dos trechos ou segmentos viários, é necessário solicitar os dados aos órgãos responsáveis. Esses dados devem incluir, essencialmente, os registros das coordenadas geográficas dos equipamentos controladores de velocidade com tecnologia OCR (latitude e longitude), a data e hora (incluindo minutos e segundos), a placa do veículo, e a velocidade registrada pelos DFEV com OCR. As coordenadas geográficas são fundamentais para calcular a distância entre os pontos, enquanto o horário permite determinar o tempo gasto no percurso entre esses pontos. Com essas informações, é possível calcular a velocidade média entre dois equipamentos. A placa do veículo é igualmente fundamental, pois permite identificar o mesmo veículo nos diferentes registros dos equipamentos. Caso seja possível obter também as características dos veículos, como tipo (automóvel, caminhão, caminhonete, caminhoneta, motocicleta etc.) bem como marca, modelo e potência, esses dados podem enriquecer a análise, permitindo a segregação por tipo e potência dos veículos.

## **4.3 ETAPA 3: SEQUENCIAMENTO DOS EQUIPAMENTOS ESCOLHIDOS**

Os DFEV equipados com tecnologia OCR devem ser organizados em uma sequência lógica para garantir a precisão no cálculo da velocidade média, assegurando que os registros sejam consistentes e representativos dos trechos analisados. Como o objetivo é acompanhar o veículo ao longo dos diferentes segmentos viários e entre os DFEV com tecnologia OCR, é primordial determinar a ordem de passagem dos veículos entre os equipamentos, bem como o sentido do deslocamento no trecho. Essa ordenação permitirá a identificação de padrões de aumento e redução das velocidades dos veículos, permitindo uma análise mais detalhada do comportamento dos condutores ao longo do percurso.

#### 4.4 ETAPA 4: CÁLCULO DA VELOCIDADE MÉDIA

Com os dados coletados é possível calcular a velocidade média ( $vm$ ) entre os equipamentos com tecnologia OCR utilizando a Equação 4.1:

$$vm = \frac{Distância}{Tempo} \quad (4.1)$$

A análise pode ser segmentada por tipo de veículo, excluindo, por exemplo, caminhões e outros veículos pesados, para focar apenas em automóveis utilitários, caminhonetes e caminhonetas. Além disso, é possível segmentar os dados por sentido do tráfego e por período do dia, permitindo uma análise mais detalhada e específica dos padrões de velocidade em diferentes condições e momentos.

#### 4.5 ETAPA 5: ANÁLISE ESTATÍSTICA

Com as velocidades médias calculadas, diversas análises podem ser realizadas para identificar os fatores que influenciam o comportamento dos condutores em relação à dinâmica da velocidade. Uma análise inicial pode envolver a verificação da associação entre a velocidade média praticada e a ocorrência de infrações, categorizando a velocidade média em diferentes faixas (como "abaixo da velocidade regulamentada", "até 10% acima da velocidade regulamentada", "entre 10% e 20% acima da velocidade regulamentada" etc) e categorizando a infração em "Sim" ou "Não", ou seja, se o veículo ultrapassou ou não o limite de velocidade regulamentada.

Outras análises podem incluir:

- Potência do veículo: Examinar se existe uma relação entre a potência do veículo e a dinâmica da velocidade.
- Sentido da via: Analisar a velocidade média praticada em diferentes sentidos da via para identificar variações no comportamento dos condutores, durante a aproximação ou afastamento de uma área urbanizada.

- Distância entre os equipamentos: Avaliar como a distância entre os dispositivos equipados com OCR influenciam na velocidade média dos veículos.
- Efeito "salto canguru": Analisar graficamente o fenômeno em que os condutores tendem a aumentar a velocidade após passar por um DFEV e reduzir a velocidade ao se aproximar do próximo, evidenciando o comportamento de adaptação à presença dos dispositivos.
- Comparação entre vias: Comparar as velocidades dos mesmos veículos em diferentes trechos (urbanos e rurais) para identificar variações no comportamento em diferentes contextos viários.

Essas análises permitem uma compreensão mais aprofundada do comportamento dos condutores e dos fatores que influenciam a dinâmica da velocidade em diferentes condições. Em geral, pode-se utilizar estatística do tipo Qui-Quadrado e Z para as variáveis categóricas, e ANOVA e *t* de *Student* ou Wilcoxon para as variáveis quantitativas.

## 5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este Capítulo apresenta a análise dos resultados obtidos a partir da aplicação do método descrito no Capítulo 4, tendo como estudo de caso os trechos rodoviários que circundam o Distrito Federal (DF), sob jurisdição do DNIT, DER/DF e DETRAN/DF. As análises estatísticas foram realizadas utilizando o *software* SAS 9.4.

### 5.1 APLICAÇÃO DO MÉTODO

O método proposto no Capítulo 4 foi aplicado em diversos segmentos de rodovias interestaduais, estaduais e vias urbanas sob a circunscrição do Distrito Federal (DF) e de Goiás (GO), que circundam o Distrito Federal. A seguir, são descritas em detalhes as etapas do método utilizado para a condução desse estudo, destacando as particularidades de cada tipo de via e como elas influenciam os resultados observados.

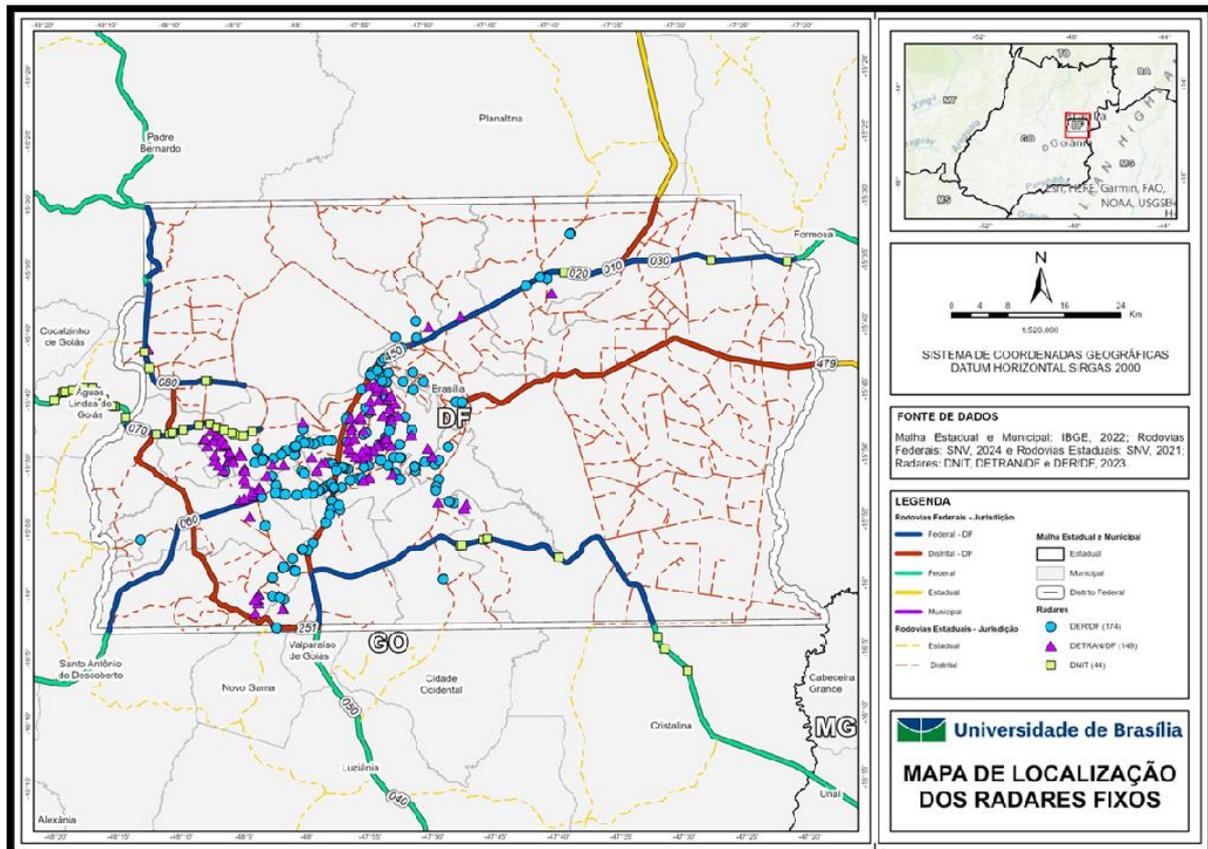
#### 5.1.1 Etapa 1: Seleção dos trechos ou segmentos viários

A escolha dos segmentos levou em consideração a presença estratégica de DFEV equipados com tecnologia OCR, fundamentais para a coleta de dados sobre a velocidade dos veículos. Além disso, foram selecionados trechos com velocidades regulamentares variando entre 60 km/h e 80 km/h, de modo a captar uma gama representativa de comportamentos dos condutores em diferentes condições viárias. Essa abordagem visou garantir uma cobertura abrangente das áreas monitoradas conforme pode ser visto na Figura 5.1, permitindo analisar as dinâmicas de velocidade em contextos diversos, considerando tanto o ambiente rural quanto urbano.

A análise abrangeu 4 (quatro) segmentos de rodovias interestaduais localizadas no Distrito Federal e Goiás (BR – 251, BR – 020, BR – 080, BR – 070); 10 (dez) segmentos de rodovias estaduais pertencentes ao Distrito Federal (DF – 003, DF – 002, DF – 001, DF – 075, DF – 085, DF – 095, DF – 007, DF – 079, DF – 463, DF – 025) e todos os segmentos de vias urbanas disponíveis que se conectassem com alguma das rodovias citadas, permitindo uma avaliação abrangente das dinâmicas de velocidade média nas diferentes tipologias de vias. Todas as rodovias estaduais monitoradas pelo DER/DF estão inseridas em contexto urbano, enquanto as vias geridas pelo DETRAN/DF também fazem parte do ambiente urbano. Por outro lado, as rodovias sob gestão do DNIT estão localizadas em contextos predominantemente rurais, o que



distribuiu seus equipamentos nas principais rodovias estaduais/distritais, visando o cumprimento das regulamentações de trânsito em vias de grande importância para o Distrito Federal. O DNIT, por sua vez, posiciona os equipamentos apenas nas rodovias federais que não são concedidas. Essas rodovias, não concedidas e de alto fluxo intermunicipal e interestadual, demandam controle de tráfego e segurança viária, justificando a instalação dos equipamentos para o monitoramento eficiente. A figura 5.2 ilustra a disposição dos DFEV com OCR do DNIT, DER/DF e DETRAN/DF, que foram utilizados no estudo.



**Figura 5.2** Ilustração das localizações dos Dispositivos de Fiscalização Eletrônica equipados com OCR

### 5.1.2 Etapa 2: Solicitação dos Dados aos Órgãos Responsáveis

Foi realizado contato direto com servidores dos respectivos departamentos, que detinham poder de gestão e decisão nos órgãos responsáveis pela gestão dos dados de tráfego. Em seguida, foi elaborada uma documentação formal de solicitação dirigida ao Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), ao Departamento de Estradas de Rodagem do Distrito Federal (DER/DF) e ao Departamento de Trânsito do Distrito Federal (DETRAN/DF). Essa documentação incluiu uma justificativa detalhada, destacando a necessidade imprescindível de

acesso aos dados para a análise da dinâmica de velocidade, ressaltando a importância dessas informações para o estudo em questão.

A argumentação apresentada enfatizou a relevância de se obter dados precisos e completos, como registros de velocidades capturadas pelos DFEV, placa dos veículos, geolocalização dos equipamentos com OCR e regulamentações de trânsito aplicáveis às áreas de estudo. Através dessa solicitação formal e das negociações subsequentes, foi possível assegurar a colaboração dos órgãos, que prontamente forneceram os dados necessários. Solicitou-se então os 10 primeiros dias do mês de março de 2024 que foram analisados por 24 horas ininterruptamente.

Essa etapa de articulação e solicitação junto aos órgãos competentes foi determinante para garantir que a análise fosse fundamentada em informações reais e detalhadas, permitindo uma avaliação da conformidade com os limites de velocidade, dos padrões de comportamento dos condutores, e do impacto das intervenções de fiscalização na segurança viária. A qualidade e a abrangência dos dados recebidos foram fundamentais para o êxito das análises realizadas, assegurando que os resultados refletissem fielmente a realidade do tráfego nas vias e rodovias analisadas. Vale ressaltar que o DNIT possui tanto equipamentos controladores quanto redutores de velocidade, o que não é o ideal, mas sem os equipamentos redutores, não seria possível medir a velocidade média em alguns trechos, devido à falta de equipamentos controladores nesses mesmos trechos.

A base de dados fornecida pelo DNIT, DER/DF e DETRAN/DF, apresentada na Tabela 5.1, foi fundamental para uma análise detalhada da dinâmica de velocidade nas vias e rodovias estudadas. Com um total de mais 59 milhões de registros, envolvendo mais de 5 milhões de placas distintas e ocupando 15,9 GB. A amplitude e a precisão desses dados permitiram avaliar com rigor científico a relação da dinâmica da velocidade média e a identificação de padrões de comportamento dos condutores nas diferentes jurisdições.

**Tabela 5.1** Dados brutos obtidos de cada órgão, para 10 dias

| <b>Órgão</b>     | <b>Registros</b> | <b>Placas Distintas</b> | <b>Tamanho</b> |
|------------------|------------------|-------------------------|----------------|
| <b>DNIT</b>      | 11.390.940       | 748.188                 | 1,8GB          |
| <b>DER/DF</b>    | 28.429.243       | 2.835.522               | 7,8GB          |
| <b>DETRAN/DF</b> | 20.177.187       | 1.892.253               | 6,3GB          |
| <b>TOTAL</b>     | 59.997.370       | 5.475.963               | 15,9GB         |

### 5.1.3 Etapa 3: Sequenciamento dos Equipamentos Escolhidos

O sequenciamento dos equipamentos de medição é uma etapa fundamental para realizar a análise das velocidades médias. Dada a ausência de lógica sequencial dos dados fornecidos pelos órgãos responsáveis, foi necessário analisar e ordenar os equipamentos, de forma a identificar o sentido das vias e a correta interpretação dos dados de velocidade.

Esse sequenciamento não apenas garantiu que os equipamentos mais relevantes fossem priorizados, mas também facilitou a criação de uma sequência lógica para a análise. A identificação do sentido de circulação, que poderia ter sido comprometida pela falta de uma lógica de sequência inicial, foi assegurada por meio dessa organização sistemática dos equipamentos. A Figura 5.3 nas imagens (a), (b) e (c) apresenta um exemplo da forma como os equipamentos foram inicialmente fornecidos para o estudo, sem uma sequência lógica definida. A última imagem (d) ilustra um exemplo de sequenciamento real dos equipamentos no ambiente viário, evidenciando a ausência de uma ordenação completa em ambos os sentidos das vias, o que reforça a importância de uma metodologia sistemática para a identificação correta do fluxo de tráfego e da funcionalidade dos dispositivos de controle e fiscalização.

|             |        |       |
|-------------|--------|-------|
| DFB23040026 | DER047 | KR013 |
| DFB23040027 | DER052 | KR015 |
| DFB23090028 | DER079 | KR016 |
| DFB23090029 | DER080 | KR025 |
| DFB24050030 | DER082 | KR032 |
| DFR20010001 | DER087 | KR033 |
| DFR20020002 | DER089 | KR046 |
| DFR20020004 | DER090 | KR047 |
| DFR20020005 | DER094 | KR048 |
| DFR20020007 | DER095 | KR049 |

(a) (b) (c)



(d)

**Figura 5.3** Identificações de alguns dos equipamentos fornecidos pelos órgãos de trânsito, sendo: (a) DNIT, (b) DER/DF, (c) DETRAN/DF e (d) distribuição espacial DER/DF

Em contraste, a Figura 5.4 mostra a sequência lógica criada especificamente para o estudo, visando uma análise mais estruturada para cada órgão. O recorte ilustrativo na Figura 5.4 utiliza apenas dois equipamentos para exemplificação, mas há trechos que possuem até 18 sequências de equipamentos que foram sequenciados para garantir a efetividade e precisão do estudo, considerando a complexidade de cada trecho analisado.

| ponto       | seq | km   | tipo     |
|-------------|-----|------|----------|
| DFB20020010 | 1   | 14,6 | reductor |
| DFB23090028 | 2   | 4,9  | reductor |

(a) DNIT

| ponto           | seq | km  | tipo        |
|-----------------|-----|-----|-------------|
| DER447 (KM 0,8) | 1   | 0,8 | controlador |
| DER454 (KM 4,0) | 2   | 4   | controlador |

(b) DER/DF

| ponto  | seq | endereço  | tipo        |
|--------|-----|---|-------------|
| KRB171 | 1   | EIXO W SQS 103 SENT SUL/NORTE, BrasÃ-lia, DF  | controlador |
| KRB175 | 2   | EIXO W SUL ALTURA EQS 106/107 PROX. AO CINE BRASILIA SENT. SUL/NORTE, BrasÃ-lia, DF | controlador |

(c) DETRAN/DF

**Figura 5.4** Elaboração de sequenciamento dos equipamentos por órgão

Com o sequenciamento foi possível analisar a distância entre os DFEV equipados com OCR. Avaliou-se como essa distância influencia a velocidade média dos veículos, identificando, por exemplo, se distâncias maiores entre os DFEV resultam em maiores desvios de velocidade, devido à menor percepção de fiscalização contínua. Essa análise pode ser importante para a reconfiguração da distribuição dos equipamentos de fiscalização, visando a criação de zonas de controle de velocidade mais eficientes.

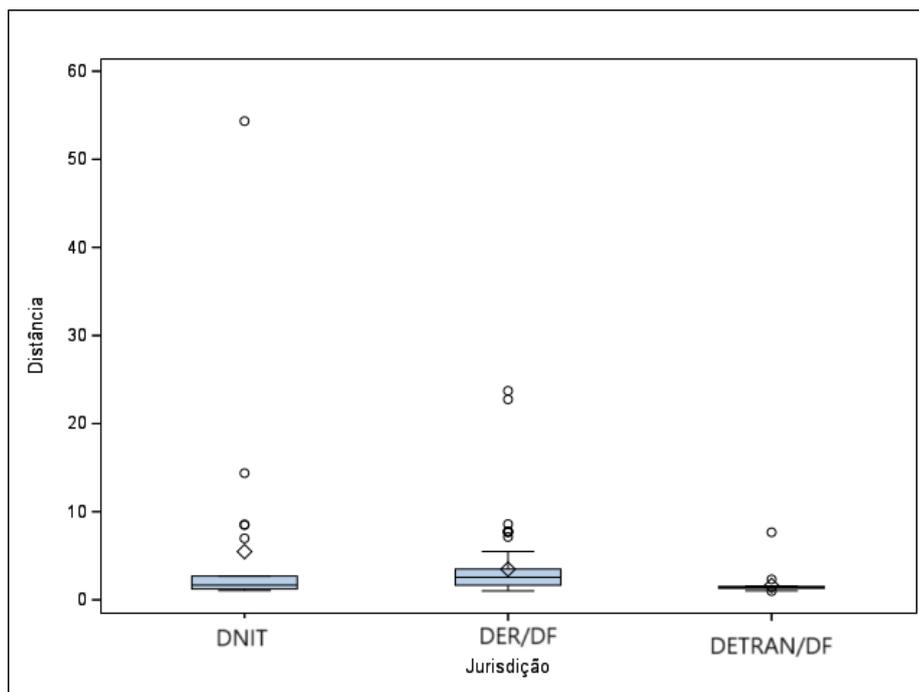
A Tabela 5.2 apresentada a análise da variável de distância dos equipamentos de fiscalização sob a jurisdição do DNIT, DER/DF e DETRAN/DF utilizados na pesquisa. O DNIT registra as maiores distâncias entre os equipamentos, com uma média de 5,47 km e um máximo de 54,33 km, revelando um maior espaçamento entre pontos de controle nas rodovias federais. Isso indica que as rodovias federais sob o controle do DNIT possuem maior espaçamento entre pontos de fiscalização, o que pode afetar a eficácia no controle de velocidade. O DER/DF apresenta uma média de distância entre os equipamentos de 3,47 km, com variações de 1,00 km a 23,72 km, sugerindo uma distribuição moderada dos pontos de fiscalização. Já o

DETRAN/DF, por outro lado, possui distâncias mais curtas e consistentes, com uma média de 1,61 km e valores variando de 0,98 km a 7,66 km, o que indica uma fiscalização mais concentrada. Como pode ser visto, o DER/DF e o DETRAN/DF apresentam distâncias menores e mais consistentes, o que pode favorecer uma fiscalização mais uniforme e eficiente.

**Tabela 5.2** Análise das distâncias (km) dos segmentos com DFEV de cada jurisdição

| Jurisdição       | Segmentos | Mínimo | 1º Quartil | Mediana | Média | 3º Quartil | Máximo |
|------------------|-----------|--------|------------|---------|-------|------------|--------|
| <b>DNIT</b>      | 22        | 1,04   | 1,22       | 1,66    | 5,47  | 2,69       | 54,33  |
| <b>DER/DF</b>    | 75        | 1,00   | 1,65       | 2,55    | 3,47  | 3,47       | 23,72  |
| <b>DETRAN/DF</b> | 29        | 0,98   | 1,30       | 1,42    | 1,61  | 1,50       | 7,66   |

Ainda sobre a análise das distâncias, a Figura 5.5 apresenta um *boxplot* que mostra a distribuição das distâncias entre os equipamentos de fiscalização sob as jurisdições do DNIT, DER/DF e DETRAN/DF. Observa-se que o DNIT possui uma maior variabilidade nas distâncias, com medianas mais altas e uma amplitude significativa, incluindo diversos *outliers* acima de 50 km, indicando que as distâncias entre equipamentos nas rodovias federais são maiores e menos uniformes. Já o DER/DF apresenta distâncias mais moderadas, enquanto o DETRAN/DF exibe as menores e mais consistentes distâncias, sugerindo uma fiscalização mais densa e regular nas áreas urbanas. Essa distribuição reflete diferentes estratégias de gestão de tráfego e controle de velocidade entre as jurisdições.



**Figura 5.5** Boxplot da distribuição das distâncias entre os equipamentos de fiscalização sob as jurisdições do DNIT, DER/DF e DETRAN/DF

#### 5.1.4 Etapa 4: Cálculo da Velocidade Média

A partir desses cálculos, a análise foi segmentada para diferentes categorias de veículos, excluindo caminhões e outros veículos pesados. Essa estratégia permitiu focar em veículos de passeio, que são conduzidos por condutores não profissionais da área de transporte.

##### 5.1.4.1 Tipos de Veículos e Unidades Federativas

Após a junção das 3 bases, com os veículos que trafegaram nas 3 jurisdições nos mesmos dias, a base ficou com 206.677 registros, tendo 9.050 placas distintas. Solicitou-se então os dados dos veículos referentes a essas placas capturadas, o que gerou a seguinte configuração de tipos de veículos registrados (Tabela 5.3).

**Tabela 5.3** Tipos de veículos e frequências de passagens

| Tipo        | Frequência | Percentual |
|-------------|------------|------------|
| Automóvel   | 189.300    | 91,74      |
| Caminhonete | 8.178      | 3,96       |
| Camioneta   | 2.868      | 1,39       |

| <b>Tipo</b>         | <b>Frequência</b> | <b>Percentual</b> |
|---------------------|-------------------|-------------------|
| <b>Ônibus</b>       | 2.044             | 0,99              |
| <b>Caminhão</b>     | 1.625             | 0,79              |
| <b>Utilitário</b>   | 1.213             | 0,59              |
| <b>Motocicleta</b>  | 617               | 0,30              |
| <b>Microonibus</b>  | 350               | 0,17              |
| <b>Reboque</b>      | 141               | 0,07              |
| <b>Semi-reboque</b> | 10                | 0,00              |
| <b>Motoneta</b>     | 3                 | 0,00              |
| <b>Total</b>        | 206.349           | 100,00            |

Os dados fornecidos permitiram, também, identificar as unidades federativas de origem de cada veículo. Essa informação possibilitou analisar a distribuição geográfica dos veículos que trafegam pelos trechos monitorados, auxiliando na compreensão dos padrões de trânsito e na identificação de comportamentos de condução específicos de diferentes regiões. A identificação das unidades federativas contribuiu para a análise detalhada e segmentada do fluxo de veículos, enriquecendo os resultados do estudo com uma perspectiva regionalizada de comportamento, conforme Tabela 5.4.

**Tabela 5.4** Unidades Federativas dos veículos que transitam pelo DF

| <b>UF</b>                | <b>Frequência</b> | <b>Percentual</b> |
|--------------------------|-------------------|-------------------|
| <b>Distrito Federal</b>  | 181.651           | 88,03             |
| <b>Goiás</b>             | 8.753             | 4,24              |
| <b>Minas Gerais</b>      | 5.681             | 2,75              |
| <b>São Paulo</b>         | 5.019             | 2,43              |
| <b>Paraná</b>            | 2.638             | 1,28              |
| <b>Rio de Janeiro</b>    | 821               | 0,40              |
| <b>Ceará</b>             | 366               | 0,18              |
| <b>Bahia</b>             | 265               | 0,13              |
| <b>Paraíba</b>           | 175               | 0,08              |
| <b>Santa Catarina</b>    | 157               | 0,08              |
| <b>Tocantins</b>         | 121               | 0,06              |
| <b>Rio Grande do Sul</b> | 112               | 0,05              |
| <b>Piauí</b>             | 108               | 0,05              |
| <b>Mato Grosso</b>       | 75                | 0,04              |

| <b>UF</b>                  | <b>Frequência</b> | <b>Percentual</b> |
|----------------------------|-------------------|-------------------|
| <b>Amazonas</b>            | 71                | 0,03              |
| <b>Pará</b>                | 69                | 0,03              |
| <b>Pernambuco</b>          | 58                | 0,03              |
| <b>Maranhão</b>            | 57                | 0,03              |
| <b>Roraima</b>             | 44                | 0,02              |
| <b>Espírito Santo</b>      | 42                | 0,02              |
| <b>Mato Grosso do Sul</b>  | 22                | 0,01              |
| <b>Acre</b>                | 16                | 0,01              |
| <b>Rondônia</b>            | 15                | 0,01              |
| <b>Alagoas</b>             | 12                | 0,01              |
| <b>Rio Grande do Norte</b> | 1                 | 0,00              |
| <b>Total</b>               | 206.349           | 100,00            |

A análise permitiu confirmar que as regiões limítrofes do Distrito Federal, como Goiás (GO) e Minas Gerais (MG), têm uma maior frequência de passagem nos trechos monitorados. Essa observação destaca a importância dessas áreas como principais fluxos de entrada e saída no DF, refletindo a intensa mobilidade inter-regional. Isso evidenciou a forte conexão do Distrito Federal com seus estados vizinhos, o que pode contribuir para planejar estratégias de gestão de velocidade e segurança nas rodovias que conectam essas regiões.

Para garantir que os mesmos veículos estivessem transitando entre os trechos, sem paradas, foi estipulado que para permanecer na base, o tempo total entre os equipamentos do DNIT e do DETRAN/DF não poderiam ser superiores a 4 horas, e para evitar incertezas de velocidades extremas no caso DETRAN/DF, que tinha equipamentos com horários descalibrados, só foram considerados os veículos com velocidade média menor ou igual a 140 km/h. Dessa forma, filtrando também, apenas as categorias “Automóvel”, “Caminhonete”, “Camioneta” e “Utilitário” a base de análise ficou com 16.184 registros, gerando um total de 2.061 placas distintas, mantendo a mesma ordem dos tipos de veículos da Tabela 5.3, conforme pode ser visto na Tabela 5.5.

**Tabela 5.5** Tipos de veículos e frequências de passagem, após filtragem

| <b>Tipo</b>      | <b>Frequência</b> | <b>Percentual</b> |
|------------------|-------------------|-------------------|
| <b>Automóvel</b> | 14.878            | 91,93             |

| <b>Tipo</b>        | <b>Frequência</b> | <b>Percentual</b> |
|--------------------|-------------------|-------------------|
| <b>Caminhonete</b> | 905               | 5,59              |
| <b>Camioneta</b>   | 323               | 2,00              |
| <b>Utilitário</b>  | 78                | 0,48              |
| <b>Total</b>       | 16.184            | 100,00            |

As informações sobre as UF's (Tabela 5.4) também foram refinadas ao considerar apenas as categorias elencadas acima, o que possibilitou uma redução no número de veículos de outras unidades da federação, conforme a Tabela 5.6.

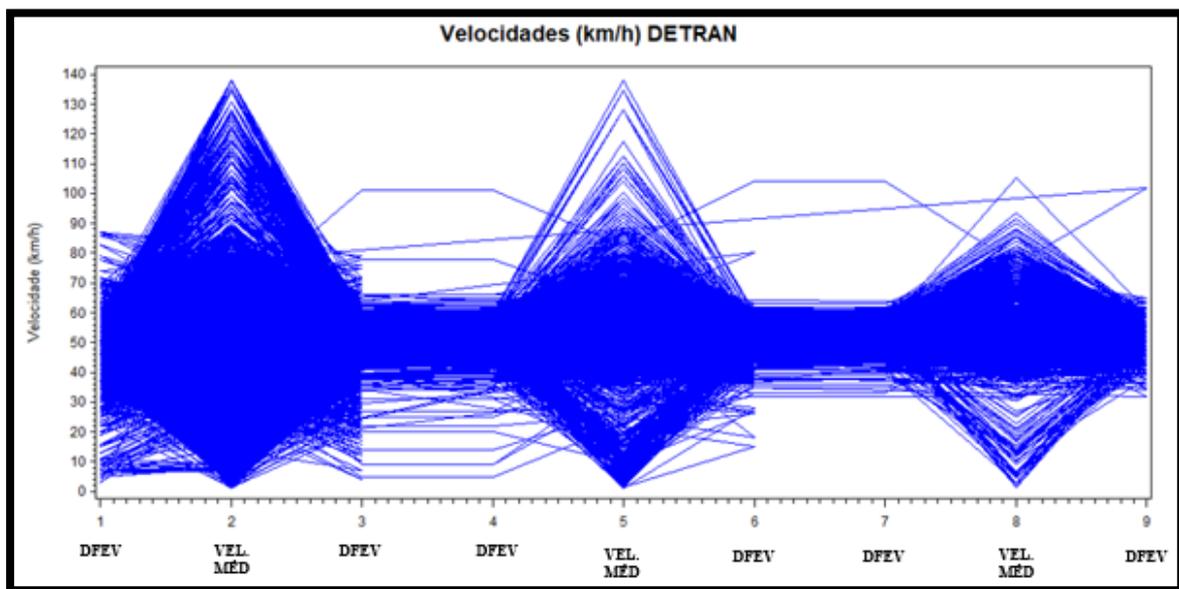
**Tabela 5.6** Unidades Federativas dos veículos que transitam pelo DF, após filtragem

| <b>UF</b>                | <b>Frequência</b> | <b>Percentual</b> |
|--------------------------|-------------------|-------------------|
| <b>Distrito Federal</b>  | 14.489            | 89,53             |
| <b>Goiás</b>             | 573               | 3,54              |
| <b>Minas Gerais</b>      | 543               | 3,36              |
| <b>São Paulo</b>         | 336               | 2,08              |
| <b>Paraná</b>            | 108               | 0,67              |
| <b>Bahia</b>             | 29                | 0,18              |
| <b>Tocantins</b>         | 22                | 0,14              |
| <b>Rio Grande do Sul</b> | 21                | 0,13              |
| <b>Santa Catarina</b>    | 20                | 0,12              |
| <b>Rio de Janeiro</b>    | 17                | 0,11              |
| <b>Amazonas</b>          | 9                 | 0,06              |
| <b>Roraima</b>           | 6                 | 0,04              |
| <b>Pará</b>              | 4                 | 0,02              |
| <b>Ceará</b>             | 3                 | 0,02              |
| <b>Mato Grosso</b>       | 3                 | 0,02              |
| <b>Maranhão</b>          | 1                 | 0,01              |
| <b>Total</b>             | 16.184            | 100,00            |

Ainda com respeito às velocidades médias, o fenômeno conhecido como "salto canguru" foi analisado graficamente. Nas Figuras 5.6, 5.7 e 5.8, o eixo horizontal representa os equipamentos de fiscalização equipados com OCR, enquanto o eixo vertical se refere à velocidade (média e no ponto). No DETRAN/DF, foi possível analisar mais de 8 pontos sequenciais, no DER/DF

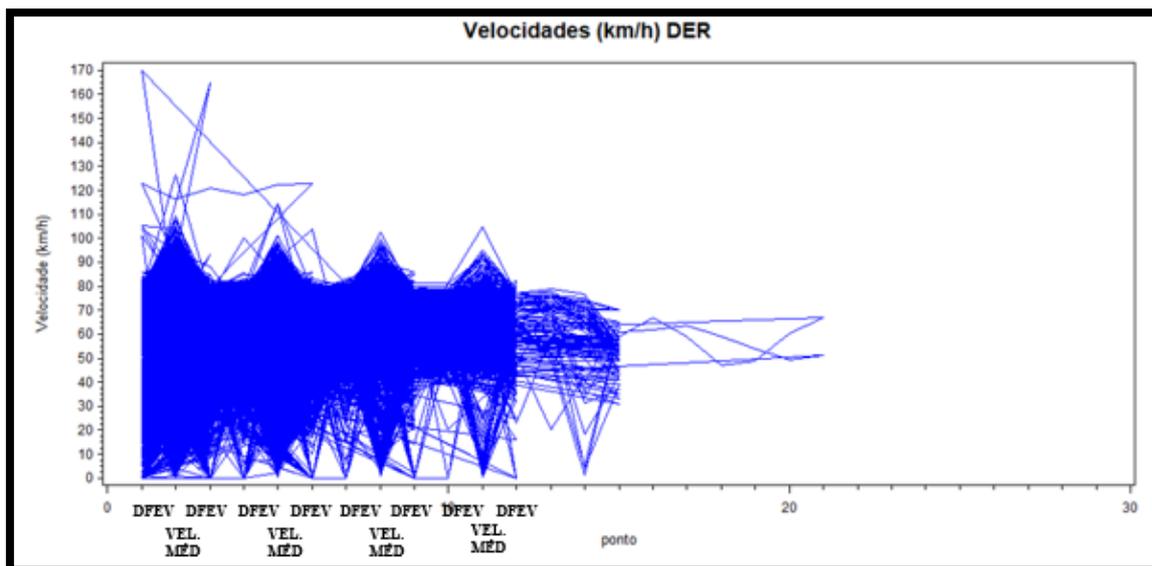
foram analisados mais de 10 equipamentos, e nas vias do DNIT, mais de 20 equipamentos sequenciais. Esse comportamento evidenciou uma adaptação dos condutores à presença dos DFEV, o que sugere que a simples presença desses equipamentos pode não ser suficiente para manter velocidades seguras ao longo de todo o trecho monitorado.

Nas vias do DETRAN/DF, conforme apresentado na Figura 5.6, verifica-se um padrão distinto de aumento e redução de velocidades acentuadas, com picos de velocidade que frequentemente superam 100 km/h em determinados pontos. Essa oscilação sugere que os condutores estão ajustando suas velocidades em resposta à localização dos DFEV, aumentando a velocidade após passarem pelos equipamentos e reduzindo a velocidade antes dos próximos. Isso reflete um comportamento adaptativo comum em áreas com fiscalização intermitente e pode indicar a necessidade de uma distribuição mais uniforme dos equipamentos.



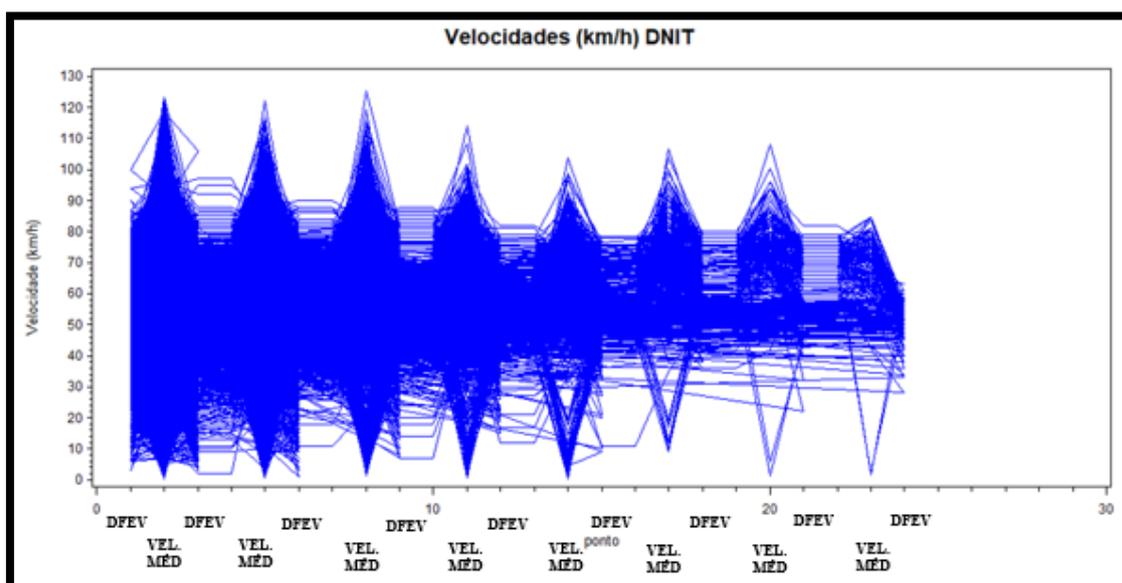
**Figura 5.6** Representação gráfica do Salto Canguru nas vias do DETRAN/DF

Nesse mesmo contexto, analisando a Figura 5.6 que trata das rodovias do DER/DF, observa-se uma grande variabilidade nas velocidades ao longo dos diferentes pontos monitorados. Nos primeiros pontos, há registros que chegam a ultrapassar 150 km/h, evidenciando a presença de veículos trafegando em velocidades significativamente acima do limite, o que pode indicar um comportamento de risco. Conforme se avança para os pontos mais adiante, nota-se uma tendência de redução nas velocidades, sugerindo uma adaptação dos condutores às condições da via, à presença de fiscalização mais próxima ou elementos viários ambientais que alteram a percepção de velocidade dos condutores.



**Figura 5.7** Representação gráfica do Salto Canguru nas vias do DER/DF

Já as rodovias do DNIT (Figura 5.7) apresentam oscilações de velocidade com múltiplos picos, atingindo frequentemente mais de 100 km/h entre os pontos de monitoramento. A dispersão das velocidades é significativa, com variações abruptas que indicam aumento de velocidade após a passagem pelos DFEV e redução em pontos específicos. Isso sugere que o espaçamento entre os equipamentos nas rodovias federais pode influenciar a dinâmica de condução, levando condutores a variar suas velocidades de forma a se ajustarem à localização dos DFEV. A presença de múltiplos picos destaca a importância de considerar o posicionamento estratégico dos equipamentos para aumentar a efetividade da fiscalização de velocidade.



**Figura 5.8** Representação gráfica do Salto Canguru nas vias do DNIT

Isso comprova a percepção de que, em geral, os condutores freiam próximos aos equipamentos de fiscalização, e aumentam as velocidades em seguida, sendo esse processo repetido no decorrer da via. Finalizada a análise descritiva dos dados, a seção a seguir fará a análise estatística mais aprofundada dos mesmos.

### 5.1.5 Etapa 5: Análise Estatística

Diversas análises foram realizadas para identificar os fatores que influenciam o comportamento dos condutores em relação à dinâmica da velocidade. Dentre elas, destaca-se as análises por faixas de velocidade em diferentes vias, excesso de velocidade, sentido da via, por período do dia, e características veiculares, que serão vistas a seguir.

#### 5.1.5.1 Faixas de velocidade para cada jurisdição

A análise inicial e principal da pesquisa envolveu a verificação da associação entre a velocidade média praticada em diferentes jurisdições. Para isso, as velocidades médias foram categorizadas em diferentes faixas, a fim de que diferentes velocidades possam ser comparadas, como: "1. Abaixo da velocidade permitida", "2. Entre 0% e 10% acima da velocidade permitida", "3. Entre 10% e 20% acima da velocidade permitida" e "4. Acima de 20% da velocidade permitida". Dessa forma, pretende-se verificar se os condutores que trafegam em altas velocidade (ou baixas velocidades) em uma determinada via, assim o fazem em outras vias (note que os dados são pareados). A Tabela 5.7 mostra a distribuição conjunta dos condutores que trafegam nas rodovias sob jurisdição do DER/DF e DNIT. Nota-se que os maiores percentuais dentre as categorias do DER/DF "1. Abaixo da velocidade permitida" e "4. Acima de 20% da velocidade permitida", também acontecem nas categorias do DNIT, mostrando o mesmo comportamento dos condutores de dirigir em baixa ou alta velocidade nas rodovias do DER/DF e DNIT. O teste qui-quadrado de independência confirma essa hipótese, pois a hipótese nula de independência é rejeitada ( $p$ -valor  $< 0,0001$ ), considerando 5% de significância.

**Tabela 5.7** Faixas de velocidade DER/DF x DNIT

| Faixa Velocidade DER/DF               | Faixa Velocidade DNIT          |  |   |                                   | Total            |
|---------------------------------------|--------------------------------|--|---|-----------------------------------|------------------|
|                                       | 1. Abaixo Velocidade Permitida | 2. Entre 0% e 10% Acima Velocidade Permitida | 3. Entre 10% e 20% Acima Velocidade Permitida | 4. Acima 20% Velocidade Permitida |                  |
| Frequência Percentual (linha)         |                                |  |   |                                   |                  |
| <b>1. Abaixo Velocidade Permitida</b> | <b>4.878</b><br><b>39,22</b>   | 1.850<br>14,87                               | 1.830<br>14,71                                | 3.881<br>31,20                    | 12.439<br>100,00 |

| Faixa Velocidade DER/DF                              | Faixa Velocidade DNIT          |  |   |                                   | Total            |
|--|--------------------------------|--|---|-----------------------------------|------------------|
|  | 1. Abaixo Velocidade Permitida | 2. Entre 0% e 10% Acima Velocidade Permitida | 3. Entre 10% e 20% Acima Velocidade Permitida | 4. Acima 20% Velocidade Permitida |                  |
| <b>2. Entre 0% e 10% Acima Velocidade Permitida</b>  | 907<br>31,81                   | 434<br>15,22                                 | 381<br>13,36                                  | 1129<br>39,60                     | 2.851<br>100,00  |
| <b>3. Entre 10% e 20% Acima Velocidade Permitida</b> | 215<br>28,94                   | 115<br>15,48                                 | 99<br>13,32                                   | 314<br>42,26                      | 743<br>100,00    |
| <b>4. Acima 20% Velocidade Permitida</b>             | 21<br>13,91                    | 16<br>10,60                                  | 29<br>19,21                                   | <b>85</b><br><b>56,29</b>         | 151<br>100,00    |
| <b>Total</b>   | 6.021<br>37,20                 | 2.415<br>14,92                               | 2.339<br>14,45                                | 5.409<br>33,42                    | 16.184<br>100,00 |

$$\chi_9^2 = 171,57 \text{ (p-valor} < 0,0001)$$

A Tabela 5.7 compara as faixas de velocidade praticadas em rodovias monitoradas pelo DER/DF e pelo DNIT, evidenciando a distribuição percentual de veículos em cada categoria de velocidade. Observa-se que o maior percentual da faixa de velocidade “1. Abaixo Velocidade Permitida” no DER/DF, destacado em negrito, também acontece na faixa de velocidade “1. Abaixo Velocidade Permitida” no DNIT (39,22%). Da mesma forma no outro extremo, o maior percentual da faixa de velocidade “4. Acima 20% Velocidade Permitida” no DER/DF, também acontece na faixa de velocidade “4. Acima 20% Velocidade Permitida” no DNIT (56,29%). Isso indica uma associação entre os perfis de velocidade entre as rodovias das duas jurisdições, mostrando que condutores que trafegam abaixo da velocidade nas rodovias do DER/DF também o fazem nas rodovias do DNIT, e condutores que trafegam acima da velocidade nas rodovias do DER/DF também o fazem nas rodovias do DNIT.

Analisando agora a associação entre as vias sob jurisdição do DER/DF e DETRAN/DF, nota-se o mesmo comportamento na Tabela 5.8, ou seja, condutores que trafegam abaixo da velocidade permitida e acima de 20% da velocidade permitida também os fazem em ambas as vias. A hipótese nula de independência do teste qui-quadrado de independência também é rejeitada (p-valor < 0,0001), considerando 5% de significância.

**Tabela 5.8** Faixas de velocidade DER/DF x DETRAN/DF

| Faixa Velocidade DER/DF<br><br>Frequência Percentual (linha) | Faixa Velocidade DETRAN/DF     |  |   |                                   | Total            |
|--|--------------------------------|--|---|-----------------------------------|------------------|
|  | 1. Abaixo Velocidade Permitida | 2. Entre 0% e 10% Acima Velocidade Permitida | 3. Entre 10% e 20% Acima Velocidade Permitida | 4. Acima 20% Velocidade Permitida |                  |
| <b>1. Abaixo Velocidade Permitida</b>                        | <b>4.689</b><br><b>37,70</b>   | 3.465<br>27,86                               | 2.730<br>21,95                                | 1.555<br>12,50                    | 12.439<br>100,00 |
| <b>2. Entre 0% e 10% Acima Velocidade Permitida</b>          | 842<br>29,53                   | 815<br>28,59                                 | 703<br>24,66                                  | 491<br>17,22                      | 2.851<br>100,00  |
| <b>3. Entre 10% e 20% Acima Velocidade Permitida</b>         | 196<br>26,38                   | 208<br>27,99                                 | 180<br>24,23                                  | 159<br>21,40                      | 743<br>100,00    |
| <b>4. Acima 20% Velocidade Permitida</b>                     | 23<br>15,23                    | 13<br>8,61                                   | 41<br>27,15                                   | <b>74</b><br><b>49,01</b>         | 151<br>100,00    |
| <b>Total</b>   | 5.750<br>35,53                 | 4.501<br>27,81                               | 3.654<br>22,58                                | 2.279<br>14,08                    | 16.184<br>100,00 |

$$\chi^2_9 = 311,99 \text{ (p-valor} < 0,0001)$$

Por fim, a Tabela 5.9 mostra a associação entre as vias sob jurisdição do DNIT e DETRAN/DF, onde a mesma dinâmica apresentada nas Tabelas 5.7 e 5.8 pode ser encontrada, a não ser pelas altas velocidades praticadas (acima de 20% da velocidade permitida) nas rodovias sob jurisdição do DNIT, que no caso das vias do DETRAN/DF, a maioria dos condutores tendem a trafegar abaixo da velocidade permitida. Esses resultados confirmam a hipótese da pesquisa de que os padrões de velocidade indicam que o comportamento do condutor em trafegar em baixas ou em altas velocidade acontece independentemente de onde ele esteja trafegando, ou seja, existe o desejo do condutor em praticar altas velocidades, ou se manter dentro do limite de velocidade regulamentado. E que no caso das vias do DETRAN/DF, a característica viário ambiental pode ter contribuído na redução da velocidade dos condutores que gostam de exceder as velocidades em rodovias de trânsito livre.

**Tabela 5.9** Faixas de velocidade DNIT x DETRAN/DF

| Faixa Velocidade DNIT<br><br>Frequência Percentual (linha) | Faixa Velocidade DETRAN/DF     |  |   |                                   | Total           |
|--|--------------------------------|--|---|-----------------------------------|-----------------|
|  | 1. Abaixo Velocidade Permitida | 2. Entre 0% e 10% Acima Velocidade Permitida | 3. Entre 10% e 20% Acima Velocidade Permitida | 4. Acima 20% Velocidade Permitida |                 |
| <b>1. Abaixo Velocidade Permitida</b>                      | <b>2.456</b><br><b>40,79</b>   | 1.645<br>27,32                               | 1.270<br>21,09                                | 650<br>10,80                      | 6.021<br>100,00 |

| <b>Faixa Velocidade DNIT</b>                         | <b>Faixa Velocidade DETRAN/DF</b>     |   |  |  | <b>Total</b>     |
|--|---------------------------------------|---|--|--|------------------|
| <b>Frequência Percentual (linha)</b>                 | <b>1. Abaixo Velocidade Permitida</b> | <b>2. Entre 0% e 10% Acima Velocidade Permitida</b> | <b>3. Entre 10% e 20% Acima Velocidade Permitida</b> | <b>4. Acima 20% Velocidade Permitida</b> |                  |
| <b>2. Entre 0% e 10% Acima Velocidade Permitida</b>  | 906<br>37,52                          | 670<br>27,74  | 538<br>22,28   | 301<br>12,46                             | 2.415<br>100,00  |
| <b>3. Entre 10% e 20% Acima Velocidade Permitida</b> | 826<br>35,31                          | 680<br>29,07  | 486<br>20,78   | 347<br>14,84                             | 2.339<br>100,00  |
| <b>4. Acima 20% Velocidade Permitida</b>             | <b>1.562</b><br><b>28,88</b>          | 1.506<br>27,84                                      | 1.360<br>25,14                                       | 981<br>18,14                             | 5.409<br>100,00  |
| <b>Total</b>   | 5.750<br>35,53                        | 4.501<br>27,81                                      | 3.654<br>22,58                                       | 2.279<br>14,08                           | 16.184<br>100,00 |

$$\chi_9^2 = 258,69 \text{ (p-valor} < 0,0001)$$

Paralelamente, a Tabela 5.10 fornece uma análise detalhada sobre as infrações por velocidade nas jurisdições do DNIT, DER/DF, e DETRAN/DF, destacando os percentuais de veículos não notificados (NÃO) no ponto, em relação às diferentes faixas de velocidade média. Note que como esperado, 100% dos veículos que trafegaram com velocidade média abaixo da velocidade permitida não foram notificados de infração. Mas para as outras faixas de velocidade médias, mesmo aquelas mais elevadas, o percentual de veículos notificados foi o mais baixo, sendo 0% para o DER/DF, 0,07% para o DNIT e 0,57% para o DETRAN/DF. Esse resultado corrobora o padrão operacional de aumentar ou reduzir as velocidades, conforme demonstrado nas Figuras 5.5, 5.6 e 5.7.

**Tabela 5.10** Comparação da faixa de velocidade média e o cometimento de infração no ponto

| <b>Faixa de Velocidade</b>                           | <b>Infração</b> | <b>DNIT</b>  |          | <b>DER/DF</b> |          | <b>DETRAN/DF</b> |          |
|--|-----------------|--------------|----------|---------------|----------|------------------|----------|
|  |                 | <b>Freq.</b> | <b>%</b> | <b>Freq.</b>  | <b>%</b> | <b>Freq.</b>     | <b>%</b> |
| <b>1. Abaixo Velocidade Permitida</b>                | <b>Não</b>      | 6.021        | 100,00   | 12.439        | 100,00   | 5.750            | 100,00   |
| <b>2. Entre 0% e 10% Acima Velocidade Permitida</b>  | <b>Não</b>      | 2.414        | 99,96    | 2.851         | 100,00   | 4.501            | 100,00   |
| <b>3. Entre 10% e 20% Acima Velocidade Permitida</b> | <b>Não</b>      | 2.337        | 99,91    | 743           | 100,00   | 3.654            | 100,00   |
| <b>4. Acima 20% Velocidade Permitida</b>             | <b>Não</b>      | 5.405        | 99,93    | 151           | 100,00   | 2.266            | 99,43    |
| <b>TOTAL</b>   |                 | 16.184       | -        | 16.184        | -        | 16.184           | -        |

### 5.1.5.2 Sentido de Entrada e Saída

A próxima análise será a referente ao sentido de entrada e saída do perímetro urbano para o ambiente rural. Nesse estudo, os dados apresentados na Tabela 5.11 mostram que o fluxo veicular de entrada analisado é maior do que o de saída, correspondendo a 76,59% do total de registros. Isso sugere uma predominância de veículos acessando o DF em relação aos que saem, o que pode indicar uma maior atração do DF como destino para trabalho, serviços ou outras atividades.

**Tabela 5.11** Quantidade de passagens de veículos na entrada e saída do DF

| <b>Sentido</b> | <b>Frequência</b> | <b>Percentual</b> |
|----------------|-------------------|-------------------|
| <b>Entrada</b> | 12.396            | 76,59             |
| <b>Saída</b>   | 3.788             | 23,41             |
| <b>Total</b>   | 16.184            | 100,00            |

Para verificar se a velocidade praticada pelos mesmos condutores que entram no DF e saem do DF é a mesma, foi calculada a diferença entre a velocidade média de entrada e a velocidade média de saída dos mesmos condutores que fazem ambos os percursos, o que fez a quantidade de dados reduzir para 63 observações (Tabela 5.12). A hipótese nula  $H_0$  do teste pareado é que as velocidades médias na entrada e na saída da cidade são as mesmas, contra a alternativa  $H_1$ ) de que as velocidades médias na entrada e na saída da cidade são diferentes. Quando a distribuição dessas diferenças seguir uma distribuição normal, utiliza-se o teste  $t$  de *Student* para dados pareados, caso contrário, utiliza-se o teste não-paramétrico de Wilcoxon.

Os resultados apresentados na Tabela 5.12 mostram que para as rodovias sob jurisdição do DER/DF, a média da diferença das velocidades médias foi de 8,62 km/h, o que segundo o teste  $t$  de *Student* (a distribuição foi considerada normal), pode-se rejeitar a hipótese nula de igualdade, considerando 5% de significância. Isso mostra que a velocidade média dos condutores que ingressam no ambiente urbano vindos de uma rodovia é, em média, 8,62 km/h maior do que a velocidade média desses mesmos condutores quando estão deixando o ambiente urbano, o que nos permite concluir que a percepção de velocidade depende do sentido da rodovia e sugerindo que fatores como intervenções urbanas e ausência de tráfego afetam a velocidade praticada pelos condutores sob a jurisdição do DER/DF.

No caso das rodovias sob jurisdição do DNIT (Tabela 5.12), a média da diferença das velocidades médias foi de -3,13 km/h e a hipótese nula de igualdade não foi rejeitada, segundo o teste de Wilcoxon (a distribuição não foi considerada normal), considerando 5% de significância. Esse resultado era esperado uma vez que o condutor já está em ambiente rodoviário afastado da área urbana, não importa o sentido da via.

**Tabela 5.12** Estatísticas de comparação das velocidades médias de entrada e saída

| <b>Jurisdição</b> | <b>Observações</b> | <b>Diferença média</b> | <b>Estatística</b> | <b>p-valor</b> | <b>Hipótese</b>  |
|-------------------|--------------------|------------------------|--------------------|----------------|------------------|
| <b>DER/DF</b>     | 63                 | 8,62 km/h              | $t = 3,29$         | 0,0017         | Rejeita (5%)     |
| <b>DNIT</b>       | 63                 | -3,13 km/h             | Wilcoxon = -183    | 0,2129         | Não Rejeita (5%) |

Os resultados indicam que há uma diferença significativa nas velocidades de entrada e saída na jurisdição do DER/DF, conforme visto na Figura 3.1. Especificamente, as velocidades de entrada nas rodovias do DER/DF são maiores, possivelmente devido ao fato de que os condutores estão vindo de rodovias do DNIT, que possuem velocidades mais altas. Isso leva a uma inércia perceptual, onde os condutores demoram a perceber a necessidade de reduzir a velocidade ao adentrarem em áreas urbanas. Em contraste, na saída da área urbana sob jurisdição do DER/DF, as velocidades não apresentam tanta diferença, uma vez que os condutores já estão em baixa velocidade ao se aproximarem de uma via com limites maiores, como as do DNIT.

Para o cenário dos DFEV do DNIT, entretanto, não há evidência estatística suficiente para afirmar que as velocidades diferem significativamente entre as entradas e saídas da cidade. Isso pode estar relacionado ao fato de que nas rodovias sob jurisdição do DNIT, os condutores tendem a manter uma velocidade mais constante devido à menor presença de elementos viários ambientais que interferem na dinâmica da velocidade, como interseções e intervenções urbanas frequentes.

A pesquisa reflete a importância do contexto viário e ambiental, onde os condutores ajustam suas velocidades de acordo com as condições presentes, especialmente em áreas com e sem intervenções urbanas. Nas vias do DER/DF, a necessidade de adaptação é maior ao entrar na cidade, enquanto na saída, a transição para velocidades mais altas é mais natural e gradual devido à preparação para acessar rodovias do DNIT.

### 5.1.5.3 Análise dos períodos do dia

Os dados das Tabelas 5.7, 5.8 e 5.9 também foram segmentados por diferentes períodos do dia, o que permitiu uma análise temporal e direcional das dinâmicas de velocidade. Esse detalhamento possibilitou a identificação de padrões de velocidade que variam conforme o período do dia. Essas variações fornecem informações importantes sobre como o comportamento dos condutores muda ao longo do dia, conforme pode ser visto na Tabela 5.13.

Os períodos apresentados na Tabela 5.13 possuem dois tipos de categorias pois como os condutores podem demorar até 4 horas para transitar entre as rodovias do DNIT e do DETRAN/DF, o período do dia para cada uma das jurisdições pode ser diferente. Além disso, pode acontecer do condutor estar transitando em um período próximo do limite horário daquele período em uma jurisdição (por exemplo, 17:45h - tarde), e quando acessa a rodovia de outra jurisdição, o período será diferente (no mesmo exemplo anterior, 18:15 - noite).

A Tabela 5.13 apenas apresenta os resultados dos testes de independência visto que para apresentar a distribuição conjunta seriam necessárias muitas tabelas. Mas é importante observar que, como foi visto, sem considerar o período do dia, a distribuição das faixas de velocidade de uma jurisdição é dependente da outra jurisdição. Dividindo por período do dia, note que as distribuições podem ser consideradas independentes (5% de significância) para os casos Madrugada(DNIT) - Manhã(DETRAN/DF), Manhã(DER/DF) - Tarde(DNIT) e Noite(DER/DF) - Tarde(DNIT), o que faz sentido pois estão sendo comparados períodos com fluxo mais intenso com períodos com fluxo mais livre.

**Tabela 5.13** Análise das faixas de velocidades por períodos dos dias

| Período             | Análise      | Comparação          |                          |                        |
|---------------------|--------------|---------------------|--------------------------|------------------------|
|                     |              | DER/DF<br>x<br>DNIT | DER/DF<br>x<br>DETRAN/DF | DNIT<br>x<br>DETRAN/DF |
| Madrugada-Madrugada | Qui-quadrado | 39,82               | 104,31                   | 35,98                  |
|                     | p-valor      | <0,0001             | <0,0001                  | <0,0001                |
|                     | Amostra      | 745                 | 510                      | 433                    |
|                     | Hipótese     | Rejeita             | Rejeita                  | Rejeita                |
| Madrugada-Manhã     | Qui-quadrado | -                   | 29,98                    | 7,98                   |
|                     | p-valor      | -                   | 0,0004                   | 0,5356                 |
|                     | Amostra      | 77                  | 312                      | 465                    |
|                     | Hipótese     | -                   | Rejeita                  | <b>Não Rejeita</b>     |
| Manhã-Madrugada     | Qui-quadrado | -                   | -                        | 36,27                  |
|                     | p-valor      | -                   | -                        | <0,0001                |
|                     | Amostra      | 153                 | 10                       | 87                     |
|                     | Hipótese     | -                   | -                        | Rejeita                |
| Manhã-Manhã         | Qui-quadrado | 55,81               | 128,42                   | 131,64                 |
|                     | p-valor      | <0,0001             | <0,0001                  | <0,0001                |
|                     | Amostra      | 4.793               | 4.195                    | 3.609                  |
|                     | Hipótese     | Rejeita             | Rejeita                  | Rejeita                |
| Manhã-Tarde         | Qui-quadrado | 16,55               | 39,31                    | -                      |
|                     | p-valor      | 0,0562              | <0,0001                  | -                      |
|                     | Amostra      | 433                 | 1.174                    | 5.701                  |
|                     | Hipótese     | <b>Não Rejeita</b>  | Rejeita                  | -                      |
| Noite-Noite         | Qui-quadrado | 33,82               | 168,20                   | -                      |
|                     | p-valor      | <0,0001             | <0,0001                  | -                      |
|                     | Amostra      | 2.282               | 3.075                    | -                      |
|                     | Hipótese     | Rejeita             | Rejeita                  | -                      |
| Noite-Tarde         | Qui-quadrado | 14,94               | -                        | -                      |
|                     | p-valor      | 0,0925              | -                        | -                      |
|                     | Amostra      | 1.033               | 240                      | -                      |
|                     | Hipótese     | <b>Não Rejeita</b>  | -                        | -                      |
| Tarde-Manhã         | Qui-quadrado | 34,97               | -                        | -                      |
|                     | p-valor      | <0,0001             | -                        | -                      |
|                     | Amostra      | 1.691               | 399                      | -                      |
|                     | Hipótese     | Rejeita             | -                        | -                      |
| Tarde-noite         | Qui-quadrado | -                   | -                        | -                      |
|                     | p-valor      | -                   | -                        | -                      |
|                     | Amostra      | 195                 | 568                      | -                      |
|                     | Hipótese     | -                   | -                        | -                      |
| Tarde-Tarde         | Qui-quadrado | 65,94               | 92,04                    | -                      |
|                     | p-valor      | <0,0001             | <0,0001                  | -                      |
|                     | Amostra      | 4.782               | 5.701                    | -                      |
|                     | Hipótese     | Rejeita             | Rejeita                  | -                      |

#### 5.1.5.4 Comparação das velocidades com as características veiculares

Outras dimensões foram exploradas para entender melhor os fatores que moldam a dinâmica da velocidade. Por exemplo, foi examinada a relação entre a potência do veículo e a velocidade média praticada, permitindo identificar se veículos de maior potência tendem a ultrapassar os

limites de velocidade com mais frequência. Essa análise pode subsidiar políticas específicas para diferentes categorias de veículos, especialmente em trechos onde há uma grande presença de veículos de alta potência.

A análise dos dados sobre a velocidade de veículos menos potentes com base na Tabela 3.1, exemplificados com modelos básicos como MOBI, HB20, e ONIX, nas jurisdições do DNIT, DER/DF, e DETRAN/DF, revela informações importantes no comportamento relacionado a velocidade desses veículos nas três jurisdições, conforme mostra a Tabela 5.14.

**Tabela 5.14** Comparação das velocidades médias de veículos menos potentes

| Faixa de Velocidade                                  | Veículos menos potentes<br>(MOBI, HB20, ONIX) |       |  |       |                                       |       |
|--|---|-------|--|-------|---------------------------------------|-------|
|  | DNIT  |       | DER/DF                                 |       | DETRAN/DF                             |       |
|  | Freq.   | %     | Freq.                                  | %     | Freq.                                 | %     |
| <b>1. Abaixo Velocidade Permitida</b>                | 666   | 41,89 | 1114                                   | 70,06 | 547                                   | 34,40 |
| <b>2. Entre 0% e 10% Acima Velocidade Permitida</b>  | 225   | 14,15 | 343                                    | 21,57 | 441                                   | 27,74 |
| <b>3. Entre 10% e 20% Acima Velocidade Permitida</b> | 222   | 13,96 | 114                                    | 7,17  | 392                                   | 24,65 |
| <b>4. Acima 20% Velocidade Permitida</b>             | 477   | 30,00 | 19                                     | 1,19  | 210                                   | 13,21 |
| <b>Teste qui-quadrado<br/>(p-valor)</b>              | $\chi^2_3 = 349,60$<br>( $< 0,0001$ )         |       | $\chi^2_3 = 1861,57$<br>( $< 0,0001$ ) |       | $\chi^2_3 = 149,50$<br>( $< 0,0001$ ) |       |

Na jurisdição do DNIT, uma parcela considerável dos veículos menos potentes trafega abaixo da velocidade permitida, com 41,89% dos registros nessa faixa. Contudo, destaca-se uma proporção significativa de 30% dos veículos excedendo em mais de 20% a velocidade permitida. Este alto percentual sugere que, apesar desses veículos serem menos potentes, os condutores ainda tendem a exceder os limites de velocidade de forma expressiva. A frequência alta de excesso de velocidade nessa categoria pode estar associada a condições viárias mais abertas ou a uma percepção de menor risco ou fiscalização, incentivando comportamentos de maior velocidade mesmo em veículos de menor potência.

No contexto do DER/DF, a maioria dos veículos menos potentes (70,06%) trafega abaixo da velocidade permitida, indicando um comportamento mais cauteloso ou regulado nas áreas sob

esta jurisdição. A presença de veículos acima de 20% do limite de velocidade é significativamente baixa (apenas 1,19%), o que sugere um controle mais rígido ou uma maior conscientização sobre os riscos associados ao excesso de velocidade. A estrutura viária, intervenções urbanas, e fiscalização parecem ser mais eficazes nos trechos do DER/DF para manter velocidades mais seguras, especialmente para veículos menos potentes.

Nas vias do DETRAN/DF, observa-se uma distribuição mais variada, com 34,40% dos veículos menos potentes trafegando abaixo do limite. Esta variação indica que os veículos menos potentes nas áreas do DETRAN/DF apresentam um comportamento misto, com uma tendência relevante de exceder limites de velocidade. As razões podem incluir características viárias que incentivam velocidades mais altas, ou uma diferença na percepção de risco entre os condutores.

Os testes qui-quadrado de homogeneidade de proporções realizados para cada jurisdição indicam que as diferenças nas distribuições de velocidade entre as categorias são estatisticamente diferentes (rejeição da hipótese nula de igualdade das proporções), considerando 5% de significância. Isso confirma que há variações relevantes e não aleatórias no comportamento de velocidade dos condutores de veículos básicos nas diferentes jurisdições, refletindo a influência de fatores viários, regulamentares e de fiscalização específicos a cada órgão. Esses resultados mostram que, mesmo para veículos menos potentes, no DER/DF, há uma tendência clara para velocidades mais baixas, enquanto no DNIT e DETRAN/DF, uma parte significativa dos veículos excede os limites, especialmente acima de 20% no DNIT.

Já a análise dos dados referentes à velocidade de veículos mais potentes, como COROLLA, CIVIC, JETTA, AUDI e BMW, exemplificados também com base na Tabela 3.1, destaca comportamentos distintos em relação aos limites de velocidade, refletindo as características específicas de cada jurisdição e as potenciais influências dos veículos de maior desempenho, conforme mostra a Tabela 5.15.

**Tabela 5.15** Comparação das velocidades médias de veículos mais potentes

| Faixa de Velocidade                                  | Veículos mais potentes<br>(COROLLA, CIVIC, JETTA, AUDI, BMW) |       |                                       |       |                                      |       |
|--|--|-------|---------------------------------------|-------|--------------------------------------|-------|
|  | DNIT   |       | DER/DF                                |       | DETRAN/DF                            |       |
|  | Freq.  | %     | Freq.                                 | %     | Freq.                                | %     |
| <b>1. Abaixo Velocidade Permitida</b>                | 118  | 34,10 | 241                                   | 69,65 | 110                                  | 31,79 |
| <b>2. Entre 0% e 10% Acima Velocidade Permitida</b>  | 57   | 16,47 | 83                                    | 23,99 | 113                                  | 32,66 |
| <b>3. Entre 10% e 20% Acima Velocidade Permitida</b> | 32   | 9,25  | 17                                    | 4,91  | 42                                   | 12,14 |
| <b>4. Acima 20% Velocidade Permitida</b>             | 139  | 40,17 | 5                                     | 1,45  | 81                                   | 23,41 |
| <b>Teste qui-quadrado<br/>(p-valor)</b>              | $\chi^2_3 = 87,73$<br>( $< 0,0001$ )                         |       | $\chi^2_3 = 408,72$<br>( $< 0,0001$ ) |       | $\chi^2_3 = 37,74$<br>( $< 0,0001$ ) |       |

Nas rodovias do DNIT, uma proporção significativa de 40,17% dos veículos mais potentes trafega acima de 20% da velocidade permitida, o que indica um comportamento mais agressivo e um uso mais pleno da capacidade dos veículos de alta potência. Apenas 34,10% trafegam abaixo do limite de velocidade, sugerindo que a estrutura viária ou as condições de tráfego nas áreas do DNIT podem estar incentivando os condutores a exceder os limites de velocidade. Este alto percentual de excesso de velocidade na faixa mais elevada sugere a necessidade de uma maior fiscalização ou de intervenções específicas para moderação de tráfego.

No contexto do DER/DF, 69,65% dos veículos mais potentes trafegam abaixo da velocidade permitida, o que reflete um comportamento consideravelmente mais cauteloso ou bem regulado dentro desta jurisdição. Apenas 1,45% dos veículos estão acima de 20% da velocidade permitida, indicando que as intervenções viárias, fiscalização, ou outras medidas de controle no DER/DF são particularmente eficazes em manter velocidades seguras, mesmo para veículos com maior capacidade de altas velocidades e desempenho.

Nas vias urbanas de responsabilidade do DETRAN/DF, observa-se uma distribuição mais equilibrada entre as faixas de velocidade, com 31,79% dos veículos mais potentes trafegando abaixo do limite, enquanto 23,41% excedem em mais de 20% a velocidade permitida. A distribuição também mostra 32,66% dos veículos na faixa de até 10% acima do limite, o que sugere um comportamento moderado, mas com uma tendência de excesso de velocidade. As

diferenças nos comportamentos podem ser atribuídas a variações na fiscalização, características das vias, ou até mesmo no perfil dos condutores que operam esses veículos nas áreas do DETRAN.

Os resultados dos testes qui-quadrado para cada jurisdição indicam que as diferenças nas distribuições de velocidade entre as categorias são estatisticamente diferentes (rejeição da hipótese nula de igualdade das proporções), considerando 5% de significância. Isso indica que o comportamento de velocidade dos condutores de veículos mais potentes varia de forma relevante nas diferentes jurisdições, refletindo influências específicas do contexto viário e regulatório de cada órgão.

Os dados mostram que os veículos mais potentes têm uma maior tendência de exceder os limites de velocidade, especialmente nas rodovias sob jurisdição do DNIT, onde quase metade dos veículos opera acima de 20% do limite. Em contraste, nas rodovias sob jurisdição do DER/DF, a maioria dos condutores mantém-se abaixo dos limites de velocidade, sugerindo uma efetividade nas medidas de controle de velocidade ou na conscientização dos condutores. Nas vias sob jurisdição do DETRAN/DF, o comportamento é intermediário, com uma distribuição equilibrada, mas ainda uma presença significativa de excessos de velocidade.

A análise comparativa das Tabelas 5.14 e 5.15 fornecidas para veículos menos potentes e mais potentes nas jurisdições do DNIT, DER/DF, e DETRAN/DF oferece percepções importantes sobre como as características veiculares e viárias influenciam a velocidade praticada pelos condutores, em relação às hipóteses dessa pesquisa. A hipótese principal é de que elementos veiculares e ambientais influenciam na velocidade praticada, com os condutores tendendo a aumentar as velocidades em ambientes sem retenção de tráfego e a reduzir a velocidade em áreas com intervenções urbanas. Os dados suportam essa hipótese, especialmente quando se observa a diferença de comportamento entre os veículos mais e menos potentes nas diferentes jurisdições.

A comparação entre os dois grupos de veículos mostra que, independentemente da potência, há uma variação no comportamento dos condutores conforme o ambiente. No DNIT, onde há menos restrições, os condutores de veículos potentes excedem significativamente mais os limites de velocidade. Já no DER/DF, mesmo os veículos potentes permanecem majoritariamente abaixo do limite permitido. Isso indica que, apesar das capacidades do

veículo, o comportamento do condutor é fortemente moldado pelo ambiente viário e pelas intervenções presentes, sugerindo que a velocidade praticada não é apenas uma função do tipo de veículo, mas também das condições viárias e da regulamentação vigente. Essas informações deram suporte para entender como a potência do veículo interage com o ambiente regulatório e viário, influenciando diretamente o comportamento dos condutores em termos de conformidade com os limites de velocidade.

A fim de verificar uma associação entre uma possível notificação de infração por velocidade média, as classes “1. Abaixo Velocidade Permitida” e “2. Entre 0% e 10% Acima Velocidade Permitida” foram agregadas para “1. Até 10% Velocidade Permitida”, e as classes “3. Entre 10% e 20% Acima Velocidade Permitida” e “4. Acima 20% Velocidade Permitida” foram agregadas para “2. Acima de 10% Velocidade Permitida”, conforme mostra a Tabela 5.16. Nas vias sob jurisdição do DNIT, o padrão de velocidade indica uma ligeira tendência dos veículos mais potentes a exceder os limites de velocidade com maior frequência. Contudo, essa diferença não é estatisticamente significativa (p-valor = 0,8297), o que sugere que, embora a potência do veículo possa exercer alguma influência sobre o comportamento de velocidade, ela não é um fator determinante em todas as situações.

**Tabela 5.16** Comparação de veículos menos potentes e mais potentes

| Faixas de velocidade                        | Veículos menos potentes x Veículos mais potentes |       |                                      |       |                                      |       |                                      |       |                                     |       |                                     |       |
|---|--|-------|--------------------------------------|-------|--------------------------------------|-------|--------------------------------------|-------|-------------------------------------|-------|-------------------------------------|-------|
|   | DNIT   |       |                                      |       | DER/DF                               |       |                                      |       | DETRAN/DF                           |       |                                     |       |
|   | Menos Potentes                                   |       | Mais Potentes                        |       | Menos Potentes                       |       | Mais Potentes                        |       | Menos Potentes                      |       | Mais Potentes                       |       |
|   | Freq.  | %     | Freq.                                | %     | Freq.                                | %     | Freq.                                | %     | Freq.                               | %     | Freq.                               | %     |
| <b>1. Até 10% Velocidade Permitida</b>      | 891  | 56,04 | 175                                  | 50,58 | 1.457                                | 91,64 | 324                                  | 93,64 | 988                                 | 62,14 | 223                                 | 64,45 |
| <b>2. Acima de 10% Velocidade Permitida</b> | 699  | 43,96 | 171                                  | 49,42 | 133                                  | 8,36  | 22                                   | 6,36  | 602                                 | 37,86 | 123                                 | 35,55 |
| <b>Teste qui-quadrado (p-valor)</b>         | $\chi^2 = 23,1849$<br>( $<0,0001$ )              |       | $\chi^2 = 0,0462$<br><b>(0,8297)</b> |       | $\chi^2 = 1102,501$<br>( $<0,0001$ ) |       | $\chi^2 = 263,5954$<br>( $<0,0001$ ) |       | $\chi^2 = 93,7082$<br>( $<0,0001$ ) |       | $\chi^2 = 28,9017$<br>( $<0,0001$ ) |       |

Por outro lado, nas vias sob jurisdição do DER/DF observa-se que o comportamento de velocidade é bastante consistente entre as categorias de potência, indicando que a maioria dos

condutores mantêm velocidades próximas ao limite regulamentado, independentemente da potência do veículo. Nas vias sob jurisdição do DETRAN/DF o comportamento é semelhante ao observado no DER/DF, onde a maioria dos veículos, independentemente da potência, mantém velocidades dentro ou próximas do limite permitido. Essa análise reforça a conclusão de que a potência do veículo não é um fator determinante para o comportamento de velocidade, alinhando-se com a ideia de que condutores de veículos mais potentes não necessariamente trafegam sempre em alta velocidade, assim como condutores de veículos menos potentes não necessariamente mantêm velocidades mais baixas.

Ainda sobre a relação de velocidade e potência, a Tabela 5.17 permite avaliar se a potência do veículo tem uma relação estatisticamente significativa com o comportamento de velocidade, realizando testes de hipóteses para comparar as proporções de veículos que trafegam em até 10% da velocidade permitida entre as categorias de veículos menos e mais potentes. As hipóteses estabelecidas foram: H0), a proporção de veículos que trafegam em até 10% da velocidade permitida é a mesma entre veículos menos potentes e mais potentes; (H1), a proporção de veículos que trafegam em até 10% da velocidade permitida é diferente entre veículos menos potentes e mais potentes.

**Tabela 5.17** Comparação das proporções de veículos que trafegam até 10% da velocidade permitida

| Característica dos Veículos | Jurisdição               |       |                           |       |                           |       |
|-----------------------------|--------------------------|-------|---------------------------|-------|---------------------------|-------|
|                             | DNIT                     |       | DER/DF                    |       | DETRAN/DF                 |       |
|                             | Freq.                    | %     | Freq.                     | %     | Freq.                     | %     |
| <b>Menos Potentes</b>       | 891                      | 56,04 | 1.475                     | 91,14 | 988                       | 62,14 |
| <b>Mais Potentes</b>        | 175                      | 50,58 | 324                       | 93,64 | 223                       | 64,45 |
| <b>Teste Z (p-valor)</b>    | Z = 1,32774<br>(0,18455) |       | Z = -1,46690<br>(0,14258) |       | Z = -0,64382<br>(0,51981) |       |

Os resultados dos testes de proporções mostram que em todos os casos, a hipótese nula não pode ser rejeitada, considerando 5% de significância. Isso significa que não se pode afirmar que a potência do veículo influencia de maneira significativa a tendência de exceder os limites de velocidade nas diferentes jurisdições. Assim, os dados indicam que, independentemente da potência do veículo, o comportamento de velocidade tende a ser consistente nos diferentes trechos rodoviários, com a maioria dos veículos, sejam menos potentes ou mais potentes,

permanecendo próximos dos limites permitidos. Portanto, a potência do veículo não é um fator determinante para o comportamento de velocidade nas circunstâncias analisadas, sugerindo que veículos rápidos não andam sempre rápido e veículos devagar não andam sempre devagar, independentemente da potência do veículo. Ou seja, o comportamento em uma direção mais agressiva ou mais cautelosa é sempre do condutor.

Fazendo uma análise geral dos dados de potência sem o recorte dos modelos de veículos sugeridos da Tabela 3.1, os veículos foram agora categorizados em menos potentes (cilindrada  $\leq 1700$  ou potência  $\leq 100$ ) e mais potentes (cilindrada  $> 1700$  ou potência  $> 100$ ) conforme mostra a Tabela 5.18. Comparando os resultados com a Tabela 5.16, note que as proporções se mantêm basicamente as mesmas, apesar do aumento expressivo do tamanho da amostra, e que os veículos mais potentes continuam não apresentando diferença significativa entre as faixas de velocidade.

**Tabela 5.18** Comparação total de veículos mais potentes e menos potentes

| Faixas de velocidade                        | Veículos Menos Potentes x Veículos Mais Potentes |       |  |       |   |       |   |       |  |       |  |       |
|---|--|-------|--|-------|---|-------|---|-------|--|-------|--|-------|
|   | DNIT   |       |  |       | DER/DF                                  |       |   |       | DETRAN/DF                              |       |  |       |
|   | Menos Potentes                                   |       | Mais Potentes                          |       | Menos Potentes                          |       | Mais Potentes                           |       | Menos Potentes                         |       | Mais Potentes                          |       |
|   | Freq.  | %     | Freq.                                  | %     | Freq.                                   | %     | Freq.                                   | %     | Freq.                                  | %     | Freq.                                  | %     |
| <b>1. Até 10% Velocidade Permitida</b>      | 5.728  | 53,49 | 2.708                                  | 49,46 | 10.103                                  | 94,34 | 5.187                                   | 94,74 | 6.914                                  | 64,56 | 3.337                                  | 60,95 |
| <b>2. Acima de 10% Velocidade Permitida</b> | 4.981  | 46,51 | 2.767                                  | 50,54 | 606                                     | 5,66  | 288                                     | 5,26  | 3.795                                  | 35,44 | 2.138                                  | 39,05 |
| <b>Teste qui-quadrado (p-valor)</b>         | $\chi^2_1 = 52,1065$<br>( $<0,0001$ )            |       | $\chi^2_1 = 0,6358$<br><b>(0,4252)</b> |       | $\chi^2_1 = 8422,1691$<br>( $<0,0001$ ) |       | $\chi^2_1 = 4383,5984$<br>( $<0,0001$ ) |       | $\chi^2_1 = 908,4098$<br>( $<0,0001$ ) |       | $\chi^2_1 = 262,5755$<br>( $<0,0001$ ) |       |

E por fim, a mesma análise feita com os dados da Tabela 5.17, é apresentada na Tabela 5.19. Dessa forma foi possível perceber que para o DNIT, o teste Z indicou uma diferença estatisticamente significativa entre as proporções de veículos que excedem os limites de velocidade. Esta significância sugere que, para o DNIT, a potência do veículo exerce uma influência sobre o comportamento de velocidade, com veículos mais potentes apresentando uma tendência levemente maior de exceder os limites permitidos. Mas pode-se dizer que essa

diferença foi por causa do grande tamanho da amostra, visto que as proporções são muito similares às aquelas apresentadas na Tabela 5.17. O mesmo pode ser dito para as vias sob jurisdição do DETRAN/DF. Já para o caso das rodovias sob jurisdição do DER/DF, não houve diferença significativa entre as proporções, como visto na Tabela 5.17.

Assim, para os casos do DNIT e DETRAN/DF, essas conclusões devem ser interpretadas com cautela, especialmente considerando o impacto potencial do tamanho da amostra. Pois, com amostras grandes, como as utilizadas nesta análise (10.103 para veículos menos potentes e 5.187 para mais potentes no DER/DF, por exemplo), até pequenas diferenças podem ser detectadas como estatisticamente significativas, mesmo que não tenham relevância prática substancial. Essa amplificação de resultados pode levar a interpretações que sobrestimam a influência da potência do veículo sobre o comportamento de velocidade.

**Tabela 5.19** Comparação total das proporções de potência

| Característica dos Veículos | Jurisdição                    |       |                           |       |                              |       |
|-----------------------------|-------------------------------|-------|---------------------------|-------|------------------------------|-------|
|                             | DNIT                          |       | DER/DF                    |       | DETRAN/DF                    |       |
|                             | Freq.                         | %     | Freq.                     | %     | Freq.                        | %     |
| <b>Menos Potentes</b>       | 5.728                         | 53,49 | 10.103                    | 94,34 | 6.914                        | 64,56 |
| <b>Mais Potentes</b>        | 2.708                         | 49,46 | 5.187                     | 94,74 | 3.337                        | 60,95 |
| <b>Teste Z (p-valor)</b>    | Z = 3,45949<br>(0,0000543877) |       | Z = -1,02504<br>(0,30536) |       | Z = 3,55503<br>(0,000379633) |       |

As evidências sugerem, portanto, a partir dos resultados apresentados nas Tabelas 5.17 e 5.18, que a potência do veículo não é um fator determinante para exceder os limites de velocidade, sendo mais uma vez evidenciada o comportamento do condutor em trafegar em altas velocidades.

Dessa forma, a análise da dinâmica da velocidade em diferentes tipos de vias utilizando tecnologia OCR revelou informações importantes sobre o comportamento dos condutores e a eficácia dos mecanismos de fiscalização eletrônica. Os resultados indicam que, embora os sistemas de OCR sejam eficazes na redução pontual de velocidade e na melhoria da segurança viária, ainda existem desafios relacionados ao comportamento adaptativo dos condutores, como o fenômeno do "salto canguru", onde condutores aumentam a velocidade após passarem por

um DFEV e reduzem a velocidade antes de se aproximarem dos próximos equipamentos. Esse comportamento sugere que a simples presença de DFEV não é suficiente para manter velocidades seguras ao longo de todo o trecho monitorado, destacando a necessidade de estratégias de fiscalização mais integradas e adaptativas que considerem as condições específicas de cada trecho, como é o caso da fiscalização por velocidade média.

Em relação à eficácia dos DFEV equipados com OCR, o estudo mostra que, apesar dos altos custos iniciais, os benefícios a longo prazo, como a possível redução de sinistros relacionados aos excessos de velocidade e a eficiência operacional, justificam o investimento. No entanto, a implementação desses sistemas deve ser acompanhada de medidas que promovam um comportamento mais seguro no trânsito, além de intervenções viárias que reforcem a necessidade de controle de velocidade em áreas críticas.

Os estudos de Da Silva e Santos (2020) e Dos Santos (2024) reforçam a importância das intervenções educativas e visuais no gerenciamento de velocidade, como o envio de cartas educativas a condutores flagrados em excesso de velocidade e a exposição de veículos sinistrados como lembretes visuais dos perigos no trânsito. Essas ações mostraram eficácia inicial em mudar o comportamento dos condutores, levando a reduções temporárias na velocidade média praticada. No entanto, os efeitos dessas medidas tendem a se dissipar ao longo do tempo, evidenciando a necessidade de soluções mais sustentáveis e de longo prazo para controlar os limites regulamentares de velocidade em cada trecho.

## 6 CONCLUSÕES

Este estudo utilizou uma abordagem observacional para analisar a dinâmica de velocidade em diferentes tipos de vias, diferenciando-se dos estudos naturalísticos e experimentais, como os conduzidos por Amâncio *et al.* (2024), que envolvem a coleta de dados em condições controladas ou monitoramento contínuo dos condutores. A metodologia observacional aplicada neste trabalho permitiu uma análise do comportamento dos condutores utilizando dados reais coletados por dispositivos de fiscalização eletrônica equipados com OCR, que são comparáveis aos estudos experimentais e naturalísticos. Além disso, possui custos muito menores do que estes últimos e permite uma abrangência muito maior.

Ao contrário dos estudos naturalísticos, que frequentemente requerem uma infraestrutura complexa para a instalação de equipamentos em veículos ou cenários simulados, o presente estudo teve custo zero, sendo realizado exclusivamente com dados disponibilizados por órgãos de trânsito. Essa abordagem não só reduz significativamente os custos, mas também demonstra a viabilidade de replicação em larga escala, tanto no Brasil quanto internacionalmente, desde que haja uma cooperação efetiva entre os órgãos responsáveis pela gestão dos dados de tráfego.

Os resultados observados neste estudo destacam que a eficácia dos dispositivos equipados com OCR é comparável aos resultados obtidos em estudos naturalísticos, particularmente no que diz respeito à detecção de comportamentos adaptativos dos condutores, como o "salto canguru". Esta observação evidencia que estudos observacionais, como o presente, podem oferecer argumentos complementares aos estudos naturalísticos, ao capturar comportamentos espontâneos em contextos reais de tráfego.

Portanto, baseado neste estudo destaca-se que a melhor abordagem para o controle e moderação do excesso de velocidade é a fiscalização por velocidade média, que se mostra eficaz em minimizar os picos de velocidade, observado nos comportamentos de aumento e redução de velocidade próximo aos dispositivos de fiscalização. O monitoramento da velocidade média ao longo de um trecho extenso promove um controle mais linear e consistente da velocidade dos veículos, reduzindo os comportamentos de risco associados aos ajustes temporários de velocidade, comuns em cenários onde a fiscalização é percebida como pontual.

Diante dos resultados apresentados, constata-se que as hipóteses da pesquisa foram validadas, e todos os objetivos foram alcançados. A hipótese principal de que elementos viário-ambientais influenciam a velocidade praticada pelos condutores foi confirmada, demonstrando que em ambientes com baixo volume de tráfego os condutores tendem a praticar velocidades mais altas, enquanto em ambientes com maior quantidade de intervenções urbanas, as velocidades são menores. As hipóteses secundárias, como a influência do sentido do trecho na velocidade média e o comportamento dos condutores ser um fator preponderante, independentemente das características dos veículos, também foram corroboradas. O modelo desenvolvido permitiu analisar como o comportamento dos condutores se adapta a diferentes contextos viários, destacando a importância de compreender esses padrões para a implementação de políticas públicas de moderação de velocidade mais eficientes.

Com isso, essas conclusões reforçam a importância de integrar diferentes métodos de controle de velocidade, combinando a fiscalização eletrônica com intervenções educativas e estruturais para criar um ambiente de trânsito mais seguro e eficiente. Ao alinhar essas estratégias com diretrizes globais como a Visão Zero e o PNATRANS (2022), é possível promover um trânsito mais seguro e eficiente, minimizando os impactos dos sinistros de trânsito e salvando vidas. A replicabilidade do modelo utilizado neste estudo oferece uma oportunidade significativa para sua aplicação em larga escala, contribuindo para a redução de sinistros e promovendo um comportamento de condução mais seguro.

## **6.1 LIMITAÇÕES DO TRABALHO**

A pesquisa enfrentou limitações relacionadas à dependência exclusiva de dados coletados por dispositivos com OCR operados por órgãos de trânsito, o que restringe a análise às vias monitoradas por esses equipamentos e pode introduzir um viés na avaliação das velocidades praticadas, considerando que a localização dos DFEV pode não representar todos os cenários viários e horários. Outro problema foi a dessincronização de alguns equipamentos, principalmente do DETRAN/DF, o que gerou velocidades médias irreais e que precisaram ser descartadas.

No estudo não foram realizadas análises separadas para cada tipo de DFEV, considerando que dispositivos como radares fixos, lombadas eletrônicas, fiscalização por velocidade média e equipamentos OCR podem impactar de maneira distinta o comportamento dos condutores. Esse

detalhamento permitiria compreender melhor a dinâmica de velocidade associada a cada tipo de dispositivo e identificar oportunidades de moderação de tráfego com maior precisão.

No caso do DNIT, alguns equipamentos redutores podem ter feito com a velocidade média medida fosse menor do que a de fato seria praticada pelos condutores, caso as velocidades fossem medidas, exclusivamente, por equipamentos controladores de velocidade. Mas era o que estava disponível no momento, e entende-se que nesses casos o trabalho pode ter sido um pouco limitado.

A metodologia observacional também não permitiu o controle de variáveis externas, como condições climáticas, obras temporárias ou eventos que alteram o fluxo de tráfego, o que poderiam melhorar as análises, tendo um melhor entendimento sobre a dinâmica da velocidade média.

O estudo se concentrou em trechos específicos de vias urbanas e rodovias, com dados coletados em um período limitado, o que reduz a generalização dos resultados para outras regiões ou épocas do ano, onde o comportamento dos condutores e as condições viárias podem diferir.

Adicionalmente, a pesquisa não incorpora dados sobre o perfil dos condutores, como idade, experiência de condução ou histórico de infrações, o que limita a correlação entre padrões de velocidade e características dos condutores.

E por fim, a impossibilidade de obter informações nas rodovias federais concedidas não permitiu analisar se esse perfil de rodovia apresenta uma gestão mais eficaz da velocidade. A ausência desses dados restringiu a capacidade de comparar diferentes modelos de gestão de velocidade e de identificar práticas potencialmente mais eficientes em rodovias concedidas, que podem ter sistemas de fiscalização e controle mais avançados.

## **6.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Com base nas limitações identificadas ao longo desta pesquisa, é evidente que a compreensão da dinâmica da velocidade nas vias pode ser aprimorada por meio de abordagens mais abrangentes e diversificadas. As recomendações a seguir propõem direções futuras para as pesquisas na gestão de velocidade, buscando superar as limitações atuais:

- Recomenda-se ampliar a coleta de dados para incluir não apenas dispositivos com OCR, mas também outras fontes de dados, como telemetria de veículos, aplicativos de navegação que registram padrões de velocidade e dados de veículos conectados.
- Realizar estudos que acompanhem os padrões de velocidade e o comportamento dos condutores ao longo de diferentes períodos do ano, incluindo variações sazonais e eventos específicos, visando compreender melhor as dinâmicas de velocidade em diferentes contextos e avaliar as intervenções ao longo do tempo.
- Incorporar a análise de variáveis ambientais e condições viárias, como iluminação, sinalização, qualidade da pavimentação e presença de obstáculos, para avaliar como esses fatores contribuem para o comportamento de velocidade.
- Futuras pesquisas poderiam incluir dados sobre o perfil dos condutores, como idade, gênero, experiência de condução e histórico de infrações, para investigar como essas características influenciam o comportamento de velocidade.
- Realizar análises separadas para cada tipo de Dispositivo de Fiscalização Eletrônica de Velocidade (DFEV).
- Uso de tecnologias que permitam o monitoramento contínuo e em tempo real das velocidades, como câmeras inteligentes e sensores de velocidade distribuídos ao longo das vias com e sem dispositivos de fiscalização.
- Investigar e comparar a eficácia de diferentes sistemas de gestão de velocidade, incluindo rodovias federais concedidas e não concedidas, bem como vias e rodovias urbanas sob diferentes administrações do contexto brasileiro.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AARTS, L. & VAN SCHAGEN, I. (2006) Driving speed and the risk of road crashes: a review. *Accident Analysis and Prevention*, v. 38 (2), p. 215–224.
- AMANCIO, E. C.; GADDA, T. M. C.; CORRÊA, J. N.; BONETTI, G. da C.; OVIEDO-TRESPALACIOS, O.; BASTOS, J. T. (2024) Impact of Speed Limit Enforcement Cameras on Speed Behavior: Naturalistic Evidence from Brazil. *Transportation Research Record*, 0 (0).
- ALMOSHAOGHEH, M. I.; IBRAHIM, A. H.; HAIDER, H.; ELMADINA, A. M. (2023) Performance Appraisal of Urban Street-Lighting System: Drivers' Opinion-Based Fuzzy Synthetic Evaluation. *Applied Sciences*, v. 13, n. 5, p. 3333.
- BASTOS, J. T.; DOS SANTOS, P. A. B.; AMANCIO, E. C.; GADDA, T. M. C.; RAMALHO, J. A.; KING, M. J.; OVIEDO-TRESPALACIOS, O. (2020) Naturalistic driving study in Brazil: an analysis of cell phone use behavior while driving. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 17, n. 17, p. 6412.
- BASTOS, J. T.; DOS SANTOS, P. A. B.; AMANCIO, E. C.; GADDA, T. M. C.; RAMALHO, J. A.; KING, M. J.; OVIEDO-TRESPALACIOS, O. (2021) Is organized carpooling safer? Speeding and distracted driving behaviors from a naturalistic driving study in Brazil. *Accident Analysis & Prevention*, v. 152, p. 105992.
- BHTRANS (2020) Empresa de Transportes e Trânsito de Belo Horizonte - BHTrans. Manual de Moderação de Tráfego. Belo Horizonte: BHTrans. Disponível em: [https://prefeitura.pbh.gov.br/sites/default/files/imagens/authenticated%2C%20editor\\_a\\_bhtrans/manual\\_traffic\\_calming.pdf](https://prefeitura.pbh.gov.br/sites/default/files/imagens/authenticated%2C%20editor_a_bhtrans/manual_traffic_calming.pdf). Acesso em set. 2023.
- BONINI, L. M. de M.; BEZERRA, J. R. de S.; AGUIAR, D. de M.; LOPES, F. S.; FERNANDES, G. A. (2020) Diagnóstico antrópico: impacto ambiental no trecho norte do Rodoanel na Região Metropolitana de São Paulo, SP. *South American Development Society Journal*, [S.l.], v. 6, n. 18, p. 82.
- BRASIL (1997) Lei 9.503. Institui o Código de Trânsito Brasileiro. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19503.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19503.htm). Acesso em mar. 2024.
- BRASIL (2020) Resolução CONTRAN nº 798, de 2 de setembro de 2020, que dispõe sobre requisitos técnicos mínimos para a fiscalização da velocidade de veículos automotores, elétricos, reboques e semirreboques. Disponível em: <https://www.gov.br/participamaisbrasil/fiscalizacao-da-velocidade-de-veiculos-automotores-eletricos-reboques-e-semirreboques>. Acesso em mai. 2024.
- BRASIL (2022) Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito. Conselho Nacional de Trânsito - CONTRAN. Brasília, Brasil: [s. n.]. Disponível em: <https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/transito/senatran/manuais-brasileiros-de-sinalizacao-de-transito>. Acesso em mai. 2024.

- BRASIL (2023) Projeto de Lei nº. 2789 de 2023 Altera a Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997, que instituiu o Código de Trânsito Brasileiro (CTB), modificando o Artigo 61, que determina as velocidades em vias urbanas e rurais, o Artigo 218, que estabelece a fiscalização de velocidades e o Artigo 280, que prevê as autuações por excesso de velocidade. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=236513>. Acesso em mai. 2024.
- CONTRAN (2020) Resolução CONTRAN nº 798. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=401145> . Acesso em ago. 2024.
- COOPER, P. J.; NOVACO, R. W. (1986) Eliminating aggressive driving: A cognitive-behavioral approach. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, v. 54, n. 2, p. 226-232.
- CORBEN, B (2020) Integrating Safe System with Movement and Place for vulnerable road users. Sydney: Austroads Ltd. Disponível em: <https://austroads.com.au/projects/project?id=SAG6130>. Acesso em mar. 2024.
- DAI, D. (2012) Identifying clusters and risk factors of injuries in pedestrian-vehicle crashes in a GIS environment. *Journal of Transport Geography*, v. 24, p. 206–214.
- DAVIS, G. (2001) Relating severity of pedestrian injury to impact speed in vehicle-pedestrian crashes: simple threshold model. *Transportation Research Record*, v. 1773, n. 1, p. 108-113.
- DE PAUW, E., DANIELS, S., BRIJS, T., HERMANS, E. & WETS, G. (2014) Behavioural effects of fixed speed cameras on motorways: overall improved speed compliance or kangaroo jumps? *Accident Analysis & Prevention*. 73, 132-140.
- DOS SANTOS, T. M. (2024) Impacto de Campanhas de Trânsito na Velocidade Média de Veículos em Vias Urbanas. Publicação T.DM-#N/2024. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 79 p.
- ELVIK, R.; CHRISTENSEN, P.; AMUNDSEN, A. (2004) Speed and road accidents. An evaluation of the Power Model. TØI report 740/2004. Oslo: Institute of Transport Economics TOI.
- ELVIK, R.; VAA, T. (2004) *The Handbook of Road Safety Measures*. Amsterdam: Elsevier.
- ELVIK, R.; HØYE, A.; VAA, T.; SØRENSEN, M. (2009) *The handbook of road safety measures*. Bingley, United Kingdom: Emerald Group Publishing Limited.
- ELVIK, R.; VADEBY, A.; HELS, T.; VAN SCHAGEN, I. (2019) Updated estimates of the relationship between speed and road safety at the aggregate and individual levels. *Accident Analysis & Prevention*, v. 123, p. 114-122.
- ETSC (2021) EUROPEAN TRANSPORT SAFETY COUNCIL *Automated Enforcement Strategies for Road Safety*. ETSC Annual Report, 45-49.

- FAIZ, R. U.; MASHROS, N.; HASSAN, S. A. (2022) Speed Behavior of Heterogeneous Traffic on Two-Lane Rural Roads in Malaysia. *Sustainability*, v. 14, p. 16144.
- FARAH, A. G. V. (2013) Traffic Penalties in Brazil. *The Brazil Business*. Disponível em: <https://thebrazilbusiness.com/article/traffic-penalties-in-brazil>. Acesso em jul. 2024.
- FHWA (2022) Speed Management is Key to Road Safety. Disponível em: <https://highways.dot.gov/public-roads/winter-2022/05>. Acesso em jul. 2024.
- HASHIM, I. H.; BADAWY, R. M.; HENEASH, U. (2023) Impact of Pavement Defects on Traffic Operational Performance. *Sustainability*, v. 15, n. 10, p. 8293.
- HØYE, A. (2014) Speed cameras, section control, and kangaroo jumps-a meta-analysis. *Accident Analysis & Prevention*, v. 73, p. 200-208.
- HUSSAIN, Q.; FENG, H.; GRZEBIETA, R.; BRIJS, T.; OLIVIER, J. (2019) The relationship between impact speed and the probability of pedestrian fatality during a vehicle-pedestrian crash: a systematic review and meta-analysis. *Accident Analysis & Prevention*, v. 125, p. 105-118.
- JANG, S. J. (2020) OCR Related Technology Trends. *European Journal of Engineering and Technology*, v. 8, n. 1, p. 13-20.
- JIMÉNEZ-BRAVO, D. M.; LOZANO MURCIEGO, Á.; SALES MENDES, A.; SÁNCHEZ SAN BLÁS, H. (2022) Tracking multiple objects in traffic environments: a systematic literature review. *Neurocomputing*, vol. 494, p. 43-55.
- JOB, R.; MBUGUA, L. (2020) Road crash trauma, climate change, pollution and the total costs of speed: six graphs that tell the story. Washington, DC: Global Road Safety Partnership. Disponível em: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/298381607502750479/pdf/Road-Crash-Trauma-Climate-Change-Pollution-and-the-Total-Costs-of-Speed-Six-graphs-that-tell-the-story.pdf>. Acesso em jun. 2024.
- JOB, R.; SAKASHITA, S. (2016) Management of speed: the low-cost, rapidly implementable effective road safety action to deliver the 2020 road safety targets. *Journal of Road Safety*, v.27, n.2, p.65-70.
- JOB, S.; CLIFF, D.; FLEITER, J.; FLIEGER, M.; HARMAN, B. (2020) Guide for determining readiness for speed cameras and other automated enforcement. Geneva: Global Road Safety Facility and the Global Road Safety Partnership. Disponível em: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/794451581062198463/pdf/Guide-for-Determining-Readiness-for-Speed-Cameras-and-other-Automated-Enforcement.pdf>. Acesso em fev. 2024.
- JOB, S.; BRODIE, C. (2022) Understanding the role of speeding and speed in serious crash trauma: a case study of New Zealand. *Journal of Road Safety*, v. 33, n. 1, p. 5-25.

- JOHNSON, T., & PETERS, D. (2019) Impact of Speed Enforcement Cameras on Road Safety. *Transportation Research Record*, 2673(2), 56-63.
- LEE, S., KIM, H., & PARK, J. (2020) Enhanced Vehicle Theft Detection Using License Plate Recognition Systems. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 21(8), 3265-3273.
- LSEPS (2017) London School of Economics and Political Science. Speed cameras reduce road accidents and traffic deaths. Disponível em: <https://www.lse.ac.uk/News/Latest-news-from-LSE/2017/10-October-2017/Speed-cameras-reduce-road-accidents-and-traffic-deaths>. Acesso em jul. 2024.
- MCLEAN, A. J.; KLOEDEN, C. (2002) Alcohol, Travelling Speed and the Risk of Crash Involvement. Proceedings of the 16th International Conference on Alcohol, Drugs and Traffic Safety. Canadá. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/237250995\\_Travelling\\_Speed\\_and\\_the\\_Risk\\_of\\_Crash\\_Involvement\\_on\\_Rural\\_Roads](https://www.researchgate.net/publication/237250995_Travelling_Speed_and_the_Risk_of_Crash_Involvement_on_Rural_Roads). Acesso em abr. 2024.
- MELMAN, T.; TAPUS, A.; JUBLOT, M.; MOUTON, X.; ABBINK, D.; WINTER, JOOST DE. (2022) Do sport modes cause behavioral adaptation? *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, v. 90, p. 202-214.
- MONTELLA, A.; PERSAUD, B.; D'APUZZO, M.; IMBRIANI, L.L. (2012) Safety evaluation of automated section speed enforcement system. *Transp. Res. Rec.* 2281, 16–25
- NESOFF, E.; MILAM, A. J.; BRANAS, C. C.; MARTINS, S. S.; KNOWLTON, A. R.; FURR-HOLDEN, D. M. (2018) Alcohol outlets, neighborhood retail environments, and pedestrian injury risk. *Alcoholism: Clinical and Experimental Research*, v. 42, n. 10, p.1979-1987. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6167150/>. Acesso em jun. 2024.
- NILSSON, G. (2004) Traffic safety dimensions and the power model to describe the effect of speed on safety. 221 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Lund Institute of Technology, Lund. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/228549673\\_Traffic\\_safety\\_dimensions\\_and\\_the\\_Power\\_Model\\_to\\_describe\\_the\\_effect\\_of\\_speed\\_on\\_safety](https://www.researchgate.net/publication/228549673_Traffic_safety_dimensions_and_the_Power_Model_to_describe_the_effect_of_speed_on_safety). Acesso em jun. 2024.
- NUNES, P. B. S.; SAULO; DO VALE, L. I. A.; MARCO; COELHO, A. V. R.; SOBREIRA, L.T. P. (2022) Efeito da redução do limite de velocidade no tempo médio de viagem – Estudo de caso de Fortaleza. In: Congresso de Pesquisa e Ensino e Transportes (ANPET), Fortaleza. Anais eletrônicos... Campinas: Galoá. Disponível em: <https://proceedings.science/anpet/anpet-2022/trabalhos/efeito-da-reducao-do-limite-de-velocidade-no-tempo-medio-de-viagem-estudo-de-cas>. Acesso em abr. 2024.
- OGDEN, K. W. (1996) Safer Roads: A Guide to Road Safety Engineering. Melbourne: Ashgate Publishing Ltd. Disponível em: <https://trid.trb.org/View/459597>. Acesso em mai. 2024.

- OPAS (2012) Organização Pan-Americana da Saúde. Gestão da velocidade: um manual de segurança viária para gestores e profissionais da área. Brasília, DF. Disponível em: <https://iris.paho.org/handle/10665.2/3552>. Acesso em mar. 2024.
- OECD (2006) Organization for Economic Co-operation and Development. Speed management. Paris: OECD. Disponível em: [https://www.oecd.org/en/publications/2006/10/speed-management\\_g1gh74cc.html](https://www.oecd.org/en/publications/2006/10/speed-management_g1gh74cc.html). Acesso em jun. 2024.
- PEDEN, M.; SCURFIELD, R.; SLEET, D.; MOHAN, D.; HYDER, A. A.; JARAWAN, E.; MATHERS, C. (2004) World report on road traffic injury prevention. Geneva: World Health Organization. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/260288299\\_World\\_Report\\_on\\_Road\\_Traffic\\_Injury\\_Prevention](https://www.researchgate.net/publication/260288299_World_Report_on_Road_Traffic_Injury_Prevention). Acesso em jun. 2024.
- PNATRANS (2022) Plano Nacional de Redução de Mortes e Lesões no Trânsito: *Pnatrans – juntos salvamos vidas*. Disponível em: <https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/transito/pnatrans>. Acesso em fev. 2024.
- RAO, A. M.; VELMURUGAN, S.; LAKSHMI, K.M.V.N. (2017) Evaluation of Influence of Roadside Frictions on the Capacity of Roads in Delhi, India. *Transportation Research Procedia*, v. 25, p. 4771-4782.
- REASON, J. (1990) Human error. Cambridge: Cambridge University Press. Disponível em: <https://www.cambridge.org/highereducation/books/human-error/281486994DE4704203A514F7B7D826C0#overview>. Acesso em jun. 2024.
- RETTING R. A; FERGUSON S. A; MCCARTT A. T. (2003) A review of evidence-based traffic engineering measures designed to reduce pedestrian-motor vehicle crashes. *American Journal of Public Health*, v. 93, n. 9, p. 1456-1463.
- ROSEN, E.; STIGSON, H.; SANDER, U. (2011) Literature review of pedestrian fatality risk as a function of car impact speed. *Accident Analysis & Prevention*, v. 43, n. 1, p. 25-33.
- SADIA, R.; BEKHOR, S.; POLUS, A. (2018) Structural equations modelling of drivers' speed selection using environmental, driver, and risk factors. *Accident Analysis & Prevention*, v. 116, p. 21-29.
- DA SILVA, A. R.; SANTOS, M. de M. (2020) Impact on average vehicle speed with the introduction of educational actions and optical character recognition equipment in the Federal District, Brazil. *Transportes*, v. 28, n. 5, p. 294–308.
- SARNO, C. (2016) Benefícios Imediatos da Redução de Velocidades Máximas Permitidas. CET-SP. Disponível em: <https://www.cetsp.com.br/media/517275/nt251.pdf>. Acesso em mai. 2024.
- SCHRANK, D.; EISELE, B.; LOMAX, T. TTI's (2012) Urban Mobility Report. College Station: Texas Transportation Institute. Disponível em: <https://static.tti.tamu.edu/tti.tamu.edu/documents/umr/archive/mobility-report-2012.pdf>. Acesso em mai. 2024.

- SMITH, A., BROWN, B., CLARK, C. (2018) Improving Traffic Safety with Automatic License Plate Recognition. *Journal of Traffic Management*, 12(4), 234-245.
- STRADLING, S. R.; COOPER, P. J.; CHARLTON, S. G. (1994) The effects of stress and anger on driving performance. *Accident Analysis & Prevention*, v. 26, n. 4, p. 473-484.
- TAYLOR, M. C.; LYNAM, D. A.; BARUYA, A. (2000) The effects of drivers' speed on the frequency of road accidents. Wokingham: Transport Research Laboratory. (TRL Report 421). Disponível em: <https://trl.co.uk/uploads/trl/documents/TRL421.pdf>. Acesso em abr. 2024.
- TEFFT, B. (2013) Impact speed and a pedestrian's risk of severe injury or death. *Accident Analysis & Prevention*, v. 50, p. 871-878.
- THEEUWES, J.; SNELL, J.; KONING, T.; BUCKER, B. (2024) Self-Explaining Roads: Effects of road design on speed choice. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, v. 102, p. 335-361.
- TINGVALL, C.; HAWORTH, N. (1999) Vision Zero: An ethical approach to safety and mobility. In: 6TH ITE INTERNATIONAL CONFERENCE ROAD SAFETY & TRAFFIC ENFORCEMENT: BEYOND 2000. Disponível em: <https://trid.trb.org/View/653162>. Acesso em mar. 2024.
- TINGVALL, C.; KRAFFT, M. (2017) Defending Vision Zero. *Vision Zero Cities*, n. 2, p. 11–15. Disponível em: <https://bransch.trafikverket.se/contentassets/063103a2be5b44369c23daa27dcc6a3d/visionzero-cities-international-journal-of-traffic-safety-innovation-2017.pdf>. Acesso em mar. 2024.
- TRAFIKVERKET (2012) Road Safety: Vision Zero on the move. Borlänge: Grafisk Form. 20 p. ISBN 978-91-7467-231-2. Disponível em: <https://static.pmg.org.za/140218roadsafety.pdf>. Acesso em mar. 2024.
- UN (2015) United Nations. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. New York: United Nations. Disponível em: <https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld/publication>. Acesso em abr. 2024.
- VAN NES, N.; BÄRGMAN, J.; CHRISTOPH, M.; VAN SCHAGEN, I. (2019) The potential of naturalistic driving for in-depth understanding of driver behavior: UDRIVE results and beyond. *Safety Science*, v. 119, p. 11-20.
- WILSON, C.; WILLIS, C.; HENDRIKZ, JK; LE BROUQUE, R.; BELLAMY, N. (2010) Speed cameras for the prevention of road traffic injuries and deaths. *Cochrane Database Systematic Reviews*, v. 10, CD004607.

- WHO (2004) World Health Organization. World report on road traffic injury prevention. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/world-report-on-road-traffic-injury-prevention>. Acesso em mai. 2024.
- WHO (2017) World Health Organization. Managing speed. Geneva: World Health Organization. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/managing-speed>. Acesso em mai. 2024.
- WHO (2017) World Health Organization. Save LIVES: a road safety technical package. Geneva: World Health Organization. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/save-lives-a-road-safety-technical-package>. Acesso em mai. 2024.
- WHO (2018) World Health Organization. Global status report on road safety. Geneva: World Health Organization. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241565684>. Acesso em mai. 2024.