

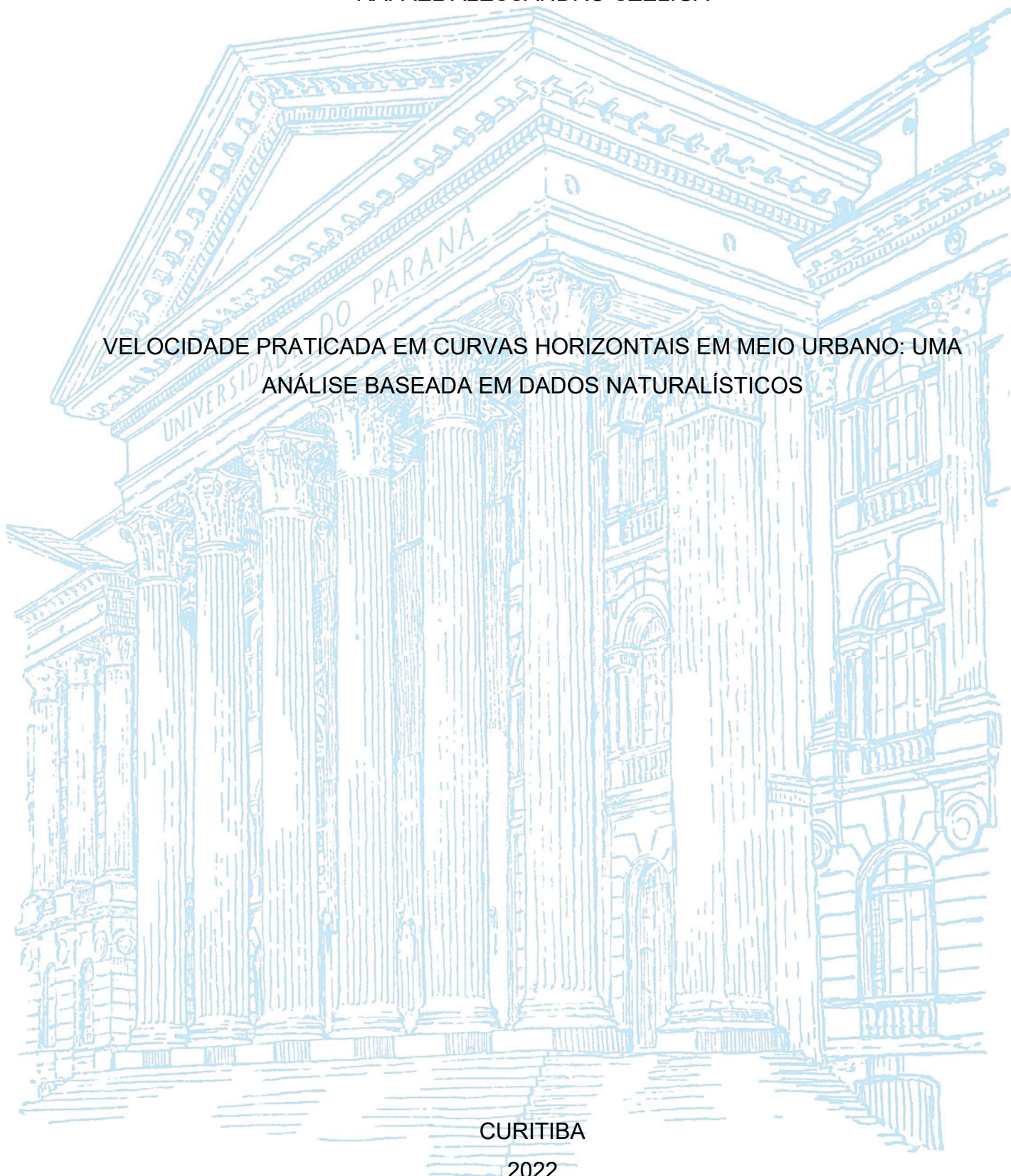
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

RAFAEL ALESSANDRO SZELIGA

VELOCIDADE PRATICADA EM CURVAS HORIZONTAIS EM MEIO URBANO: UMA
ANÁLISE BASEADA EM DADOS NATURALÍSTICOS

CURITIBA

2022



RAFAEL ALESSANDRO SZELIGA

VELOCIDADE PRATICADA EM CURVAS HORIZONTAIS EM MEIO URBANO: UMA
ANÁLISE BASEADA EM DADOS NATURALÍSTICOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Planejamento Urbano.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Tiago Bastos

CURITIBA
2022

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Szeliga, Rafael Alessandro.

Velocidade praticada em curvas horizontais em meio urbano : uma análise baseada em dados naturalísticos. / Rafael Alessandro Szeliga. – Curitiba, 2022.

1 recurso on-line : PDF.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Tiago Bastos.

1. Planejamento urbano. 2. Mobilidade urbana – Curitiba (PR). 3. Trânsito urbano. 4. Acidentes de trânsito. I. Bastos, Jorge Tiago. II. Universidade Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano. III. Título.

Bibliotecário: Nilson Carlos Vieira Júnior CRB-9/1797

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação PLANEJAMENTO URBANO da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **RAFAEL ALESSANDRO SZELIGA** intitulada: **VELOCIDADE PRATICADA EM CURVAS HORIZONTAIS EM MEIO URBANO: UMA ANÁLISE BASEADA EM DADOS NATURALÍSTICOS**, sob orientação do Prof. Dr. JORGE TIAGO BASTOS, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 23 de Agosto de 2022.

Assinatura Eletrônica

23/08/2022 16:21:51.0

JORGE TIAGO BASTOS

Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

30/08/2022 10:22:29.0

MICHELLE ANDRADE

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA)

Assinatura Eletrônica

23/08/2022 16:25:42.0

DIEGO FERNANDES NERIS

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos, familiares e amigos que, de alguma forma, direta ou indiretamente, ajudaram no percurso até aqui, desde a intenção de ingressar no mestrado até sua conclusão.

Aos docentes do programa, pelas contribuições a respeito do planejamento e pelas compreensões do urbano que ajudaram a forjar um pensamento crítico e a criar percepções indelévels de como o ambiente construído se apresenta ao nosso redor.

Aos alunos de iniciação científica que auxiliaram no tratamento dos dados brutos.

Ao professor Jorge Tiago Bastos, pela orientação precisa e direcionamento no desenvolvimento da pesquisa.

À professora Daniela Trentin Nava, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, pelo suporte no campo da estatística.

Aos professores Michelle Andrade e Diego Fernandes Neris, pela participação na banca examinadora de qualificação e de defesa da dissertação e pelas contribuições feitas ao trabalho.

Aos colegas de curso, que mesmo com pouco contato presencial, contribuíram em discussões profícuas a respeito dos temas estudados nas disciplinas.

À Gisele, minha amiga, companheira e esposa, que esteve ao meu lado me motivando e incentivando desde o início.

Esta pesquisa foi financiada pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) por meio da Chamada CNPq/MCTIC nº 28/2018 Universal/Faixa A e da Chamada CNPq/MCTI/FNDCT nº 18/2021 Universal/Faixa A – Grupos Emergentes, pelo Observatório Nacional de Segurança Viária (ONSV) e pela Universidade Federal do Paraná, por meio da concessão de bolsas de iniciação científica e disponibilização da infraestrutura para a realização das atividades.

DEDICATÓRIA

para Gisele e Maria Luiza.

RESUMO

O desafio de conciliar os interesses de mobilidade urbana e segurança viária se faz cada vez mais presente, evidenciando a necessidade de proporcionar uma interação equilibrada e não conflituosa entre os diversos tipos de usuários da infraestrutura viária. A velocidade praticada por condutores de veículos se apresenta como um fator de risco tanto para a ocorrência quanto para a severidade dos sinistros de trânsito. O objetivo do presente estudo foi investigar a influência de fatores viários e ambientais na escolha da velocidade por parte de condutores de veículos de passeio em manobras de conversão em vias urbanas. Os Estudos Naturalísticos de Direção, tradução do termo inglês *Naturalistic Driving Study* (NDS), baseiam-se no monitoramento da tarefa real de condução considerando os ambientes interno e externo ao veículo em situações reais de trânsito, com ênfase no comportamento do condutor. Desde 2019 vem sendo executado o primeiro estudo naturalístico realizado no Brasil (NDS-BR), na cidade de Curitiba (PR), com o monitoramento até então de 32 condutores e uma distância percorrida de aproximadamente 9,4 mil km. Os veículos dos condutores foram instrumentalizados com câmeras internas e dispositivos GPS que registraram suas velocidades instantâneas ao longo dos trajetos. As vias consideradas para o presente trabalho foram interseções em nível do sistema viário municipal, tendo sido contabilizadas 1.201 manobras de conversão. Nas análises foi considerada a variação de velocidade (ΔV), sendo essa a diferença entre a velocidade média em curva (V_c) e a velocidade média de entrada (V_e) na tangente anterior à curva. Para caracterizar a velocidade de entrada, foi considerada uma área de influência distante 50 metros do ponto de início da curva. As velocidades foram analisadas através de testes de hipóteses estatísticas entre as populações considerando o ângulo de deflexão, a direção da conversão, o raio na esquina, o controle de preferencial, a presença de deflexões verticais na pista, a declividade da via, a ocorrência de chuva, o período do dia e, por fim, a velocidade de entrada dos veículos. Os resultados indicaram valores mais altos de velocidade nas curvas para ângulos de deflexão mais baixos, como os de 30 e 60°. No recorte considerando apenas conversões de 90°, as velocidades mais altas foram encontradas em conversões à esquerda, em cruzamentos com maiores raios de esquina, com controle semaforico, sem chuva, durante a noite. Também foram identificados valores mais altos de velocidade na curva conforme aumentam as velocidades de entrada. Quando considerada a variação da velocidade, os valores mais elevados ocorreram para maiores ângulos de deflexão. Quando considerado o recorte de curvas de 90°, as situações que apresentaram maior variação foram as curvas à direita, em movimentos provenientes de vias secundárias, na presença de deflexões verticais na pista, em terreno plano e a favor e com maiores valores de velocidades de entrada. Os dados subsidiaram a sugestão de políticas de gestão de velocidade em meio urbano.

Palavras-chave: Segurança Viária. Velocidade instantânea. Manobras de conversão. Interseção urbana. Estudos Naturalísticos de Direção.

ABSTRACT

The challenge of conciliating urban mobility and road safety is increasingly present, highlighting the need to provide a balanced and non-conflicting interaction between the different users of urban road infrastructure. The speed practiced by vehicle drivers is a risk factor for both the occurrence and the severity of traffic accidents. The objective of the present study was to investigate the influence of road and environmental factors on speed choice by drivers of passenger vehicles in turning maneuvers on urban roads. The Naturalistic Driving Studies, (NDS), are based on monitoring the real driving tasks considering the vehicle's internal and external environments, with an emphasis on the driver's own behavior. Since 2019, the first Naturalistic Driving Study carried out in Brazil (NDS-BR) has been taking place in the city of Curitiba (PR), with the monitoring of 32 conductors so far, which corresponds to a covered distance of approximately 9,400 km. The drivers' vehicles were instrumented with internal cameras and GPS devices that recorded their instantaneous speeds along the paths. The roads considered for the present work were intersections of the municipal road system, with a total of 1,201 conversion maneuvers. In the analysis, the variation of speed (ΔV) was considered, which is the difference between the average speed in curve (V_c) and the average entry speed (V_e) in the tangent just before the curve. To describe the entry speed, it was considered an area of influence 50 meters away from the starting point of the curve. The speeds were analyzed through statistical hypothesis tests considering the deflection angle, turn direction, corner radii, the traffic control, the presence of vertical deflections on the road, the slope of the road, the occurrence of rain, the period of day and, finally, the entry speed of vehicles. Statistical analysis provided information for situations with higher speed values in curves for lower deflection angles, such as 30 and 60 degrees. When considering only the 90° turning angles, the highest speeds were found at left turns, at intersections with larger radii, with traffic lights control, without rain, at night. Higher values of speed in the curve were also identified as the entry speeds increase. When considering the speed variation (reduction), the most significant values were obtained for deflection angles of greater values (90 and 120 degrees). When considering only 90° curves, the situations that presented the greatest variation were the curves to the right, in movements originated from secondary roads (without traffic lights), with speedbumps, on flat terrain and uphill and with higher values of entry speeds. The data based the suggestion of speed management policies in urban areas.

Keywords: Road Safety. Instantaneous speed. Conversion maneuver. Urban intersection. Naturalistic Driving Studies.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - MOVIMENTOS CONVERGENTES (A), DIVERGENTES (B) E INTERCEPTANTES (C).....	24
FIGURA 2 - PONTOS DE CONFLITO EM INTERSEÇÃO DE QUATRO RAMOS....	24
FIGURA 3 - PROBABILIDADE DE LESÃO FATAL DE PEDESTRES EM UM ATROPELAMENTO EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DO VEÍCULO	26
FIGURA 4 - VELOCIDADE E DISTÂNCIA DE FRENAGEM.....	27
FIGURA 5 - A GESTÃO DA SEGURANÇA VIÁRIA COMO UM SISTEMA COMPLEXO.....	28
FIGURA 6 – PLATAFORMA DE COLETA DE DADOS NATURALÍSTICOS.....	43
FIGURA 7 - COLETAS DAS CÂMERAS NO INTERIOR DO VEÍCULO	44
FIGURA 8 - RAO DE GIRO E RAO EFETIVO DA CURVA.....	49
FIGURA 9 - EXEMPLO DE MEDIÇÃO DE RAO UTILIZANDO FERRAMENTA DISPONÍVEL NO <i>SOFTWARE GOOGLE EARTH®</i>	50
FIGURA 10 - ORIENTAÇÃO DAS CÂMERAS NO INTERIOR DO VEÍCULO.....	55
FIGURA 11 - EXEMPLO DE VIAGEM COMPLETA NO MUNICÍPIO DE CURITIBA	56
FIGURA 12 - DISTRIBUIÇÃO DAS VIAGENS	57
FIGURA 13 - EXEMPLO DE PONTOS DE <i>GPS</i> FORA DA MALHA VIÁRIA.....	58
FIGURA 14 - EXEMPLOS DE CONVERSÃO APROVEITADA (A) E DESCARTADAS EM FUNÇÃO DO ACÚMULO DE PONTOS ANTERIORES À CURVA (B), CURVAS PRÓXIMAS (C) E DEFLEXÃO NÃO ESTUDADA (D) .	59
FIGURA 15 - EXEMPLOS DE CONFIGURAÇÃO DE CRUZAMENTO EM 30° (A), 60° (B), 90° (C) E 120° (D) CONSIDERADOS PARA AS ANÁLISES	60
FIGURA 16 - EXEMPLO DE LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS NOTÁVEIS PARA ANÁLISE DAS CONVERSÕES	61
FIGURA 17 - EXEMPLO DE GRÁFICO VELOCIDADE X TEMPO DESTACANDO OS TRECHOS ANTES DA CURVA, NA CURVA E APÓS A CURVA	62
FIGURA 18 - DISTRIBUIÇÃO DOS MOVIMENTOS DE CONVERSÃO ANALISADOS	63
FIGURA 19 - MEDIÇÃO DE RAO EM CONVERSÃO À DIREITA.....	64
FIGURA 20 - MEDIÇÃO DE RAO DESCARTADA EM CONVERSÃO À ESQUERDA	65

FIGURA 21 - RESUMO DO FLUXO DE TRABALHO	66
FIGURA 22 - AMOSTRA DA TABELA FINAL DE DADOS PARA ANÁLISE DAS VARIÁVEIS	67
FIGURA 23 - FLUXOGRAMA DE ETAPAS PARA DETERMINAÇÃO DE TESTES .	69
FIGURA 24 - EXEMPLOS DE INTERVENÇÕES PARA MODERAÇÃO DE TRÁFEGO EM ÁREAS DE TRAVESSIAS DE PEDESTRES	106
FIGURA 25 - EXEMPLO DE APLICAÇÃO DE TÉCNICAS VISANDO UM CRUZAMENTO MAIS SEGURO.....	106

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - HISTOGRAMA PARA VELOCIDADES NA CURVA PARA TODAS AS DEFLEXÕES.....	71
GRÁFICO 2 - HISTOGRAMA PARA VARIAÇÃO DAS VELOCIDADES PARA TODAS AS DEFLEXÕES.....	72
GRÁFICO 3 - HISTOGRAMA PARA VELOCIDADES NA CURVA PARA DEFLEXÕES EM 90°.....	73
GRÁFICO 4 - HISTOGRAMA PARA VARIAÇÃO DAS VELOCIDADES PARA DEFLEXÕES EM 90°.....	74
GRÁFICO 5 - DIAGRAMA DE CAIXAS PARA VELOCIDADE (KM/H) EM FUNÇÃO DA DEFLEXÃO	77
GRÁFICO 6 - DIAGRAMA DE CAIXAS PARA AS VELOCIDADES (KM/H) DE ACORDO COM A DIREÇÃO	79
GRÁFICO 7 - DIAGRAMA DE CAIXAS PARA AS VELOCIDADES (KM/H) DE ACORDO COM OS RAIOS.....	83
GRÁFICO 8 - DIAGRAMA DE CAIXAS PARA AS VELOCIDADES (KM/H) DE ACORDO COM O CONTROLE DE PREFERENCIAL	86
GRÁFICO 9 - DIAGRAMA DE CAIXAS PARA AS VELOCIDADES (KM/H) DE ACORDO COM A PRESENÇA DE DEFLEXÕES VERTICAIS.....	88
GRÁFICO 10 - DIAGRAMA DE CAIXAS PARA AS VELOCIDADES DE ACORDO COM A DECLIVIDADE DA VIA.....	91
GRÁFICO 11 - DIAGRAMA DE CAIXAS PARA VELOCIDADE (KM/H) DE ACORDO COM A CONDIÇÃO CLIMÁTICA.....	93
GRÁFICO 12 - DIAGRAMA DE CAIXAS PARA VELOCIDADES (KM/H) DE ACORDO COM O PERÍODO DO DIA	95
GRÁFICO 13 - DIAGRAMA DE CAIXAS PARA VELOCIDADES (KM/H) DE ACORDO COM A VELOCIDADE DE ENTRADA.....	98
GRÁFICO 14 - VELOCIDADES MÉDIAS DURANTE AS CURVAS PARA VELOCIDADES DE APROXIMAÇÃO DE ATÉ 30KM/H, DE 30 A 40KM/H, DE 40 A 50KM/H E ACIMA DE 50KM/H	99

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - EXEMPLO DE MATRIZ DE HADDON	23
QUADRO 2 - SOLUÇÕES DE <i>TRAFFIC CALMING</i> EM CONTEXTO DE CRUZAMENTOS URBANOS.....	31
QUADRO 3 - RESUMO DOS ESTUDOS DE VELOCIDADE EM CURVAS HORIZONTAIS EM ÁREAS URBANAS.....	35
QUADRO 4 - PRINCIPAIS PONTOS POSITIVOS E NEGATIVOS EM DIFERENTES MÉTODOS DE MEDIÇÃO DE VELOCIDADE	40
QUADRO 5 - RESUMO DAS RECOMENDAÇÕES PARA CADA SITUAÇÃO ESTUDADA.....	108

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - TOTAL DE CONVERSÕES ANALISADAS	68
TABELA 2 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS PARA TODAS AS DEFLEXÕES	70
TABELA 3 - RESULTADOS DOS TESTES DE NORMALIDADE APLICADOS A TODAS AS DEFLEXÕES.....	72
TABELA 4 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS PARA AS DEFLEXÕES EM 90°.....	73
TABELA 5 - RESULTADOS DOS TESTES DE NORMALIDADE APLICADOS ÀS DEFLEXÕES EM 90°	74
TABELA 6 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS PARA VELOCIDADE NA CURVA EM FUNÇÃO DA DEFLEXÃO	75
TABELA 7 - RESULTADO DO TESTE PAREADO DE MEDIANAS EM FUNÇÃO DA DEFLEXÃO (VELOCIDADES NA CURVA).....	76
TABELA 8 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS PARA ΔV EM FUNÇÃO DA DEFLEXÃO	76
TABELA 9 - RESULTADO DO TESTE PAREADO DE MEDIANAS EM FUNÇÃO DA DEFLEXÃO (ΔV)	77
TABELA 10 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DE VELOCIDADE (KM/H) NA CURVA EM FUNÇÃO DA DIREÇÃO	78
TABELA 11 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS ΔV (KM/H) NAS CURVAS EM FUNÇÃO DA DIREÇÃO.....	79
TABELA 12 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS VELOCIDADES NA CURVA (KM/H) DE ACORDO COM OS RAIOS.....	80
TABELA 13 - RESULTADO TESTE ANOVA PARA VELOCIDADES NA CURVA (KM/H) DE ACORDO COM OS RAIOS	81
TABELA 14 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS PARA VARIAÇÃO DE VELOCIDADE (KM/H) DE ACORDO COM OS RAIOS	82
TABELA 15 - RESULTADO TESTE ANOVA PARA VARIAÇÃO DE VELOCIDADES (KM/H) DE ACORDO COM OS RAIOS	82
TABELA 16 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS PARA VELOCIDADES NA CURVA (KM/H) DE ACORDO COM O CONTROLE DE PREFERENCIAL.....	84
TABELA 17 - RESULTADO TESTE ANOVA VELOCIDADE NA CURVA (KM/H) DE ACORDO COM O CONTROLE DE PREFERENCIAL	85

TABELA 18 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS PARA VARIAÇÃO DE VELOCIDADE (KM/H) DE ACORDO COM O CONTROLE DE PREFERENCIAL.....	85
TABELA 19 - RESULTADO TESTE ANOVA PARA VARIAÇÃO DE VELOCIDADE (KM/H) DE ACORDO COM O CONTROLE DE PREFERENCIAL.....	86
TABELA 20 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS PARA VELOCIDADE NA CURVA (KM/H) DE ACORDO COM A PRESENÇA DE DEFLEXÕES VERTICAIS	87
TABELA 21 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS PARA VARIAÇÃO DA VELOCIDADE (KM/H) DE ACORDO COM A PRESENÇA DE DEFLEXÕES VERTICAIS	88
TABELA 22 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS PARA VELOCIDADES NA CURVA (KM/H) DE ACORDO COM A DECLIVIDADE DA VIA.....	89
TABELA 23 - RESULTADOS TESTE ANOVA PARA VELOCIDADES NA CURVA (KM/H) DE ACORDO COM A DECLIVIDADE DA VIA.....	90
TABELA 24 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS PARA VARIAÇÕES DE VELOCIDADES (KM/H) DE ACORDO COM A DECLIVIDADE DA VIA	90
TABELA 25 - RESULTADOS TESTE ANOVA PARA VARIAÇÕES DE VELOCIDADES (KM/H) DE ACORDO COM A DECLIVIDADE DA VIA	90
TABELA 26 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DE VELOCIDADE NA CURVA (KM/H) DE ACORDO COM A CONDIÇÃO CLIMÁTICA	92
TABELA 27 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS PARA VARIAÇÃO DE VELOCIDADES (KM/H) DE ACORDO COM A CONDIÇÃO CLIMÁTICA.....	92
TABELA 28 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS PARA VELOCIDADES NA CURVA (KM/H) DE ACORDO COM O PERÍODO DO DIA	94
TABELA 29 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS PARA VARIAÇÕES DE VELOCIDADES (KM/H) DE ACORDO COM O PERÍODO DO DIA...	94
TABELA 30 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS PARA VELOCIDADES NA CURVAS (KM/H) DE ACORDO COM A VELOCIDADE DE ENTRADA	96
TABELA 31 - RESULTADO ANOVA PARA VELOCIDADES NA CURVAS (KM/H) DE ACORDO COM A VELOCIDADE DE ENTRADA.....	96
TABELA 32 - ESTATÍSTICAS DECRITIVAS PARA VARIAÇÕES DE VELOCIDADE (KM/H) DE ACORDO COM AS VELOCIDADES DE ENTRADA.....	97

TABELA 33 - RESULTADO TESTE ANOVA PARA VARIAÇÕES DE VELOCIDADE (KM/H) DE ACORDO COM AS VELOCIDADES DE ENTRADA.....	97
TABELA 34 – RESUMO DAS ANÁLISES ENVOLVENDO VELOCIDADES PRATICADAS NA CURVA.....	100
TABELA 35 – RESUMO DAS ANÁLISES ENVOLVENDO AS VARIAÇÕES DA VELOCIDADE (ΔV)	101

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 OBJETIVOS	17
1.2 JUSTIFICATIVA	18
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	19
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	21
2.1 SINISTROS DE TRÂNSITO E FATORES DE RISCO.....	21
2.1.1 Interseções como locais de conflito.....	23
2.1.2 Velocidade como fator de risco	25
2.1.3 Velocidade Operacional	28
2.1.4 Gestão da velocidade por meio de medidas de Moderação de Tráfego	29
2.1.5 Velocidade Operacional em Cruzamentos Urbanos.....	32
2.2 AQUISIÇÃO DE DADOS DE VELOCIDADE	36
2.3 ESTUDOS NATURALÍSTICOS DE DIREÇÃO	40
2.3.1 Estudos Brasileiros.....	43
2.4 ASPECTOS OBSERVÁVEIS NO NDS-BR	46
2.4.1 Características Geométricas	47
2.4.2 Deflexões Verticais.....	50
2.4.3 Tempo Chuvoso	51
2.4.4 Período do Dia	51
2.4.5 Presença de Pedestres	52
2.4.6 Controle de Preferencial.....	52
2.4.7 Situações de Aclive ou Declive	53
2.4.8 Velocidade de Entrada no Cruzamento.....	54
3 MATERIAL E MÉTODOS	55
3.1.1 Critérios de Análise	62
3.1.2 Análises Estatísticas	68
4 RESULTADOS.....	70
4.1 ESTATÍSTICAS GERAIS E TESTES DE NORMALIDADE	70
4.2 VELOCIDADE DE ACORDO COM A DEFLEXÃO.....	75
4.3 VELOCIDADE DE ACORDO COM A DIREÇÃO DA CONVERSÃO	78

4.4 VELOCIDADE DE ACORDO COM O RAI0 NAS ESQUINAS	80
4.5 VELOCIDADE DE ACORDO COM O CONTROLE DE PREFERENCIAL	84
4.6 VELOCIDADE DE ACORDO COM DISPOSITIVOS DE DEFLEXÃO VERTICAL ANTERIOR À CURVA.....	87
4.7 VELOCIDADE DE ACORDO COM A DECLIVIDADE	89
4.8 VELOCIDADE DE ACORDO COM A CONDIÇÃO CLIMÁTICA.....	92
4.9 VELOCIDADE DE ACORDO COM O PERÍODO DO DIA.....	93
4.10 VELOCIDADE DE ENTRADA	95
4.11 RESUMO DAS ANÁLISES	99
5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	102
5.1 VARIÁVEIS GEOMÉTRICAS E AMBIENTAIS	102
5.2 INTERSEÇÕES MAIS PROPENSAS A SITUAÇÕES DE RISCO	102
5.3 POLÍTICAS DE GESTÃO DE VELOCIDADE.....	105
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	109
6.1 LIMITAÇÕES DA PESQUISA	110
6.2 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	110
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	112

1 INTRODUÇÃO

A segurança viária é tema relevante a diversos setores da sociedade afetados pelo problema da sinistralidade viária. De acordo com dados do Ministério da Saúde, no Brasil em 2020, foram 32.716 vítimas fatais de acidentes de trânsito, dessas, 5.120 se referem a pedestres, representando quase 16% dos óbitos nas vias brasileiras naquele ano. No Paraná, no mesmo ano foram 2.451 vítimas fatais, sendo dessas, 426 pedestres Ministério da Saúde (2022).

Problemas de mobilidade urbana estão intrinsicamente ligados aos problemas na segurança viária, sobretudo em países em desenvolvimento, como o caso do Brasil. Nesse sentido, a velocidade é fator de grande importância na segurança do sistema viário urbano, sendo o risco de fatalidade com pedestres, em casos de conflito, diretamente proporcional à velocidade de impacto. Além disso, muitos ferimentos causados pelo trânsito estão diretamente relacionados ao desenho das ruas tais como travessias inadequadas para pedestres em cruzamentos viários. Ruas largas e de múltiplas faixas, desenhadas para priorizar escoamento de fluxos veiculares, sem espaços de refúgio, também expõem os pedestres a veículos em movimento por distâncias mais longas ao atravessar a rua (NACTO, 2018; PRADO; DINIZ; RAIA JUNIOR, 2018)

O risco de colisão é avaliado de acordo com cada tipo de usuário da via e abarca entes mais e menos vulneráveis. Condutores de veículos motorizados de duas ou três rodas estão mais vulneráveis em relação àqueles que se utilizam de veículos automotores maiores. Por sua vez os pedestres também são caracterizados pela elevada vulnerabilidade, pois não utilizam qualquer equipamento de proteção em seus deslocamentos e tampouco estão envoltos em qualquer estrutura de proteção como a de um automóvel, por exemplo (OPAS, 2012).

É no contexto da relação conflituosa e, não raramente, desequilibrada, entre usuários vulneráveis e veículos automotores que se desenvolvem os objetivos dessa pesquisa.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo geral desta pesquisa foi investigar a influência de fatores viários e ambientais na escolha da velocidade praticadas por condutores de veículos de passeio em manobras de conversão em vias urbanas. As vias consideradas foram cruzamentos em nível do sistema viário municipal de Curitiba – PR e região

metropolitana, a partir de dados obtidos com o uso de uma plataforma de coleta de dados naturalísticos de segurança viária.

Paralelamente, os objetivos específicos propostos foram:

- Identificar padrões de comportamento, dadas as variáveis geométricas da via e variáveis ambientais consideradas;
- Identificar configurações de interseções mais propensas a situações de risco (velocidades mais altas) na interação entre usuários motorizados e pedestres;
- Contribuir para a formulação de políticas de gestão de velocidade em âmbito municipal baseadas no desenho de interseções.

1.2 JUSTIFICATIVA

Diversas entidades e organizações internacionais reforçam a ideia de que os investimentos públicos em mobilidade precisam contemplar soluções que se traduzam em vias mais seguras e tolerantes aos erros dos condutores. Para isso, o sistema viário deve ser adaptado à vulnerabilidade de seus usuários, levando a uma redução de vítimas feridas e economia de recursos. A gestão da velocidade em áreas urbanas se torna, portanto, um processo necessário para a redução de mortes e lesões no trânsito, em especial nas localidades onde existe um conflito mais evidente entre usuários de veículos automotores e pedestres (OECD, 2006; OPAS, 2012).

A Lei nº 13.614, de 11 de janeiro de 2018, instituiu o Plano Nacional de Redução de Mortes e Lesões no Trânsito – PNATRANS – em uma diretiva do governo federal à redução de índices de mortes e lesões no trânsito considerando tanto grupos de habitantes quanto de veículos. Na versão mais recente da publicação, de 2021, um dos pilares do Plano trata do aspecto “vias seguras” (Pilar 2), trazendo a necessidade de qualificar diretrizes de desenho viário seguro. No Plano, recomenda-se explicitamente que a especificação de padrões e projetos visando a segurança ao levar em conta as características da via, mas também a necessidade de todos os seus diferentes usuários, de acordo com os preceitos de sistemas seguros. A lei se apresenta como um complemento ao Código de Trânsito já vigente Brasil (2018).

Complementa-se a essa ideia a Agenda 2030, que se trata de um plano de ação da ONU indicando 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (os chamados ODS). Esse documento contempla uma série de metas visando a erradicação da pobreza no mundo como forma de garantir desenvolvimento sustentável em escala global. Nesse quesito cabe citar o ODS 11 “Cidades e Comunidades Sustentáveis”,

que, dentre outras metas, enseja assegurar sistemas de transporte eficientes, seguros e inclusivos melhorando a segurança de forma geral ONU (2021).

Soma-se a esse cenário a disponibilidade exígua de estudos técnicos que relacionam a velocidade desenvolvida com as variáveis do ambiente urbano, notadamente mais complexo que o meio rodoviário Wang (2006). Verifica-se, portanto, uma oportunidade de, no contexto da condução de um Estudo Naturalístico de Direção Brasileiro (*Naturalistic Driving Study Brazil / NDS-BR*) na cidade de Curitiba - PR, contribuir com melhor entendimento da influência de características geométricas e condicionantes ambientais na velocidade praticada em manobras de conversão em interseções urbanas, assunto esse pouco abordado na literatura.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho se divide em cinco partes. Na primeira parte, Capítulo 1, trata-se da introdução do tema de pesquisa abordando suas justificativas e objetivos associados.

No Capítulo 2 é apresentada uma revisão de literatura que embasa a pesquisa desenvolvida, abordando a velocidade como fator de risco para sinistros de trânsito no meio urbano. São também abordados aspectos que influenciam a velocidade e as diferentes procedimentos utilizados para sua medição em campo, bem como a gestão da velocidade e a importância desse aspecto para segurança viária, especialmente em áreas de cruzamentos. Dando seguimento, são apresentados os Estudos Naturalísticos de Direção, suas origens e aplicações além da experiência brasileira que compõe o escopo da coleta de dados da presente pesquisa e, por fim, um referencial teórico de pesquisas e publicações a respeito dos temas abordados na análise proposta dos dados.

No Capítulo 3 é apresentada a metodologia de trabalho empregada, incluindo a coleta de dados, bem como o tratamento e filtragem dos dados produzidos em campo. São apresentados os critérios de tratamento e descarte de dados de curvas e a forma como os dados selecionados foram comparados entre si, bem como as análises estatísticas adotadas.

Na quarta parte (Capítulo 4) são apresentados os resultados encontrados bem como comparações com resultados obtidos previamente por outros pesquisadores, conforme descrito no Capítulo 2. No Capítulo 5 são tratadas as discussões a respeito dos resultados obtidos com sugestões de aplicações em planejamento urbano e

desenho de interseções. Por fim, no sexto e último capítulo são apresentadas as considerações finais do trabalho e discussão a respeito de encaminhamentos futuros que pesquisas na área podem abordar.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Na sequência é apresentada uma revisão de literatura abordando os principais aspectos ligados à velocidade em meio urbano e suas implicações na ocorrência e severidade de sinistros de trânsito.

2.1 SINISTROS DE TRÂNSITO E FATORES DE RISCO

No presente trabalho será utilizada a expressão sinistro de trânsito, em consonância com a norma brasileira, no lugar do termo “acidente de trânsito”. Conceitualmente, a NBR 10.697 de 2020, ao formalizar terminologias, apresentou a expressão sinistro de trânsito e a definiu como:

“todo evento que resulte em dano ao veículo ou à sua carga e/ou em lesões a pessoas e/ou animais, e que possa trazer dano material ou prejuízos ao trânsito, à via ou ao meio ambiente, em que pelo menos uma das partes está em movimento nas vias terrestres ou em áreas abertas ao público.” (ABNT, 2020, p. 1)

O texto, ainda, determinou a adoção do termo “sinistro” em pesquisas e relatórios estatísticos e operacionais a respeito do assunto. Conforme discutido em Bastos et al. (2020), a palavra “acidente”, remete a um evento sobre o qual não se tem controle algum, algo ocorrido em função do acaso. Ainda que a expressão “acidente de trânsito” seja encontrada e utilizada correntemente, é certo afirmar que a maior parte dos eventos associados a vítimas e prejuízos de trânsito são evitáveis a partir de ações simples.

Entre os fatores que contribuem para os riscos de colisão ou atropelamentos, estão a velocidade praticada por condutores, o desenho de vias e as condições de mobilidade disponíveis para pedestres, sendo essas condições passíveis de controle (NACTO, 2018).

Segundo Contador e Oliveira (2015), para além das parcelas mais visíveis das consequências - como vidas perdidas, pessoas invalidadas, dor e sofrimento para familiares e amigos - há também a parcela econômica, com efeitos diretos na sociedade que engloba perda de produção e renda das vítimas fatais e com invalidez permanente. Trata-se, evidentemente, de um tópico sensível, pois se vale da valoração econômica da vida humana. Em se tratando de dados econômicos, o IPEA apontou que os custos de perdas de produção das vítimas e os gastos hospitalares associados aos acidentes de trânsito de um modo geral remete à soma de R\$ 50

bilhões a cada ano, considerando as rodovias e aglomerações urbanas (CARVALHO, 2020)

Desenhos de vias que priorizam a velocidade veicular e escoamento de tráfego tendem a não proporcionar ambientes seguros para seus usuários não motorizados. Em linhas gerais, ações voltadas para um ambiente seguro envolvem a redução da exposição ao risco, bem como a quantidade e a gravidade dos impactos. Muitas das mortes que ocorrem em vias urbanas são situações que poderiam ser evitadas por serem causadas por comportamentos induzidos a partir do desenho viário. Ainda, é no entorno de interseções onde ocorre a interação entre usuários motorizados e não motorizados. Nas interseções deve ser favorecido o contato visual entre os diferentes usuários, de modo a não considerar apenas a visão de usuários de automóveis (NACTO, 2018).

Mohan (2016) apontou que a ocorrência e o resultado de eventos causadores de lesões são previsíveis e, em muitos casos, sujeitos ao controle humano. Muitas das situações em que as probabilidades de sinistros de trânsito tendem a aumentar podem ser antevistas e projetos adequados podem evitar ou abrandar eventuais lesões.

No aspecto de ações que podem ser tomadas para evitar tais situações, Haddon (1980) elencou em uma matriz (posteriormente chamada de “Matriz de Haddon”) fatores humanos, veiculares e ambientais relacionando esses a etapas pré-evento, durante e pós-evento de sinistralidade viária. Cada célula na matriz foi usada para elencar contramedidas que podem ser implementadas para controlar os danos de sinistros de trânsito. Tal abordagem facilita o entendimento de cada ação necessária para evitar ou mitigar as situações indesejadas, conforme pode ser visualizado no QUADRO 1

QUADRO 1 - EXEMPLO DE MATRIZ DE HADDON

Fases / Fatores	Humanos	Veiculares	Ambientais
Pré-Evento	Motociclistas portando roupas claras e capacetes que sejam visíveis.	Carros equipados com freios ABS.	Radares e boa iluminação nos cruzamentos.
Evento	Uso de cinto de segurança pelos ocupantes dos carros.	Carros fabricados de acordo com as melhores práticas em resistência a colisões.	Leis obrigatórias para o uso de capacete e cinto de segurança.
Pós-Evento	Atendimento pré-hospitalar.	Dispositivos de desligamento automático em veículos em caso de colisão.	Polícia equipada com ferramentas de resgate de vítimas.

FONTE: O autor (2022), com dados de Haddon (1980).

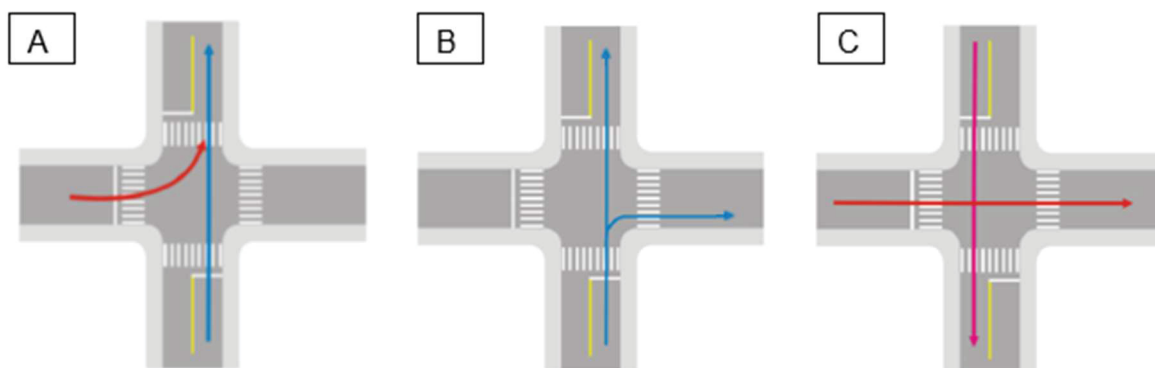
Considerando essas situações, velocidades mais altas de veículos estão associadas a aumentos de probabilidades de risco de colisão, bem como seus agravamentos. Com o aumento na velocidade dos veículos, tem-se um aumento da energia cinética, resultando assim em um impacto mais severo Elvik (2012, 2013).

2.1.1 Interseções como locais de conflito

Especificamente em casos urbanos, as interseções estão especialmente relacionadas a altas taxas de atropelamentos, justamente por constituírem-se de locais de conflito entre pedestres e usuários de veículos motorizados (OECD, 2006 e OPAS, 2013). As interseções são locais propensos à ocorrência de sinistros de trânsito, pois nelas são efetuadas manobras de conversão e o cruzamento entre vias se traduz como o principal local de encontro entre usuários motorizados (NHSTA, 2010)

Conforme o CONTRAN (2014), os trechos das vias pelas quais os veículos chegam à interseção são chamados de aproximações da interseção. A área da interseção, onde os movimentos veiculares interagem entre si, é denominada área de conflito. Nesse tipo de interseção os movimentos podem ser classificados de acordo com a interação de suas trajetórias podendo ser classificados como convergentes, quando os movimentos apresentam origem em diferentes aproximações, porém com mesmo destino, divergentes, quando os movimentos apresentam mesma origem, mas com destinos diferentes ou interceptantes que são movimentos que se cruzam em algum ponto da área de conflito, ainda que as origens e os destinos sejam diferentes. Tais situações são ilustradas na FIGURA 1.

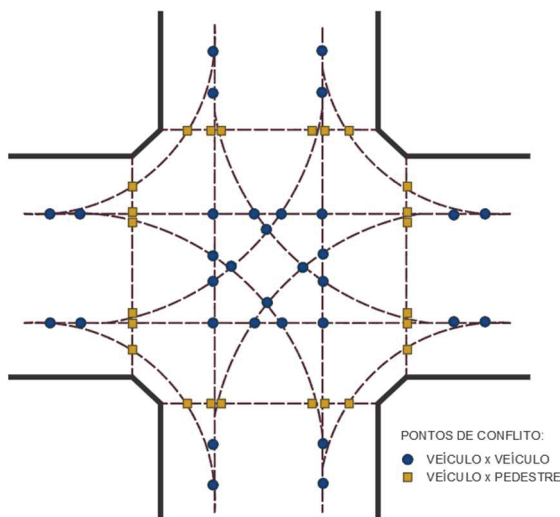
FIGURA 1 - MOVIMENTOS CONVERGENTES (A), DIVERGENTES (B) E INTERCEPTANTES (C)



FONTE: Adaptado de CONTRAN (2014)

De acordo com Russell, Mandavilli e Rys (2005), em interseções onde há o encontro de duas vias de mão dupla apresentam 32 pontos de conflito entre veículos (pontos azuis) e 24 pontos de conflito entre pedestres e veículos (pontos amarelos) em função dos diversos movimentos possíveis, conforme ilustrado na FIGURA 2, o que potencializa o risco de eventos adversos.

FIGURA 2 - PONTOS DE CONFLITO EM INTERSEÇÃO DE QUATRO RAMOS



FONTE: Adaptado de Russell et al. (2005)

Observando a questão de cruzamentos viários, onde se estabelece a grande parte dos conflitos entre pedestres e veículos, o movimento de conversão à esquerda se mostra mais complexo que a conversão à direita ou a simples passagem direta,

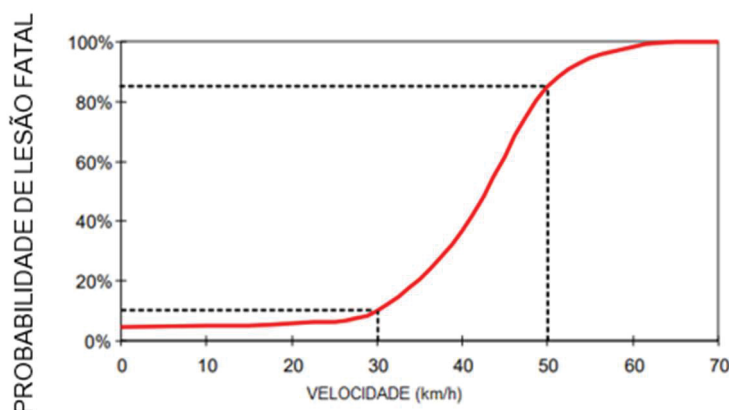
uma vez que os condutores tendem a gerenciar um número maior de movimentos de outros veículos, tendendo a não perceber eventuais pedestres que estejam fora do campo de visão mais próximo. Em um cruzamento com faixa de travessia de pedestres e ausência de sinalização semafórica a preferência é do pedestre Brasil (1997). Porém, por vezes, os usuários dos veículos começam seus movimentos de conversão enquanto os pedestres ainda estão atravessando, o que contribui para a falta de segurança nessas áreas de interação (LORD *et al.*, 1998).

2.1.2 Velocidade como fator de risco

Sob velocidades elevadas, aumenta-se a distância percorrida pelo conjunto condutor/veículo durante o tempo de reação, aumentando consequentemente, a distância de parada do conjunto. Além disso, em altas velocidades, o tempo disponível para processar e julgar as melhores ações a serem tomadas fica comprometido, de modo que a probabilidade de erros aumenta, assim como seus efeitos são ampliados. No que tange especificamente aos pedestres, quanto maior a velocidade, maior a quantidade de energia cinética transferida no impacto, de onde resultam maiores probabilidades de lesões graves (OECD, 2006 e OPAS, 2012, 2013).

Nesse sentido, quando se considera o envolvimento de pedestres, a gravidade do sinistro aumenta de forma significativa de acordo com a velocidade do veículo, notadamente a partir dos 30 km/h. Em sinistros que ocorrem no patamar de 50 km/h, o risco de morte do pedestre é mais de 80%, já a cerca de 65 km/h, o risco sobe para muito próximo de 100%, conforme ilustrado na FIGURA 3 (ASHTON, 1980; OECD, 2006; RICHARDS, 2010).

FIGURA 3 - PROBABILIDADE DE LESÃO FATAL DE PEDESTRES EM UM ATROPELAMENTO EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DO VEÍCULO

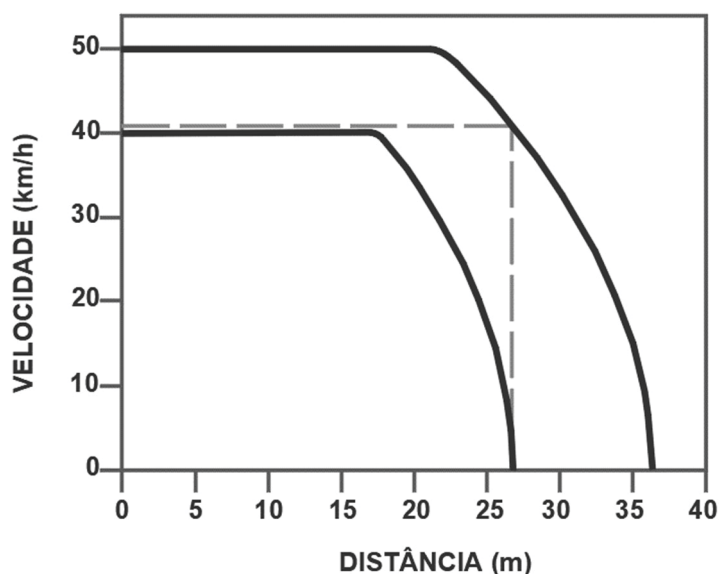


FONTE: OECD (2006)

Em suas pesquisas, Rosén e Sander (2009) destacaram também que um pedestre atingido a 50 km/h tem duas vezes mais chances de sofrer um sinistro fatal que quando atingido por um veículo a 40 km/h e cinco vezes mais que quando atingido a 30 km/h. Quando são observadas as colisões transversais entre dois automóveis (na condição de utilização de cinto de segurança por parte dos condutores), uma variação de velocidade de cerca de 40 km/h representa até 50% de risco de morte (RICHARDS, 2010).

A velocidade praticada impacta diretamente na distância de frenagem. Conforme elencado em OPAS (2013), levando em consideração os tempos de percepção e reação do condutor frente a um evento de risco de atropelamento, na mesma distância percorrida por um veículo que trafega a 40 km/h até a sua parada, um veículo que esteja a 50 km/h tem sua velocidade reduzida para apenas 41 km/h, conforme ilustrado na FIGURA 4.

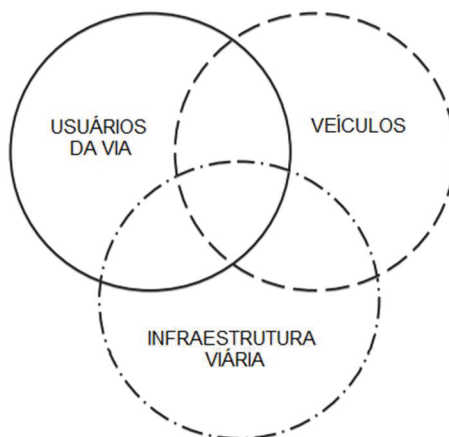
FIGURA 4 - VELOCIDADE E DISTÂNCIA DE FRENAGEM



FONTE: Adaptado de OPAS (2013)

Os principais aspectos determinantes para a escolha da velocidade incluem fatores relacionados ao condutor (tais como idade e consumo de álcool, por exemplo), à via (traçado, tipo de revestimento e presença de dispositivos de controle, por exemplo) e ao veículo (potência e nível de manutenção, por exemplo), além dos relacionados ao ambiente e trânsito, tais como condições climáticas e densidade do tráfego OPAS (2013). Nesse sentido, Mohan (2016) trouxe que a gestão da segurança viária é um processo em que se considera a infraestrutura viária, os usuários e os veículos como componentes integrantes de um complexo sistema interativo, conforme ilustrado na FIGURA 5. Cada parte do sistema interage entre si produzindo resultados inesperados.

FIGURA 5 - A GESTÃO DA SEGURANÇA VIÁRIA COMO UM SISTEMA COMPLEXO



FONTE: Adaptado de Mohan (2016)

Considerando essa perspectiva, a abordagem de sistemas seguros, apresentada por Shinar (2019) leva em conta esses aspectos e suas inter-relações. A concepção do projeto viário deve reconhecer que as falhas humanas são passíveis de ocorrer e, quando ocorrerem, que suas consequências sejam minimizadas. Seu princípio unificador é que a segurança só pode ser melhorada se todos os componentes do sistema de tráfego forem considerados simultaneamente.

Nesse sentido, conhecer a velocidade operacional de um trecho de via é de grande importância para um maior entendimento das intervenções efetivas.

2.1.3 Velocidade Operacional

Como um dos parâmetros que norteiam a concepção de um sistema viário, a velocidade de projeto impacta diretamente em suas características técnico-operacionais. É esperado que essa velocidade seja compatível com a velocidade que se deseja que os condutores trafeguem, levando em consideração o uso do solo no entorno e a classificação funcional da via. Porém, os condutores adotarão uma velocidade de acordo com o seu próprio julgamento do que parece ser mais razoável: velocidades baixas tendem a ser praticadas onde a percepção de limitações físicas e de tráfego se façam presentes ou onde os riscos associados sejam mais evidentes. Dessa forma, os limites estabelecidos tendem a ser respeitados quando forem considerados razoáveis (AASHTO, 2018 e DNIT, 2010a).

Mohan (2016) traz que a abordagem de velocidade deve seguir o contexto da via. Onde houver uma presença significativa de pedestres e ciclistas, os veículos

motorizados não devem exceder a velocidade de 30 km/h. Onde a presença desses usuários for prevista, porém em menor frequência, as velocidades podem ser limitadas a 50 km/h. Velocidades acima desse patamar só podem ser permitidas onde a interação entre pedestres e veículos motorizados são improváveis e existem poucos cruzamentos viários. Como procedimento de fiscalização do cumprimento das velocidades estabelecidas, pode ser citada a fiscalização eletrônica. A Resolução Nº 798, de 2 de setembro de 2020, do CONTRAN, dispõe sobre requisitos para a fiscalização da velocidade de veículos automotores. De acordo com a resolução, os medidores de velocidade, que podem ser fixos ou portáteis, devem ser utilizados para fiscalizar os limites máximos de velocidade ou sua redução em pontos específicos da via.

Wilson *et al.* (2010), em uma extensa revisão de literatura a respeito do tema, apontaram que dispositivos eletrônicos de fiscalização e controle de velocidade são intervenções eficientes para reduzir sinistros de trânsito e mortes tanto em ambientes rurais quanto em cenários urbanos. Em estudo conduzido em Belo Horizonte, Oliveira *et al.* (2015) partiram dessa premissa ao comparar velocidades médias de veículos em localidades com e sem radares. Os pesquisadores concluíram que nos pontos dos radares foram observadas menores velocidades médias quando comparadas com localidades 200 m após tais dispositivos. Nesse mesmo sentido, Amancio (2021), em estudo naturalístico conduzido na cidade de Curitiba, encontrou comportamento semelhante, de redução de velocidade com posterior incremento (efeito de compensação).

Em complemento às medidas de fiscalização, reduzir as velocidades praticadas pelos condutores em contexto urbano envolve diversas abordagens, como as técnicas de moderação de tráfego (*Traffic Calming*).

2.1.4 Gestão da velocidade por meio de medidas de Moderação de Tráfego

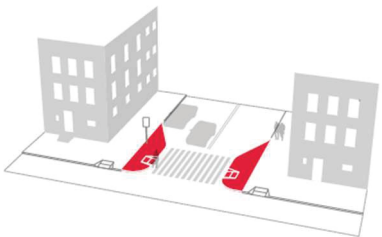
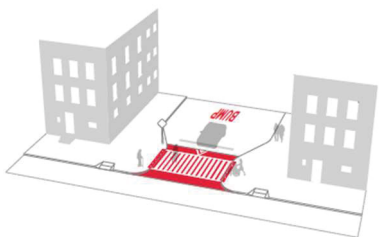
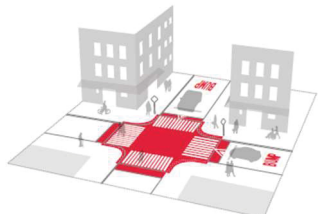
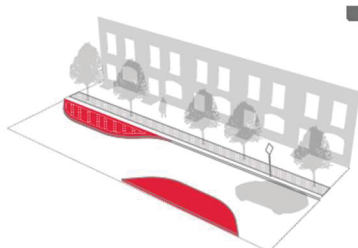
Em determinadas localidades, especialmente em meio urbano, onde haja maior concentração de pedestres e que se pretenda que as velocidades dos veículos fiquem fixadas em patamares mais baixos, pode-se fazer valer do uso de técnicas de moderação de tráfego ou *Traffic Calming*. Conforme aponta o Manual de Medidas Moderadoras de Tráfego publicado pela Empresa de Transportes e Trânsito de Belo Horizonte, BHTRANS, as medidas de moderação de tráfego tiveram suas origens na Alemanha e na Holanda, ainda na década de 1960. Em um sentido mais amplo, pode

ser concebido como uma política de transportes que engloba incentivos ao tráfego de pedestres, ciclistas além de transporte coletivo. Em um sentido restrito pode ser visto como um conjunto de políticas com vistas à redução da velocidade de veículos em áreas eminentemente urbanas (BHTRANS, 1999)

Para Alves e Ferreira (2014), as medidas de moderação de tráfego podem ser contextualizadas sob dois aspectos. O primeiro engloba as ações físicas diretas nas vias e o segundo envolve uma reformulação conceitual do sistema viário onde modos de deslocamento não motorizados e transporte coletivo receberiam prioridade em relação a modos de deslocamento motorizados individuais. As técnicas de moderação de tráfego em confluência com medidas de planejamento urbano, podem contribuir para uma circulação mais segura em meio urbano.

Como ilustração, o Manual de Desenho de Ruas da cidade de Nova Iorque sugeriu situações de dispositivos de *traffic calming* que podem ser implantados em interseções, sendo eles o estreitamento de via, a travessia elevada, o cruzamento elevado, as chicanas e mini rotatórias (NYC, 2020). Tais situações são brevemente descritas e ilustradas no QUADRO 2 a seguir.

QUADRO 2 - SOLUÇÕES DE *TRAFFIC CALMING* EM CONTEXTO DE CRUZAMENTOS URBANOS

Descrição	Exemplo
Estreitamento de via: aumenta a visibilidade e provê aos pedestres prioridade de movimento reduzindo o tempo de travessia.	
Travessia elevada: melhora a acessibilidade de pessoas com deficiência motora e incentiva os condutores a dar a preferência a pedestres realizarem a travessia.	
Cruzamento Elevado: encoraja a redução de velocidade de automóveis e transforma o cruzamento em uma região orientada a pedestres.	
Chicanas: impõe a necessidade dos veículos se deslocarem mais devagar e com mais cuidado ao realizar as manobras ao longo da via.	
Minirrotatórias: reduz a velocidade do tráfego que segue adiante, forçando-o a contornar a mini rotatória. Pode receber um canteiro com grama e arbustos.	

FONTE: Adaptado de *New York City Department of Transportation* (2020).

A velocidade com que os veículos trafegam em vias urbanas tem sido objeto de pesquisa contínua. A seguir são apresentadas algumas dessas abordagens mais relevantes para o contexto do presente trabalho.

2.1.5 Velocidade Operacional em Cruzamentos Urbanos

Poe e Mason (2000) obtiveram equações que resultam nas velocidades desenvolvidas pelos condutores antes das curvas, nas curvas e depois delas, além de um ponto na tangente anterior à curva estudada e posicionada a aproximadamente 45 metros. As variáveis estudadas foram:

- Raio da curva;
- Variação do greide;
- Distância de visibilidade;
- Largura da via;
- Presença de estacionamento;
- Presença de objetos ao longo da via (distantes até 1,5m do bordo);
- Presença de calçadas;
- Uso do solo (residencial, comercial ou industrial);
- Velocidade limite;
- Sinalização vertical e horizontal.

Dessas, as variáveis independentes que foram incluídas na equação foram o ângulo de deflexão da curva, o greide, a largura da faixa e uma variável que leva em conta a presença de objetos ao longo da via, como placas ou postes, além de calçadas, acessos e equipamentos urbanos. Abaixo é apresentada a equação para a velocidade (85º percentil) na curva.

$$V_{85} = 48,82 - 0,14DC - 0,75G - 0,12W - 0,12HR \quad (1)$$

Em que:

V_{85} = velocidade (85º percentil) em km/h no meio da curva,

DC = deflexão da curva (em graus),

G = greide da via (%),

W = largura da faixa (m), e

HR = índice de perigo (variando de 0 a 4, a depender dos objetos ao longo da via).

Tarris, Mason e Antonucci (2000) apresentaram elementos para estudar a geometria de vias urbanas de baixa velocidade. Foram estudados tanto trechos em tangente quanto segmentos em curva. Os elementos considerados para as curvas foram o raio da curva, declividade transversal, comprimento da curva e velocidade de projeto.

Para Fitzpatrick *et al.* (2001), a velocidade limite da via foi o item de maior impacto na escolha da velocidade praticada tanto em segmentos de curva horizontal quanto trechos em tangente. No caso das curvas horizontais, outros itens que impactaram na velocidade veicular foram o ângulo de deflexão e a densidade de acessos à via. Retirando o limite de velocidade da análise, a presença de canteiros e a característica da ocupação do solo no entorno da via foram os aspectos mais influentes na velocidade praticada nas curvas horizontais, entre diversos itens observados.

Conforme Wang (2006), o ambiente urbano é mais complexo que o rodoviário e está sujeito a mais interferências, dada a natureza diversa dos usuários da via e dos dispositivos/equipamentos nela presentes. O autor ponderou que apenas a curvatura horizontal de uma via não é capaz de influenciar a velocidade operacional, como pode ser encontrado em modelos de velocidade voltados para estradas rurais. Na condução de sua pesquisa sobre curvas horizontais em áreas urbanas, os resultados obtidos para o 85º percentil de velocidade, foram considerados os seguintes aspectos:

- limite de velocidade;
- número de faixas;
- largura das faixas;
- entrada de automóveis;
- presença de canteiros;
- direção (se a curva é à esquerda ou à direita);
- acostamentos;
- presença de estacionamento na via;
- presença de calçadas.

Desses, o aspecto que mais influenciou a velocidade dos condutores foi o número de faixas, seguido de presença de calçadas e presença de estacionamentos na via.

Obaidat e Mohammad (2012) levaram em consideração a velocidade de entrada na curva, o ângulo de deflexão, o limite de velocidade da via, além do greide vertical existente, sendo a variável mais significativa a velocidade de entrada. Além disso, suas análises mostraram que o ponto mais importante para a mudança no padrão de velocidade é o ponto de início da curva (PC). Sob esse aspecto, Wang (2006) observou que estudos anteriores assumiam que a maior velocidade de um veículo se daria no ponto médio da tangente anterior à curva e que a menor velocidade estaria localizada no meio da curva horizontal, razão para esses pontos serem escolhidos para estudar a velocidade dos veículos.

Em vias urbanas com velocidades de até 30 km/h, Dinh e Kubota (2013) avaliaram elementos de trechos em tangentes que influenciavam a velocidade em interseções. O modelo para o 85º percentil de velocidade indicou que os elementos mais significativos em tangente foram o número de faixas, comprimento do corredor, presença de calçada, densidade de objetos ao longo da via e largura da via. De acordo com os pesquisadores, a velocidade em interseções é diretamente influenciada pela velocidade média da tangente que a precede.

Eluru *et al.* (2013) se fizeram valer de dados coletados através de sensores instalados na cidade de Montreal, por ocasião de um estudo de validação de esforços visando a redução de velocidade em contexto urbano. A proposta dos autores, ao utilizar essa base de dados, foi desenvolver um modelo matemático de velocidade para vias arteriais e locais que levou em consideração como variáveis o número de faixas, presença de estacionamento, número de sentidos, presença de calçadas, rotas de bicicletas, condição do pavimento, greide vertical, e horário do dia, sendo o número de faixas o item de maior impacto.

Fitzpatrick, Pratt e Avelar (2021) ao abordarem a velocidade em interseções semaforizadas, levaram em conta raio da esquina, espaço para o veículo da frente, tipo de veículo (carro ou caminhão), a manobra do veículo à frente (se de conversão ou seguindo reto), além do status do semáforo (operando em verde ou amarelo).

Em resumo, cada pesquisador se deparou com diferentes variáveis para relacionar com a velocidade escolhida pelos condutores, sendo alguns deles mais relevantes que outros, conforme elencado no QUADRO 3. Em cada um dos casos

discutidos foram utilizados diferentes procedimentos de obtenção dos dados de velocidade operacional, conforme abordado na sequência.

QUADRO 3 - RESUMO DOS ESTUDOS DE VELOCIDADE EM CURVAS HORIZONTAIS EM ÁREAS URBANAS

Autoria	Aspectos considerados	Aspectos mais relevantes
Poe e Mason (2000) *	Raio da curva; Variação do greide; Distância de visibilidade; Largura da faixa; Presença de estacionamento; Presença de objetos ao longo da via (distantes até 1,5m do bordo); Presença de calçadas; Uso do solo (residencial, comercial ou industrial); Velocidade limite; Sinalização vertical e horizontal.	Ângulo de deflexão; Variação do greide; Largura da faixa; Densidade de objetos ao longo da via.
Tarris <i>et al</i> (2000) *	Raio da curva; Declividade transversal; Comprimento da curva; Velocidade de projeto.	Raio da curva; Declividade transversal; Comprimento da curva; Velocidade de projeto.
Fitzpatrick <i>et al</i> (2001) *	Raio da curva; Comprimento da curva; Ângulo de deflexão; Controle semafórico; Largura da via; Superelevação; Presença e tipo de canteiros; Presença de estacionamento; Uso e ocupação do solo; Densidade de acessos; Presença de pedestres; Velocidade limite da via; Sinalização horizontal; Sinalização vertical.	Velocidade limite da via; Ângulo de deflexão; Densidade de acessos à via.
Wang (2006) **	Limite de velocidade; Número de faixas; Largura das faixas; Entrada de automóveis; Presença de canteiros; Direção (se a curva é à esquerda ou à direita); Acostamentos; Presença de estacionamento na via; Presença de calçadas.	Número de faixas; Presença de calçadas; Presença de estacionamento na via.
Obaidat e Mohammad (2012) *	Velocidade de entrada; Ângulo de deflexão; Limite de velocidade da via; Greide vertical existente.	Velocidade de entrada.
Dihn e Kubota (2013) *	Número de faixas; Comprimento do corredor; Presença de calçadas; Densidade de objetos ao longo da via;	Número de faixas; Comprimento do corredor; Presença de calçadas; Densidade de objetos ao longo da via;

	Largura da via; Largura da faixa de segurança; Largura da rua transversal; Tipo de interseção; Distância do início até o centro da interseção.	Largura da via.
Eluru <i>et al</i> (2013) *	Número de faixas; Presença de estacionamento; Número de sentidos Presença de calçadas; Rotas de bicicletas; Condição do pavimento; Greide vertical; Horário do dia.	Número de faixas.
Fitzpatrick <i>et al</i> (2021) **	Raio da esquina; Espaço para o veículo da frente; Tipo de veículo; Veículo à frente convertendo ou seguindo reto; Semáforo operando no verde ou amarelo.	Raio da esquina; Veículo à frente convertendo ou seguindo reto; Semáforo operando no verde ou amarelo.

*Estudo ocorrido em segmento de via

**Estudo ocorrido em interseções

(Conclusão)

FONTE: O autor (2022).

2.2 AQUISIÇÃO DE DADOS DE VELOCIDADE

As pesquisas sobre velocidade operacional em vias adotaram procedimentos variados para coleta de dados de velocidade, utilizando desde questionários, contadores físicos dispostos transversalmente na via, dispositivos GPS no interior dos veículos, ou mais recentemente, um conjunto de drones cobrindo uma grande área com filmagens em alta definição. Na sequência, alguns desses métodos são discutidos.

Os estudos com aplicação de questionários ajudam a identificar padrões de comportamento, como visto em Velloso (2014) e Jacques; Velloso e Torres (2018). Em sua pesquisa, Jacques; Velloso e Torres (2018) fizeram uso de questionários para traçar um perfil de condução dos participantes e de suas crenças salientes. Uma das conclusões é de que as pessoas tendem a obedecer mais aos limites de velocidade quando as vias são fiscalizadas por dispositivos eletrônicos ao entenderem que a velocidade regulamentar indicada em sinalização por vezes é inferior ao que elas julgam apropriada, seja por questões de segurança pública ou pouco tráfego.

Hassan *et al.* (2017) compararam dados de registros de sinistros de trânsito com uma pesquisa de questionário aplicada a condutores de Abu Dabhi. De forma similar a Velloso (2014) e Jacques; Velloso e Torres (2018), os resultados indicaram que baixos valores de velocidade limite sem qualquer tipo de fiscalização são o

principal motivo para condutores excederem o limite de velocidade nas vias pesquisadas.

Deng *et al.* (2019) também aplicaram questionários a um grupo de condutores cujas respostas os classificaram como condutores moderados ou agressivos. Os dois grupos foram testados em situações reais de trânsito em um percurso pré-determinado sendo que os pesquisadores encontraram correlações entre cada grupo e suas características de condução. Há de se considerar, no entanto, que os estudos utilizando questionários, apesar de práticos para aplicação, estão sujeitos a imprecisões associadas aos vieses da memória do respondente e da desejabilidade social (OVIEDO-TRESPALACIOS *et al.*, 2019).

Estudos de velocidade operacional utilizando simuladores de direção também foram encontrados na literatura (DE CAMPOS *et al.*, 2020; WANG e WANG, 2018). Os simuladores de direção podem influenciar o comportamento do condutor, tendo em vista que a reprodução do ambiente/contexto de condução tende a não ser plenamente fiel à realidade (SANTOS *et al.*, 2017). Por outro lado, os simuladores permitem controle e padronização do experimento por parte do pesquisador, dado que todos os condutores estão expostos às mesmas situações e o registro de informações para análises estatísticas é abundante (KAPTEIN *et al.*, 1996).

Na pesquisa conduzida por Poe e Mason (2000), assim como em Tarris; Mason e Antonucci (2000), para medir a velocidade dos veículos, foram instalados detectores pneumáticos dispostos transversalmente na pista para a contagem de veículos e registro de suas velocidades automaticamente. Os pontos escolhidos para coleta de dados foram um ponto distante 45 metros antes da curva, o ponto de curva (PC), um ponto referente à metade do desenvolvimento da curva, outro na saída da curva (Ponto de Tangente - PT) e outro distante também 45 metros depois de terminada a curva. Adicionalmente um sexto ponto de controle foi posicionado em local da tangente anterior à curva considerado suficientemente longe de forma que não exercesse influência na curva em sua coleta.

Radares móveis conectados a laptops foram usados por Fitzpatrick *et al.* (2001) para coleta dos dados de velocidade dos veículos. O perfil de velocidade registrado foi complementado com medições em campo de parâmetros da pista e arredores. Os pesquisadores ficavam em locais estrategicamente escolhidos de forma a não se fazerem visíveis para minimizar a interferência na velocidade dos veículos. Os dados foram coletados fora de horário de pico e durante o dia.

Outra forma de se adquirir dados de velocidade e localização é a instalação de receptores de sinal *GPS* nos veículos que farão parte do estudo. Nesse sentido pode-se citar o estudo de Wang *et al.* (2006) que fez uso de um sistema de *GPS* instalados nos táxis da cidade de Nagoya, Japão, Wang (2006) que utilizou dados de veículos equipados com esses dispositivos na cidade de Atlanta, Estados Unidos, Obaidat e Mohammad (2012), na cidade de Irbrid, Jordânia, além de Velloso (2014) na cidade de Brasília.

Segundo Wang (2006), a utilização de dispositivos *GPS*, ou seja, utilizando uma medição contínua de velocidade, permitiu constatar o ponto de início da curva (Ponto de Curva - PC) como mais significativo na alteração de velocidade, o que não era possível identificar em outras pesquisas que se utilizaram de medições pontuais. Nessa metodologia, normalmente não há uso de câmeras para registro das informações.

Para a coleta de dados espaciais, tanto de velocidade quanto de deslocamento, também é possível a utilização de câmeras devidamente posicionadas em alturas e ângulos adequados, conforme visto em Abdeljaber, Younis e Alhajyaseen (2020), ou drones como encontrado em Barmounakis e Geroliminis (2020), para registro dos vídeos e posterior processamento. Nesses casos, a análise das filmagens se dá em ambiente de visão computacional em que um *software* identifica os veículos, rastreia seus trajetos e retorna informações de contagens classificatórias e velocidade de cada veículo (KOYAMA; HASEGAWA, 2002 e CUNHA, 2013) Cunha (2013 e Koyama; Hasegawa (2002). Os pontos positivos dessas abordagens são a opção de escolher localidades específicas da cidade as quais sejam de interesse de estudo e nela gerar uma quantidade de informações suficientemente grande para se possa proceder às análises. Contudo, esses métodos não permitem a detecção de outros parâmetros que não sejam os externos aos veículos nos pontos em que está sendo feita a coleta de dados.

Abordagens mistas também são encontradas, conforme visto em Velloso (2014) que fez uso de questionários para filtrar os perfis de condutores que, em uma segunda etapa, teriam suas velocidades registradas a partir de dispositivo *GPS* no interior dos seus veículos em percursos previamente definidos na cidade de Brasília – DF, onde a pesquisadora acompanhava o condutor do veículo durante o trajeto. Em contraponto ao uso de simuladores, a pesquisadora aponta que coletar dados

diretamente do sistema viário em operação, e não por meio do uso de um simulador, torna a experiência mais próxima da realidade.

A condução de um veículo é uma ação contínua e o mais apropriado para sua compreensão é a coleta e análise também contínua dos dados. O método naturalístico permite essa coleta de dados da viagem desde o início até o seu término e proporciona que se procedam análises das situações pretéritas aos eventos que se deseja estudar, embora apresente algumas limitações tais como consumo de grandes recursos financeiros, longo tempo de processamento e tratamento dos dados além de problemas de amostras pequenas (VAN NES *et al.*, 2019). Os estudos naturalísticos de direção serão mais detalhadamente discutidos na sequência. Abaixo são apresentados no QUADRO 4 os principais pontos positivos e negativos de cada método de obtenção de dados de velocidade veicular.

QUADRO 4 - PRINCIPAIS PONTOS POSITIVOS E NEGATIVOS EM DIFERENTES MÉTODOS DE MEDIÇÃO DE VELOCIDADE

Método	Aspectos Positivos	Aspectos Negativos
Aplicação de questionários	Baixo custo; Fáceis de aplicar.	Imprecisões por parte do respondente em função do viés de memória ou aceitabilidade social.
Simuladores de direção	Controle e padronização do experimento; Registro abundante para análises estatísticas.	Reprodução do ambiente de condução não é fiel à realidade.
Detectores de Velocidade (dispositivos físicos na pista ou radares)	Medição externa ao veículo de forma a não interferir no comportamento dos condutores; Registro abundante para análises estatísticas.	Não há coleta de dados que não sejam os externos específicos na localidade em estudo.
Dispositivos <i>GPS</i> no interior dos veículos	Medição contínua de velocidade.	Não há registro visual das informações.
Câmeras de filmagem em localidades fixas	Escolha de localidades específicas para estudo; Registro abundante para análises estatísticas.	Não há coleta de dados que não sejam os externos específicos na localidade em estudo.
Estudos Naturalísticos	Coleta de dados reais da atividade de condução do veículo; Possibilidade de identificação de elementos internos e externos ao veículo; Registro dos eventos anteriores ao que se pretende estudar, tais como comportamentais ou viários.	Grandes recursos financeiros envolvidos; Tempo longo para processamento dos dados; Tamanho de amostras pequenos; Eventual influência na condução habitual.

FONTE: O autor (2022)

2.3 ESTUDOS NATURALÍSTICOS DE DIREÇÃO

Os Estudos Naturalísticos de Direção, tradução do termo inglês *Naturalistic Driving Study* (NDS) baseiam-se no monitoramento da tarefa real de condução ao monitorar os ambientes interno e externo ao veículo além do próprio condutor por meio

de uma plataforma embarcada de coleta de dados sem qualquer tipo de interferência, orientação ou controle sobre o trajeto realizado (SCHAGEN, SAGBERG e MUSICANT, 2011), ou seja, podem ser classificados como estudos observacionais. As principais características dos estudos naturalísticos encontram-se listadas a seguir:

- Os condutores utilizam seus próprios veículos;
- As informações coletadas incluem dados do condutor, do veículo e do ambiente ao redor do veículo;
- A instrumentação é discreta de forma que os condutores deixem de prestar atenção nela;
- Os pesquisadores não interferem nos trajetos, que são de livre escolha dos condutores;
- As informações são coletadas de forma contínua durante a condução do veículo.

De acordo com van Nes *et al.* (2019), essa abordagem de pesquisa fornece um olhar aprofundado sobre o comportamento dos condutores e permite que pesquisadores observem e analisem as relações existentes entre condutor, veículo e o meio no qual estão inseridos. A variedade de situações que se pode capturar também é uma característica marcante dos NDS, inclusive com o registro de eventos que envolvem sinistros ou quase-sinistros, além do registro de outros conflitos, comportamentos de risco e condições de operação em qualquer tempo da viagem.

A primeira experiência nesse sentido foi um estudo conduzido nos EUA com 100 veículos monitorados ao longo de 12 meses, conforme descrito por Schagen, Sagberg e Musicant (2011). Esse estudo foi o precursor de um estudo naturalístico de maior escala conhecido como SHRP2 (acrônimo para *Strategic Highway Research Program 2*), que fez uso de cerca de três mil veículos equipados com um sistema de aquisição de dados projetado especificamente para o experimento Van Nes et al. (2019).

Van Nes *et al.* (2019) destacaram o potencial desses estudos para analisar diversos aspectos do comportamento dos condutores em situações reais de trânsito, sendo que esta vasta gama de informações pode ser crucial para o entendimento de questões chave na área da segurança viária. Iniciativas internacionais de aplicação de NDS incluem a União Europeia com o projeto UDRIVE Van Nes et al. (2019), os Estados Unidos com o projeto SHRP2 Perez et al. (2021), o Canadá como CANDRIVE

Marshall et al. (2013), a Austrália, cujo projeto denominado ANDS Young et al. (2020), o Japão Uchida et al. (2010), a China Zhu et al. (2018), além de outros como o iraniano Sheykhfard et al. (2021).

Os estudos naturalísticos de larga escala conduzidos na Austrália e no Canadá se utilizaram dos mesmos sistemas de aquisição de dados usados no SHRP2, porém com amostras de menor quantidade. Na Europa, apesar da amostra da pesquisa também ser menor que a norte-americana (400 veículos foram monitorados), o estudo do UDRIVE envolveu uma variedade maior de veículos (além de carros de passeio, motocicletas e caminhões também foram analisados) com um número maior de câmeras instaladas nos veículos (sete, contra quatro do estudo americano). Os objetivos do UDRIVE envolveram compreender melhor aspectos de segurança viária, como distração e desatenção, interação com ciclistas e pedestres e direção perigosa Van Nes et al. (2019).

Van Nes *et al.* (2019) chamam a atenção de que, em comparação com outros métodos, estudos naturalísticos de direção demandam grandes recursos financeiros e exigem um tempo mais longo de processamento dos dados. Junto a isso, existe o problema do tamanho da amostra. Com 400 veículos participantes, por exemplo, o UDRIVE registrou apenas sete eventos de colisão, o que é considerado baixo para qualquer análise estatística. Porém, de qualquer forma, gerou muitos dados de situações críticas passíveis de análise.

São da ordem de centenas as pesquisas decorrentes dessas bases de dados, demonstrando as inúmeras possibilidades que se abrem a partir do emprego da metodologia de estudos naturalísticos de direção. O excesso de velocidade, com base nos dados do SHRP2, por exemplo, foi analisado por Richard *et al.* (2020) utilizando dados de 100 viagens. Os autores constataram que dirigir a cerca de 16 km/h acima do limite de velocidade ocorreu ao menos uma vez com 99,8% dos condutores, com uma média de 2,75 eventos de excesso de velocidade por viagem.

Wu e Xu (2017) estudaram o movimento de conversão em interseções semaforizadas e Ahmed e Ghasemzadeh (2018) observaram as influências da chuva e tempo seco na velocidade dos condutores a partir dos dados do estudo naturalístico SHRP2

Dhahir e Hassan (2019) utilizaram essas mesmas bases provenientes do SHRP2 para avaliar o comportamento de condutores em termos de velocidade e aceleração em curvas horizontais em um contexto de rodovias arteriais de pista dupla.

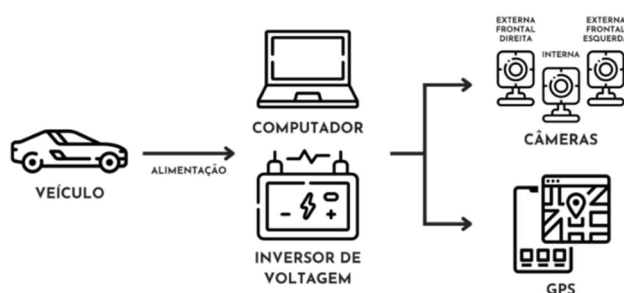
Os autores salientaram que, ao utilizar dados coletados de forma contínua, tinham em mãos dados mais significativos que estudos anteriores que focaram na coleta de dados em pontos específicos das curvas, pois esses pontos poderiam não representar necessariamente os valores máximos ou mínimos de velocidade dos condutores. Outro ponto levantado pelos autores diz respeito aos condutores não sofrerem influências de dispositivos instalados na rodovia para coleta de dados ou de pesquisadores junto a eles no veículo, uma vez que a longa duração dos testes retratou um comportamento considerado natural.

Estudos naturalísticos vêm sendo conduzidos não apenas em países de economias centrais, mas também em países em desenvolvimento. Sheykhfard *et al.* (2021) fizeram uso dessa abordagem no Irã para avaliar situações de conflito entre veículos e pedestres cruzando a via em faixas de segurança ou fora delas.

2.3.1 Estudos Brasileiros

Em 2019 teve início o primeiro estudo naturalístico realizado no Brasil (*Brazilian Naturalistic Driving Study / NDS-BR*), no qual foi utilizada uma plataforma de coleta de dados naturalísticos (PCDN) mais simples que aquelas utilizadas internacionalmente. A PCDN do estudo brasileiro é composta por um computador, três câmeras, um módulo *GPS-USB* e um inversor de voltagem (FIGURA 6). Em Borguezani *et al.* (2020), o processo de construção da plataforma de coleta de dados naturalísticos de baixo custo é detalhado em termos de hardware e *software* empregados. Na FIGURA 7 são mostradas as imagens coletadas pelas câmeras apontadas para o interior do veículo e para a via.

FIGURA 6 – PLATAFORMA DE COLETA DE DADOS NATURALÍSTICOS



FONTE: Borguezanni *et al* (2020).

FIGURA 7 - COLETAS DAS CÂMERAS NO INTERIOR DO VEÍCULO



FONTE: Borguezanni *et al* (2020).

Os resultados do primeiro Estudo Naturalístico de Direção (*NDS-BR*) vêm sendo publicados desde 2020. O fator de risco da velocidade foi estudado por Suguioshita *et al.* (2020) que realizaram uma análise da influência das características físicas e operacionais de vias arteriais urbanas na prática do excesso de velocidade. Foram analisadas variáveis relacionadas à via, a saber, permissão de estacionamento, existência de radar, existência de semáforo e número de faixas trafegáveis. Os resultados daquele estudo apontaram a presença de dispositivos de fiscalização eletrônica como elementos inibidores da prática de excesso de velocidade.

Amancio (2021) trata da influência de dispositivos de fiscalização eletrônica no comportamento dos condutores. Identificou-se um padrão de redução pontual da velocidade seguida de aumento para um patamar superior ao identificado antes do radar (efeito de compensação). Ainda que a redução de velocidade na passagem pelos dispositivos tenha sido pequena, as maiores reduções de velocidade foram verificadas em situações de declive (-5,83%), em viagens durante o dia (-2,01%), em dias úteis (-2,03%), tempo chuvoso (-1,78%) e por parte de condutores não profissionais (-1,86%). As passagens por radares em situações de aclave, por parte de condutores profissionais e em viagens aos finais de semana não apresentaram influência da presença do radar nas velocidades medidas.

Bastos *et al.* (2020) compararam eventos de uso de celular ao dirigir com resultados de pesquisas similares na Europa e Estados Unidos. As informações obtidas resultaram que a utilização do celular durou em média 28,51 segundos em 58,71% das viagens com uma frequência média de 8,37 interações por hora. Em geral, os condutores gastaram menos tempo em interações mais complexas e apresentam velocidade de condução mais baixas ao usar o telefone celular. Os condutores se envolveram em um número maior de uso de celular em comparação com os condutores da Holanda e Estados Unidos ao passo que a porcentagem de tempo de viagem usando telefone celular ficou em patamar intermediário entre aqueles observados em condutores norte americanos e europeus.

Ainda, em Bastos *et al.* (2021) foi avaliada a segurança viária comparando condutores em contexto de carona organizada por meio de aplicativo (*carpooling*) com condutores comuns. Os resultados mostraram que os condutores em situação de *carpooling* se envolveram em menos eventos de excesso de velocidade e uso de celular quando comparados a condutores que não praticavam *carpooling*.

Stoski (2021) usou os dados de vídeo do NDS-BR para conduzir um estudo observacional avaliando o comportamento do ciclista. O objetivo foi analisar o uso de infraestrutura e comportamentos de risco. O estudo identificou 523 episódios em que havia ciclistas trafegando no trânsito da cidade. A infraestrutura cicloviária adequada para ciclistas foi observada em apenas 23,7% dos episódios, nestes episódios 79,8% efetivamente a utilizavam. Observou-se maior predominância do sexo masculino na utilização do modal, 93,4% dos ciclistas identificados eram homens e apenas 6,6% eram mulheres. Em relação ao uso de equipamentos de segurança, constatou-se que 75,0% dos ciclistas não usavam capacete e 64,1% não usavam iluminação noturna. Nesse período, a proporção de uso de capacete foi 19,2% mais presente do que no período diurno, porém o desrespeito aos semáforos foi 24,2% maior do que no período diurno.

Kubo (2022) com a amostra completa de 32 condutores participantes, investigou indicadores de desempenho da segurança viária relacionados ao uso do telefone celular ao volante. O tipo de uso “verificar/navegar” representou 33,69% do tempo de uso (uso mais comum). Em média, condutores tenderam a utilizar o telefone celular com uma frequência de 8,71 usos/h e uma duração de 55,34 segundos por uso. O autor também analisou a adaptação da velocidade como forma de compensação de risco, em média, condutores reduziram a velocidade em 6,32km/h

durante o processo de início do uso do telefone celular, enquanto aumentaram a velocidade em 5,11km/h durante o processo de conclusão do uso do telefone celular. Quando classificados por tipo de uso, verificar/navegar foi o tipo de uso com maior adaptação de velocidade estatisticamente significativa, apresentando uma redução média de 7,39km/h ao iniciar o uso e um aumento médio de 3,55km/h ao finalizar o uso.

Andrade (2022) avaliou a implantação e a retirada de uma série de dispositivos de fiscalização eletrônica de velocidade em Curitiba de abril a junho de 2021, com ou sem alteração no limite regulamentar de velocidade, utilizando a base de dados naturalísticos do NDS-BR. Aplicando testes estatísticos, foi possível identificar que em vias com limites de velocidade regulamentar de 60 e 70 km/h com radares implementados houve redução na velocidade praticada. Em trechos com implementação de radares e redução no limite regulamentar de velocidade também se verificou que a velocidade de tráfego foi reduzida. Nas vias com radares retirados e limite de 60 km/h ou com redução do limite de velocidade não houve variação estatisticamente significativa na velocidade praticada.

A partir da base de dados naturalísticos do NDS-BR, caracterizada como *big data*, Shimoyama (2022) elaborou um painel de visualização utilizando a ferramenta *Power-BI*. O painel permitiu a elaboração de um conjunto de análises comparativas entre variáveis de análise (tais como idade e gênero do condutor, dia da semana, hierarquia viária, cidade, bairro, etc.) e variáveis resposta (indicadores de excesso de velocidade, uso do cinto de segurança e uso do telefone celular ao volante). A utilização do *Power BI* para a visualização dos dados do NDS-BR permitiu a identificação de uma série de situações críticas em termos de segurança viária, bem como a identificação de oportunidades para investigações mais aprofundadas em temáticas específicas, aumentando o potencial de aproveitamento dos dados naturalísticos e sua possibilidade de aplicação como um subsídio adicional para a gestão da segurança viária no nível municipal.

2.4 ASPECTOS OBSERVÁVEIS NO NDS-BR

Na presente seção são abordados com base na literatura os aspectos passíveis de observação no *NDS-BR*, os quais acabam por delimitar o escopo de análises. Cabe destacar, entretanto, que a discussão acerca de cada aspecto não necessariamente se baseia em algum estudo naturalístico, tendo em vista que nem todos os aspectos

foram previamente estudados neste contexto. Os aspectos observáveis no *NDS-BR* e que permitem a realização de comparações com foco no comportamento de velocidade praticada em curvas horizontais são:

- a) Características geométricas;
- b) Presença de deflexões verticais;
- c) Condição climática (chuva *versus* tempo bom);
- d) Período do dia (dia *versus* noite);
- e) Presença de Pedestres;
- f) Controle de Preferencial;
- g) Situações de aclave ou declive;
- h) Velocidade de entrada no cruzamento.

2.4.1 Características Geométricas

Em projetos viários, a velocidade de projeto é o parâmetro mais importante para o desenho de curvas determinando o valor dos raios que serão escolhidos para acomodar a passagem de veículos. Velocidades elevadas demandam maior espaço para manobras de conversão, exigindo raios maiores (DNER, 1999). Em se tratando de vias urbanas, os manuais de projetos vinculados a órgãos reguladores do poder público estruturam suas diretrizes ao estipular uma relação entre velocidade da via e os raios adotados nas esquinas dos cruzamentos. No manual do Instituto para Transportes Urbanos da Índia (IUT) é indicado que vias de tráfego lento de acesso local devem ter velocidades restritas a 15 km/h com 5 metros de raio nas esquinas (TRIPP, 2012)

O Manual de Desenho Viário do Departamento de Transportes da Cidade de Nova Iorque atribui diretrizes para promover uma relação mais segura de tráfego veicular e trânsito pedonal a partir de um desenho viário que incentive deslocamentos a pé e trajetos mais curtos para pedestres. De acordo com o manual, as esquinas devem ser pensadas com o menor raio possível que acomode o veículo de projeto além de veículos de emergência (NYC, 2020). Por sua vez, o Manual de Desenho Urbano e Obras Viárias do município de São Paulo indica que conforme aumenta-se o raio da curva, observam-se maiores velocidades praticadas por condutores em seus movimentos de conversão, de forma que as dimensões dos raios influenciam diretamente as velocidades observadas (FRANÇA; MAZIERO; MELHEM, 2020)

Convém pontuar, no entanto, que mesmo considerando a priorização de pedestres, raios muito pequenos podem inviabilizar que veículos de grande porte efetuem movimentos de conversão, tais como ônibus ou veículos de emergência. De acordo com Fitzpatrick e Schneider (2005), raios entre 4,5m e 7,5m acomodam de forma satisfatória veículos de passeio, já caminhões ou ônibus necessitam de raios maiores, entre 12m e 15m.

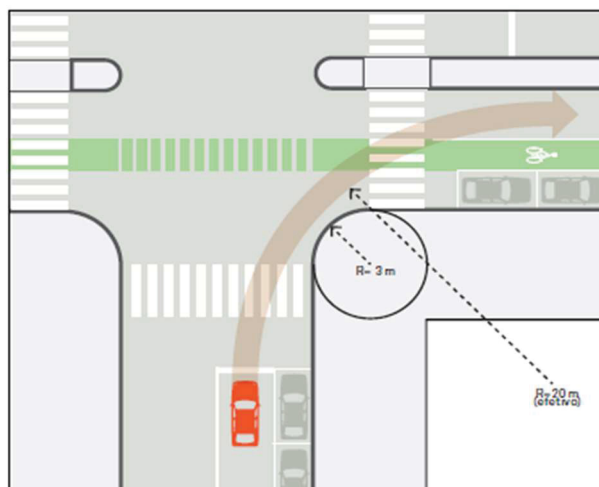
Na pesquisa conduzida por Fitzpatrick *et al.* (2001), o ângulo de deflexão da curva foi identificado como um dos itens mais importantes para a escolha da velocidade em curvas horizontais urbanas juntamente com o raio da curvatura.

Wang (2006), a partir de dados de dispositivos *GPS* instalados em veículos, analisou a velocidade desenvolvida em curvas e corredores em tangente com avaliações de velocidades operacionais e padrões de aceleração e desaceleração na cidade de Atlanta, Estados Unidos. Os dados coletados registravam segundo a segundo a localização espacial e velocidade instantânea dos veículos. No desenvolvimento do seu modelo matemático para velocidades em curvas, Wang (2006) aponta que a direção da curva teve uma influência significativa, sendo que os condutores tinham a tendência de desenvolver maiores velocidade em curvas à esquerda, o que pode ser explicado devido à maior distância de visibilidade que quando comparadas com curvas à direita.

Obaidat e Mohammad (2012) tinham como objetivo medir e analisar as velocidades operacionais no trânsito e os atrasos nos deslocamentos em vias urbanas arteriais na cidade de Irbid, na Jordânia. Para isso, os autores desenvolveram modelos matemáticos para velocidades operacionais em tangente e em curvas horizontais. No caso das curvas horizontais, uma das variáveis avaliadas foi o ângulo de deflexão das curvas, indicando que os condutores tendem a desenvolver maiores velocidades em curvas que apresentem baixos valores de curvatura (em graus), de modo a manter velocidade mais próximas da velocidade operacional das tangentes que as precedem.

Para além da deflexão, cabe ressaltar que, em interseções, o raio de giro, coincidente ao raio do meio-fio, difere do raio efetivo da curva efetuada pelo condutor em sua manobra de conversão, conforme ilustrado na FIGURA 8 (AASHTO, 2018; NACTO, 2018).

FIGURA 8 - RAO DE GIRO E RAO EFETIVO DA CURVA

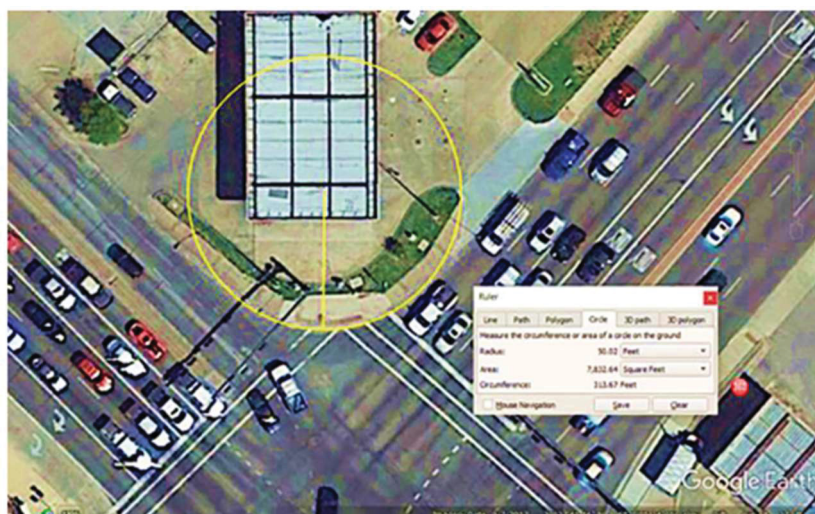


FONTE: Adaptado de NACTO (2018).

Abdeljaber *et al.* (2020) ao estudarem o movimento de conversão de veículos em interseções semaforizadas, relacionaram o raio de giro dos veículos em com elementos viários e velocidades de entrada no movimento de conversão. A pesquisa indicou que o caminho que o veículo percorre durante o movimento de conversão tem relação com a velocidade de chegada no cruzamento, além da velocidade praticada na conversão e da distância lateral entre a faixa de destino e o meio-fio existente.

A influência do valor do raio de giro nas esquinas foi estudada por Fitzpatrick, Pratt e Avelar (2021), como uma das variáveis no estudo de velocidade em interseções conduzido em algumas cidades do estado do Texas, Estados Unidos. Os raios comparados no estudo variaram de 4,5 m a 21,0 m, sendo a variação da velocidade, nesse intervalo, de 6,5 km/h. Nesse estudo verificou-se que quanto maior o raio, maior a velocidade de conversão. Os autores utilizaram ferramenta de medição disponível no *software Google Earth®* para estimar o raio de giro nas esquinas dos diferentes cruzamentos analisados, sendo o procedimento ilustrado na FIGURA 9.

FIGURA 9 - EXEMPLO DE MEDIÇÃO DE RAIOS UTILIZANDO FERRAMENTA DISPONÍVEL NO SOFTWARE GOOGLE EARTH®



FONTE: Fitzpatrick *et al* (2021).

2.4.2 Deflexões Verticais

Deflexões verticais são comumente encontradas em vias urbanas onde se pretende reduzir pontualmente as velocidades dos veículos. As lombadas e travessias elevadas fazem parte do conjunto de técnicas de moderação de tráfego (*traffic calming*), embora quando aplicadas isoladamente não configurem tal estratégia (ALVES e FERREIRA, 2014).

Antić *et al.* (2013), conduziram um estudo na cidade de Belgrado, Sérvia, comparando situações antes e após a implantação de lombadas em que ficou constatada a diminuição de velocidade após a sua implantação, com essa variação sendo dependente da altura dos dispositivos. Em estudo sobre a efetividade de lombadas na Coreia do Sul, Yeo *et al.* (2020) concluíram que após a passagem pelo dispositivo, em que a redução de velocidade foi em média igual a 18,4% em vias locais e 24% para em vias principais, os condutores aceleram para restabelecer a velocidade anterior em uma distância de até 30 metros.

Pau e Angius (2001) chegaram à conclusão de que a mudança de comportamento dos condutores devido à presença da lombada é restrita a curtas distâncias (algo entre 20 e 30 metros). Além disso, os autores destacam que o propósito de redução de velocidade seria mais bem atendido quando tais medidas são acompanhadas da implantação de outras técnicas de moderação de tráfego, produzindo um efeito mais abrangente em conjunto.

2.4.3 Tempo Chuvoso

De acordo com DNIT (2010a) em situações de ocorrência de chuva aumentam-se os riscos de sinistros por problemas que envolvem baixa visibilidade e falta de atrito entre os pneus do veículo e o pavimento. Nesse sentido, o manual norte-americano *Highway Capacity Manual* (TRB, 2000) sugere que as velocidades em fluxo livre em rodovias são reduzidas entre 7 e 13 km/h em situações de chuva leve e 20,00 km/h sob chuva forte.

Em estudo envolvendo as condições climáticas, Ahmed e Ghasemzadeh (2018) compararam situações de tempo seco e com chuva nos Estados Unidos com uso dos dados do *SHRP2* e encontraram diferenças significativas entre o comportamento de condutores nessas duas situações. Os autores apontam que a probabilidade de redução de velocidade para mais de 5 km/h abaixo do limite da via é de 23% para situações de chuva leve e de 29% para chuva pesada.

Wang *et al.* (2006) analisaram o comportamento dos veículos em situações de chuva com receptores *GPS* instalados em táxis na cidade de Nagoya, Japão. Os estudos envolveram comparações de situações de chuva forte (precipitação superior a 4mm/h), chuva leve (precipitação menor que 4 mm/h) e ausência de chuva. Os resultados encontrados indicam que a velocidade média praticada decresce com a presença de chuva quando comparado com o tempo seco, atingindo o patamar de redução de 6,03 km/h em situações de chuva forte quando comparado com ausência de chuva.

Jägerbrand e Sjöbergh (2016) também encontraram diferenças significativas quando comparadas situações de chuva com tempo seco na Suécia, sendo que as velocidades mais baixas ocorreram em condições adversas de condução (chuva ou neve) associadas a condições ruins de iluminação.

2.4.4 Período do Dia

Bassani *et al.* (2016), que estudaram vias urbanas arteriais na Itália, apontam que as médias de velocidades são significativamente diferentes quando comparadas as situações de veículos sob luz do dia e durante a noite. Os dados dos pesquisadores apontam para médias de velocidades maiores durante a noite e com tendência a extrapolar o limite de velocidade imposto na via também nesse período.

Porém, para Jägerbrand e Sjöbergh (2016), em estudos de velocidades na Suécia sob luz do dia, crepúsculo e noite, não foram encontradas diferenças significativas quando apenas esses aspectos foram comparados. Os resultados dos pesquisadores apontam, no entanto, para uma forte associação entre sinistros de trânsito e condições de pouca luz, o que pode ser explicado pelo fato de os condutores não conseguirem ajustar suas velocidades para situações de baixa visibilidade.

2.4.5 Presença de Pedestres

Lubbe e Davidsson (2015) encontraram uma relação significativa entre a velocidade de pedestres e a frenagem dos veículos, em que 90% dos condutores freavam a 2,6 s antes do ponto de impacto quando pedestres se deslocavam a 1 m/s no cruzamento.

Sheykhfard *et al.* (2021) fizeram uso de estudos naturalísticos de direção para avaliar o comportamento de condutores na presença de pedestres que atravessavam em locais com faixas de travessia de pedestre e em locais onde elas eram inexistentes. O comportamento dos condutores face a permissão da travessia de pedestres foi classificado em manobra suave ou brusca. Os resultados indicaram que o aumento da velocidade e consequente redução no tempo para evitar uma possível colisão levou os condutores a adotar manobras mais bruscas para evitar impactos com os pedestres.

2.4.6 Controle de Preferencial

Wu e Xu (2017) estudaram o movimento de conversão em interseções semaforizadas comparando as conversões à direita com sinal verde, caracterizado como movimento preferencial, e com sinal vermelho (permitidas nos Estados Unidos), se caracterizando, na prática, como conversões em vias secundárias, a partir dos dados do estudo naturalístico *SHRP2*. Além da indicação luminosa do semáforo (verde ou vermelho), os fatores que influenciaram a velocidade foram o tipo de veículo, a presença de pedestres e idade dos condutores. As velocidades de chegada no cruzamento quando operando em sinal verde (medidas na faixa de retenção dos veículos) foi de 30,58 km/h, ao passo que no sinal vermelho (interseção trabalhando como via secundária) foi de 7,24 km/h. As conversões em sinal vermelho apresentaram valores maiores de aceleração por parte dos condutores.

Interseções semaforizadas também foram objeto de estudo de Abdeljaber, Younis e Alhajyaseen (2020) ao considerar o movimento de veículos à esquerda em um cruzamento na cidade de Doha, Catar. Foram coletados dados de filmagens de movimentos desimpedidos de tráfego ou de passagem de pedestres. Os resultados indicam que o trajeto dos veículos é influenciado pela velocidade de chegada no cruzamento, pela velocidade durante a manobra e pela distância entre o veículo e o meio-fio ao término do movimento.

Fitzpatrick, Pratt e Avelar (2021) relacionam a velocidade da conversão à direita em cruzamentos semaforizados aos seguintes fatores: raio existente no meio-fio (conforme mencionado anteriormente), espaço para o veículo à frente, tipo de veículo (carro ou caminhão), manobra do veículo à frente (efetuando conversão ou seguindo em frente) além do sinal em amarelo ou verde. A partir de filmagens em cruzamentos previamente selecionados, os autores estimaram a velocidade dos veículos ao cronometrar o tempo de passagem do veículo entre dois pontos de passagem definidos (antes e após a conversão). Foram considerados na análise, os movimentos ocorridos na indicação semafórica verde ou amarelo e que se apresentassem desimpedidos, sendo considerados impedidos os veículos parados na fila quando o sinal mudava de vermelho para verde.

2.4.7 Situações de Aclive ou Declive

Conforme visto em Wang (2006), as situações de aclive ou declive (variação do greide) prévias ao movimento de curva são abordadas na literatura, porém mais comumente em situações de rodovias, onde as condicionantes geométricas são mais preponderantes para a escolha de velocidade praticada na curva que em meio urbano. Wang (2006) não utilizou o greide como variável em seu estudo de curvas horizontais urbanas.

Fitzpatrick *et al.* (2001) consideraram variações de greide de -4% a +4% como critério de inclusão dos locais que fariam parte de seus estudos. Contudo, essa variação acabou não entrando em suas análises, pois os pontos selecionados se mostraram quase todos essencialmente planos.

Por outro lado, outros autores levaram em conta a variação do greide em seus estudos tendo sido identificadas reduções de velocidades para valores mais altos da variável. No estudo de Poe e Mason (2000) para ruas urbanas de baixas velocidades, o greide em aclive da via entra como fator redutor de velocidade tanto para o início do

movimento de conversão (PC), quanto para o ponto de tangência (PT), ao término do movimento. A mesma situação é vista em Obaidat e Mohammad (2012) para as equações para 85º percentil de velocidade. Eluru *et al.* (2013) concluem que, como esperado, boas condições de pavimentação induziram a maiores velocidades veiculares, enquanto valores mais acentuados de declividade da via (contrarrampas de até 10%) atuaram retraindo a velocidade dos veículos.

2.4.8 Velocidade de Entrada no Cruzamento

Para Fitzpatrick *et al.* (2001), a velocidade regulamentada, que acaba por influenciar a velocidade com a qual os veículos chegam na interseção, foi a variável de controle mais significativa na variação de velocidade em curva.

Para Obaidat e Mohammad (2012), a velocidade de chegada teve a influência mais significativa na velocidade do condutor em curvas horizontais urbanas, sendo as maiores velocidades identificadas em trechos onde a curvatura era menor.

A velocidade com que os veículos chegam ao movimento de interseção também foi estudada Abdeljaber, Younis e Alhajyaseen (2020) conforme citado anteriormente, sendo esse um dos fatores que influenciam o trajeto do veículo ao efetuar uma conversão.

A segmentação por faixas de velocidade em contexto urbano, ainda que não considerando especificamente seus cruzamentos, foi abordada por Eluru *et al.* (2013) em estudo de velocidades na cidade de Montreal para vias locais e arteriais. Os pesquisadores segmentaram as velocidades em faixas de velocidade em até 20 km/h, de 20 a 30 km/h, de 30 a 40km/h, de 40 a 50 km/h, de 50 a 60 km/h, de 60 a 70 km/h, de 70 a 80 km/h, de 80 a 90 km/h, de 90 a 120 km/h e acima de 120 km/h comparando elementos da via nessas faixas de velocidade.

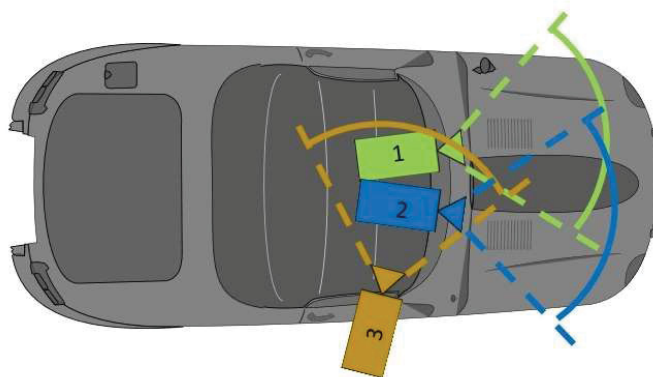
Tal abordagem se mostra pertinente, conforme visto em Elvik (2013) que apresentou atualizações de um estudo de 2009 que relacionava velocidades a sinistros de trânsito. Na reformulação do estudo, a reparametrização foi realizada ao ajustar funções a alterações de velocidade ordenadas em grupos de 10 km/h em função da velocidade inicial. Os resultados implicam que o efeito sobre os acidentes de uma dada mudança relativa na velocidade é maior quando a velocidade inicial é mais alta.

3 MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia empregada para atingir os objetivos propostos envolve a utilização da base de dados do Estudo Naturalístico de Direção Brasileiro, o NDS-BR já apresentado anteriormente. Na presente pesquisa foram utilizados os dados de viagens de uma amostra de 32 condutores. Os condutores que compõem a amostra são 14 do sexo masculino e 18 do sexo feminino, com idades variando entre 20 e 62 anos. Dos 32 condutores, 29 utilizavam o veículo para uso convencional e três eram motoristas de aplicativo. O tempo médio de condução variou entre sete e quatorze dias para cada condutor, de modo que os condutores de aplicativos tiveram um período menor de coleta devido à grande quantidade de viagens, não sendo necessário tempo maior.

Os veículos foram equipados com três câmeras, sendo duas voltadas para o ambiente externo (para contemplar todo o campo de visão à frente do condutor) e uma para o ambiente interno conforme visto na FIGURA 10, além de um receptor *GPS*, para coleta de informações a cada 1 segundo, com o objetivo de obter a posição e a velocidade instantânea dos veículos.

FIGURA 10 - ORIENTAÇÃO DAS CÂMERAS NO INTERIOR DO VEÍCULO



FONTE: Adaptado de Amancio (2021).

Procedeu-se, então, com o tratamento dos dados a fim de eliminar os tempos inválidos de viagem (situações em que ocorreram erros na gravação em alguma câmera ou nos registros *GPS* e situações em que o veículo não estava sendo conduzido e a plataforma de coleta de dados continuava ligada), totalizando 1002 viagens, 381,45 horas de condução e 9.443,83 km de distância percorrida na cidade de Curitiba-PR e região metropolitana.

A presente pesquisa localiza-se precisamente na fase posterior à coleta dos dados em campo, já planilhados e aptos a serem devidamente tratados. Os dados oriundos a partir do *GPS* compõem uma planilha eletrônica em que cada linha representava um segundo de informação, com destaque para as informações de velocidade instantânea e localização geográfica (coordenadas latitude e longitude). Estes dados foram tratados no *software* QGIS®, resultando em uma malha de pontos representativa dos trajetos percorridos pelos condutores. Posteriormente, estes dados foram cruzados com uma malha viária, construída a partir de dados do Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba (IPPUC) e do *OpenStreetMap* (IPPUC, 2019 e OSM, 2020). Uma das viagens é apresentada desde o início até o fim na FIGURA 11, que, de forma ilustrativa, está representada sobre uma base de imagem aérea proveniente do serviço *Google Maps*.

FIGURA 11 - EXEMPLO DE VIAGEM COMPLETA NO MUNICÍPIO DE CURITIBA

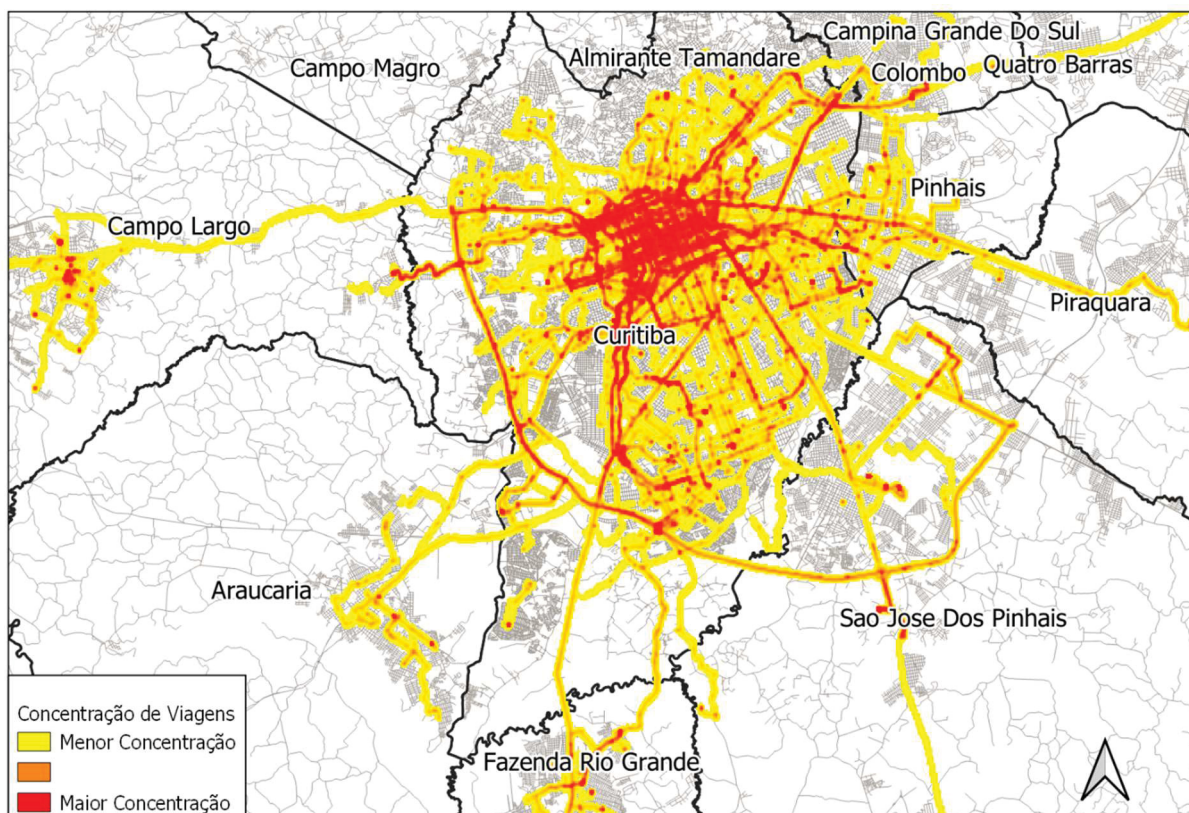


FONTE: O autor com dados do *Google Maps* (2022).

A distribuição espacial de todas as viagens realizadas ao longo do período de coleta pode ser visualizada na FIGURA 12, onde é possível observar que as viagens ocorreram predominantemente na região central de Curitiba, se espalhando também

para o entorno mais próximo de sua região metropolitana. A concentração de viagens é visualizada através da coloração, onde a predominância de vermelho indica uma contração maior de viagens nas vias em contraponto aos tons em amarelo. Os limites municipais foram obtidos a partir de dados do Instituto Água e Terra do governo do Paraná (IAT, 2020).

FIGURA 12 - DISTRIBUIÇÃO DAS VIAGENS

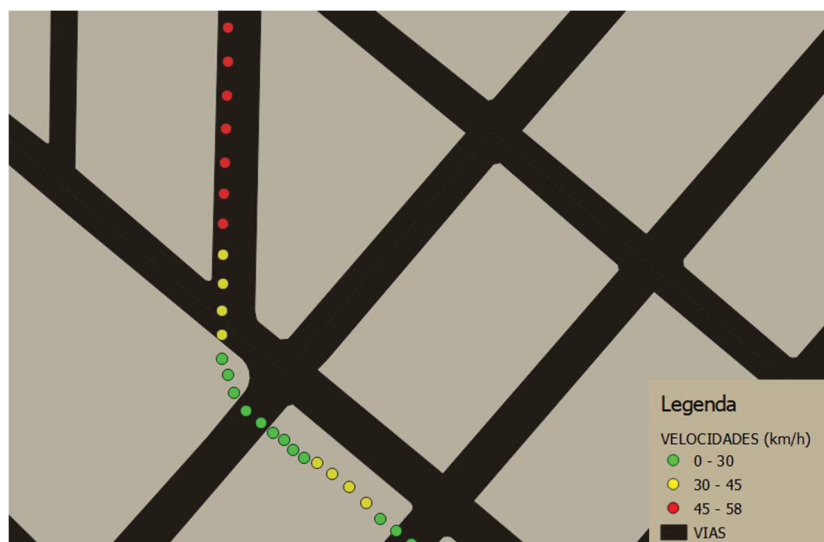


FONTE: O autor (2022).

Com base no eixo da malha viária foi aplicado um *buffer* de 10 metros com o objetivo de representar a largura da via e associar os registros pontuais do *GPS* à própria via. Os pontos que incidiram no exterior desse intervalo de 10 metros foram desconsiderados para as análises, por serem avaliados como imprecisos quanto à localização espacial. Essa imprecisão decorre de um eventual sinal fraco na comunicação do aparelho receptor com a constelação de satélites *GPS*. Um exemplo dessa situação pode ser observado na FIGURA 13, onde é possível identificar os pontos fora do *buffer*, além dos intervalos de velocidades praticadas durante o movimento de conversão. Além disso, não foram objeto de análise desta pesquisa as

interseções do tipo rotatória, de modo que não foram considerados os movimentos de conversão ocorridos nessa tipologia de interseção.

FIGURA 13 - EXEMPLO DE PONTOS DE *GPS* FORA DA MALHA VIÁRIA



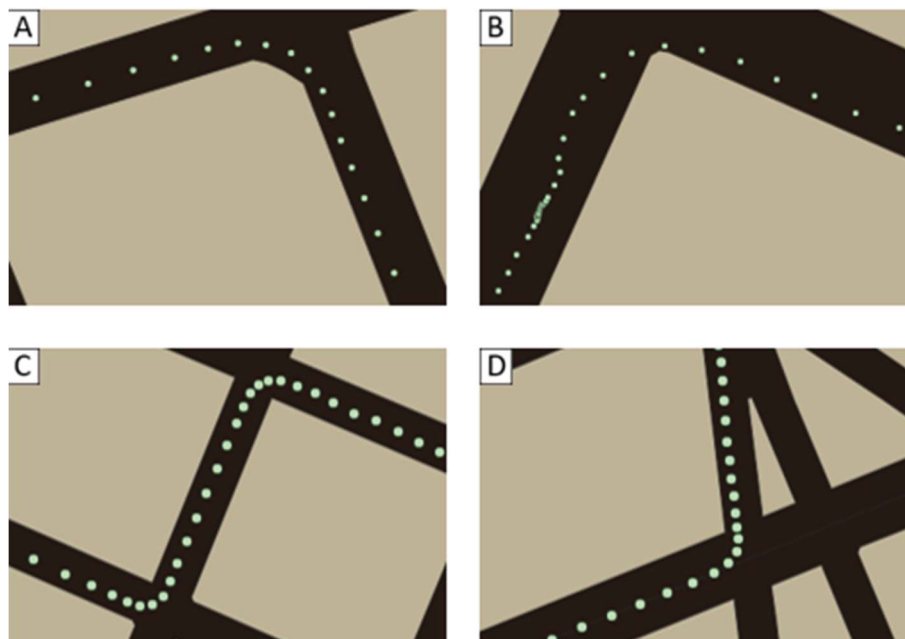
FONTE: O autor (2022).

Em seguida, com base no trabalho de Poe e Mason (2000) e de acordo com as orientações de desenho de ruas da NACTO (2018), foi estabelecida uma distância de análise de 50 metros antes e depois da curva. Dentro desse intervalo foram selecionados os movimentos de conversão com uma trajetória contínua, ou seja, sem paradas ao longo da conversão ou limitações de velocidade associadas à densidade do tráfego, entre outras eventuais interferências, de forma semelhante a outras metodologias já aplicadas conforme visto em Abdeljaber, Younis e Alhajyaseen (2020) e Fitzpatrick, Pratt e Avelar (2021). Essa condição foi inicialmente identificada de forma visual pelo acúmulo de pontos de *GPS* próximos uns dos outros dentro do intervalo de 50 metros para cada um dos cruzamentos de cada viagem. Ainda, foram eliminadas as situações de curvas próximas, ou seja, distantes menos de 100 metros entre si (para respeitar as distâncias de 50 metros antes e após a interseção).

Foram considerados para o estudo os cruzamentos com ângulo de deflexão de 30, 60, 90 e 120°. Dada a eventual imprecisão associada à própria base utilizada, foram contempladas curvas com um intervalo entre +5° e -5° para cada deflexão, ou seja, entre 25° e 35° para ângulos de 30°, entre 55° e 65° para ângulos de 60°, entre 85° e 95° para ângulos de 90° e entre 115° e 125° para a faixa de 120°. Exemplos de

um registro ideal de uma manobra de conversão para análise e de registros descartados podem ser observados na FIGURA 14.

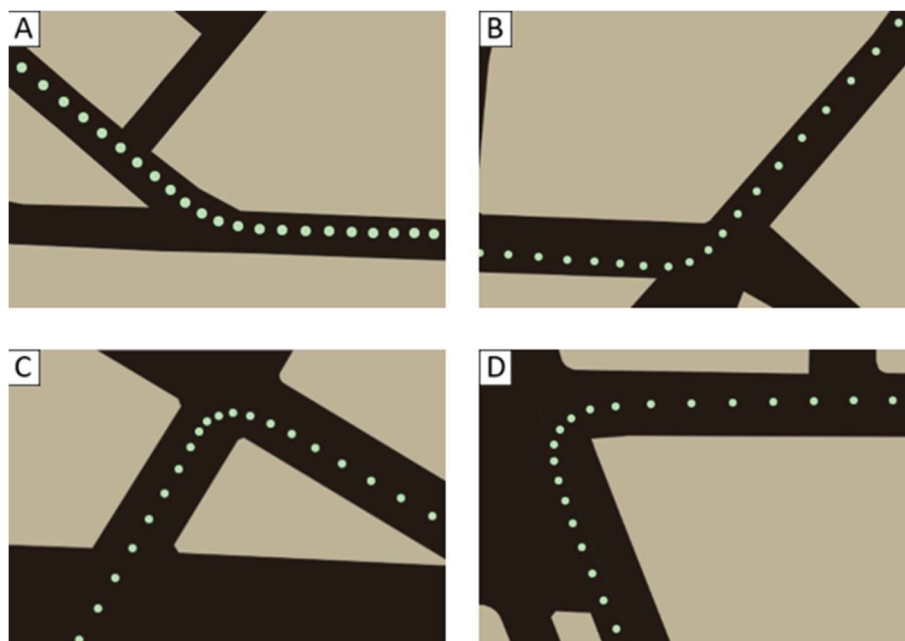
FIGURA 14 - EXEMPLOS DE CONVERSÃO APROVEITADA (A) E DESCARTADAS EM FUNÇÃO DO ACÚMULO DE PONTOS ANTERIORES À CURVA (B), CURVAS PRÓXIMAS (C) E DEFLEXÃO NÃO ESTUDADA (D)



FONTE: O autor (2022).

Um exemplo de cada uma das configurações de deflexão estudadas é ilustrado na FIGURA 15, onde estão presentes ângulos de 30, 60, 90 e 120° em situações de trânsito livre e desimpedido. A medição da deflexão foi realizada com o uso de ferramenta manual de medida e ângulos do *software* QGIS®.

FIGURA 15 - EXEMPLOS DE CONFIGURAÇÃO DE CRUZAMENTO EM 30° (A), 60° (B), 90° (C) E 120° (D) CONSIDERADOS PARA AS ANÁLISES

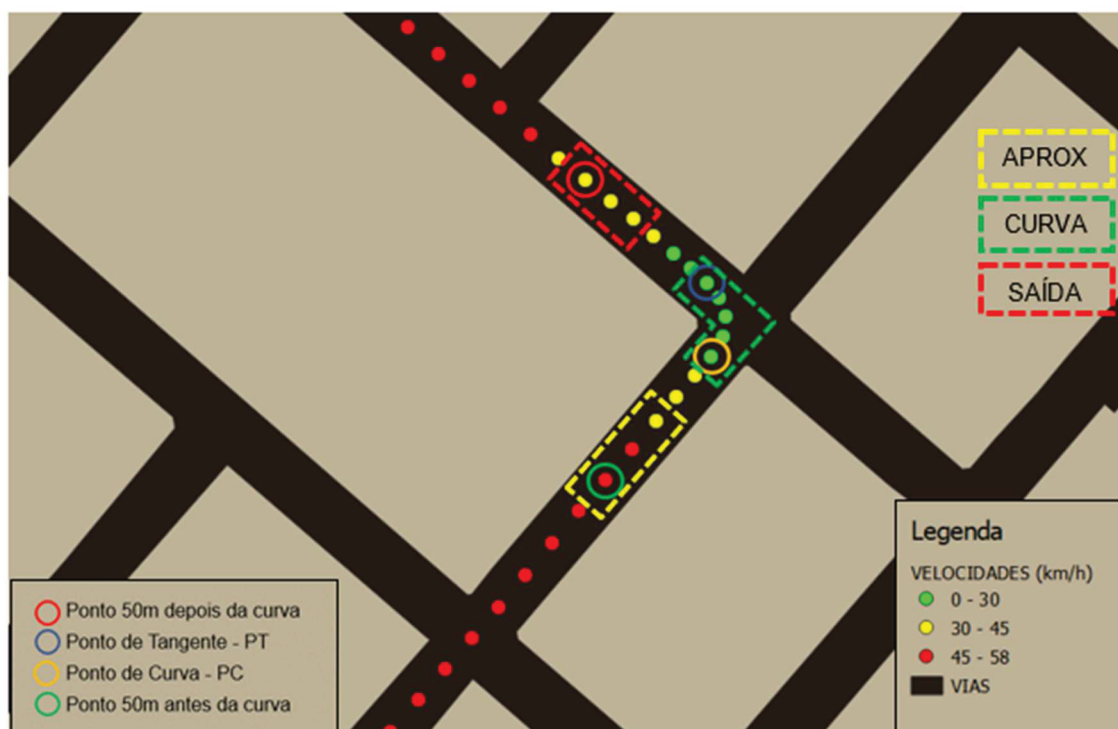


FONTE: O autor (2022).

Foram identificados alguns pontos de interesse para a caracterização dos movimentos, os pontos de mudança de trajetória, a saber, PC – Ponto de Curva (quando se inicia o movimento de conversão) e PT – Ponto de Tangência (quando se finaliza o movimento de conversão), além de um ponto distante 50 metros antes do início do movimento de conversão e outro, 50 metros depois do seu término. Tal procedimento foi realizado para todas as conversões identificadas e aproveitadas.

Com os dados de velocidade instantânea para cada segundo, foram calculadas as velocidades médias durante as conversões (entre PC e PT). Além disso, considerando a distância de 50 metros iniciais e finais da extensão de estudo de cada movimento, foram calculados valores de velocidade de entrada (média dos três primeiros registros) e saída (médias dos três últimos registros) para cada uma delas. Na FIGURA 16, é apresentada a localização dos pontos notáveis utilizados para as análises bem como os respectivos intervalos considerados para médias de velocidades destacados com linhas tracejadas.

FIGURA 16 - EXEMPLO DE LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS NOTÁVEIS PARA ANÁLISE DAS CONVERSÕES

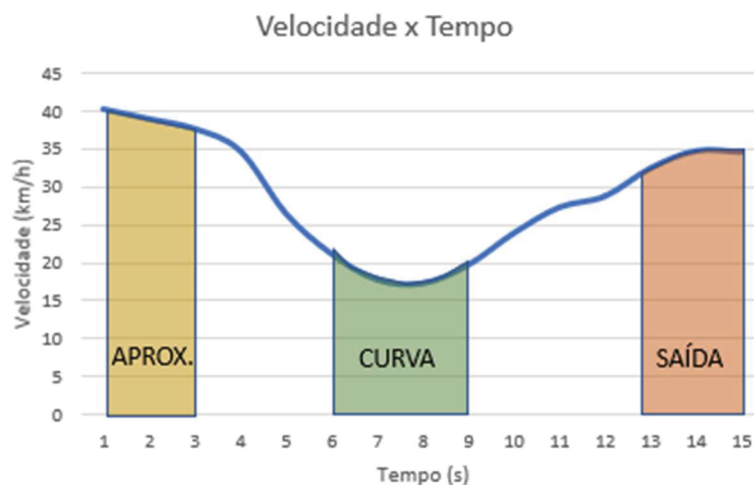


FONTE: O autor (2022).

Em uma etapa seguinte foi realizada análise dos vídeos com as câmeras voltadas para o ambiente externo ao veículo. Assim foram manualmente codificadas as situações de conversão em vias com acesso preferencial ou secundário, passagem de pedestres ou ciclistas, presença de dispositivos de deflexão vertical (do tipo lombadas ou travessias elevadas) além de situações de trânsito congestionado que não tenham sido identificadas na análise visual prévia no mapa (acúmulo de pontos). Para os fins dessa pesquisa, a câmera voltada para o ambiente interno, que monitora as atitudes dos condutores, não foi utilizada.

Na FIGURA 17 está representado um perfil de velocidade em função do tempo, típico do comportamento da velocidade em uma conversão de 90°, dentro do intervalo de 50 metros antes e após a conversão. No eixo das abscissas está indicado o tempo transcorrido entre o ponto inicial da análise (distante 50 metros do ponto de início da curva) e o ponto final (distante 50 metros do ponto de término da curva). Tal medida se dá em função da informação analítica temporal proveniente da base do GPS (um ponto registrado a cada segundo transcrito em forma de planilha), a qual teve sua espacialidade visualizada apenas no *software* QGIS®.

FIGURA 17 - EXEMPLO DE GRÁFICO VELOCIDADE X TEMPO DESTACANDO OS TRECHOS ANTES DA CURVA, NA CURVA E APÓS A CURVA



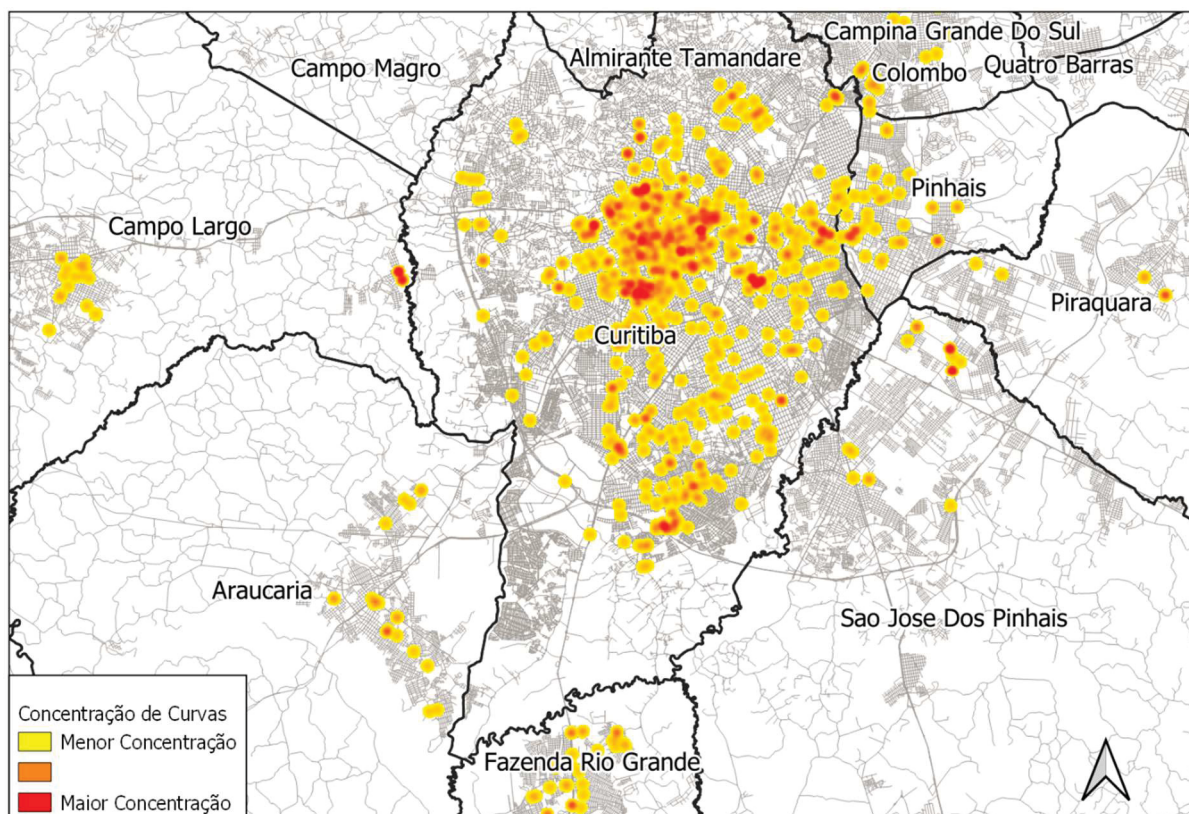
FONTE: O autor (2022).

Nas análises foi considerada a variação de velocidade (ΔV), sendo essa a diferença entre a velocidade média em curva (V_c) e a velocidade média de entrada (V_e) na tangente anterior à curva.

3.1.1 Critérios de Análise

Na FIGURA 18 é apresentado um mapa, onde é possível verificar como as manobras de conversão se distribuem espacialmente. Elas ocorrem predominantemente na região central de Curitiba, aparecendo com menor número nas suas regiões mais periféricas e algumas cidades da região metropolitana. As cores em tons vermelhos indicam localizações com maior concentração de cruzamentos analisados enquanto os amarelos, menor concentração.

FIGURA 18 - DISTRIBUIÇÃO DOS MOVIMENTOS DE CONVERSÃO ANALISADOS



FONTE: O autor (2022).

Ao todo foram cadastradas 1369 manobras de conversão para todos os condutores. Dessas, as conversões em 90 graus foram as mais frequentes. Para todos os condutores analisados, foram contabilizadas 67 conversões em 30°, 177 em 60°, 1075 em 90° e por fim, 50 em 120°.

Por fim, após a compilação das informações das planilhas (*GPS*), as análises espaciais e codificação manual dos vídeos, as manobras foram classificadas segundo os seguintes critérios:

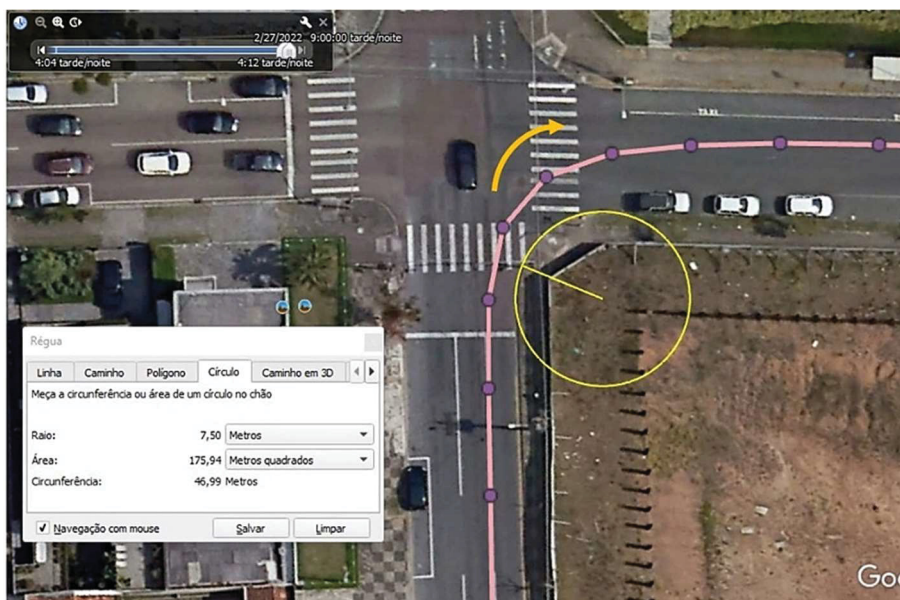
- ângulo de deflexão da conversão (30°, 60°, 90° e 120°);
- direção da conversão (à esquerda ou à direita);
- raio nas esquinas;
- controle de preferencial (controle semafórico, via preferencial ou secundária);
- presença de deflexão vertical antes da curva (“sim” ou “não”);
- greide das vias (ative, plano ou declive);
- ocorrência de chuva (“sim” ou “não”);
- horário do dia (“dia” ou “noite”).

Além disso, foi considerada segmentação em relação à velocidade de aproximação (até 30 km/h, de 30km/h a até 40 km/h, de 40km/h a até 50 km/h e acima de 50 km/h).

À exceção do primeiro teste (segmentação por ângulo de deflexão), os demais foram executados considerando apenas as curvas de 90°, por serem mais numerosas e apresentarem critérios de similaridade e homogeneidade. Ademais, os outros intervalos de deflexões não apresentam amostragem muito abrangente para efeitos comparativos segmentados.

Para a medição dos raios nas esquinas foi utilizada imagem aérea disponível no *software Google Earth* com utilização de ferramenta de medição de raios. Um exemplo é mostrado na FIGURA 19, onde uma conversão à direita com raio na esquina de 7,5m é apresentada. Na imagem é mostrado o trajeto do veículo com os pontos registrados pelo *GPS* e uma linha conectando esses pontos, representando o caminho percorrido pelo veículo.

FIGURA 19 - MEDIÇÃO DE RAO EM CONVERSÃO À DIREITA

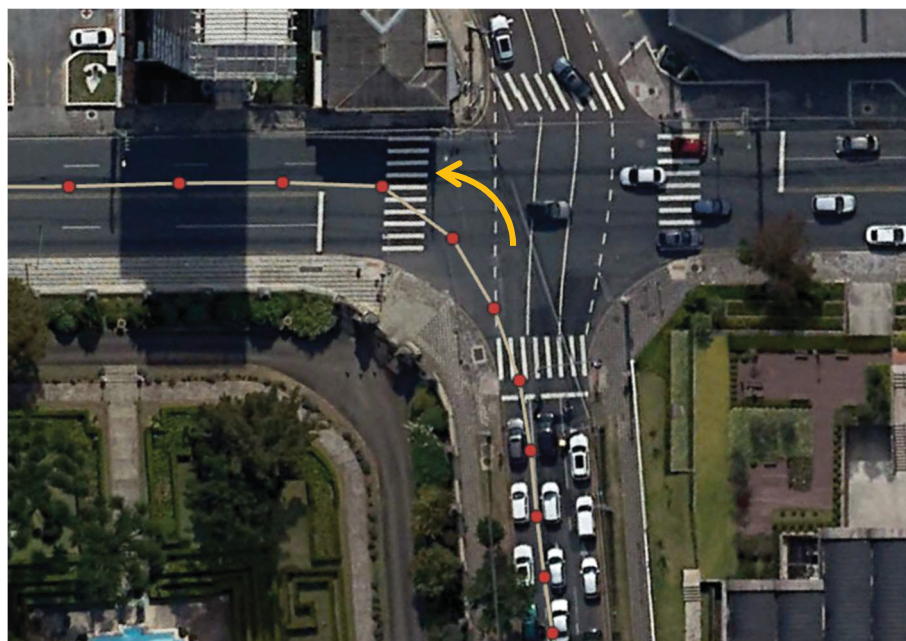


FONTE: O autor (2022).

Para essa análise, foram desconsideradas as conversões à esquerda, pois em vias de mão dupla, conforme visto na FIGURA 20, o condutor do veículo efetua o

movimento de conversão longe do meio-fio, o que anula a influência dessa variável na velocidade da conversão.

FIGURA 20 - MEDIÇÃO DE RAIOS DESCARTADA EM CONVERSÃO À ESQUERDA



FONTE: O autor (2022).

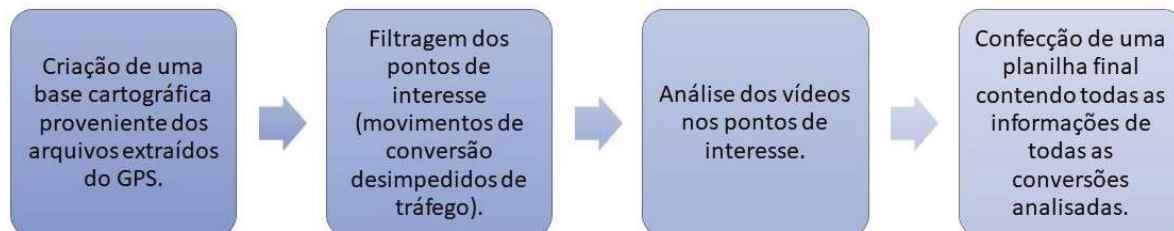
Para o levantamento da declividade, foram considerados os mesmos pontos do cálculo de variação de velocidade (ΔV). Foi, portanto, considerada a altitude média registrada dos três primeiros pontos da medição dentro dos 50 metros antes do ponto de curva e a altitude média dos valores referentes ao desenvolvimento da curva. Considerando a distância de 50 metros entre essas duas medições procedeu-se o cálculo desse valor em porcentagem. Tal procedimento visou dissipar a influência de eventuais erros pontuais de medição nos dados do *GPS*. O terreno foi considerado como plano para o intervalo -2% a +2% de declividade longitudinal. Esse intervalo foi definido em função da declividade transversal ideal estabelecida em manuais de projetos viários DNIT (2010b), o qual corresponde a uma situação que, embora suficiente para o escoamento pluvial, ainda é percebida como plana pelos condutores. Também há registro no *Highway Capacity Manual* que define terrenos planos como aqueles em que veículos pesados conseguem manter velocidades próximas as dos veículos de passeio e que essa declividade longitudinal normalmente está até o limite de 2% (TRB, 2000). Por essas razões, os valores que excedem esses limites foram

tratados como aclave (para declividades superiores a 2%) ou declive (para declividades inferiores a -2%).

Finalmente, a partir do horário em que cada conversão foi realizada, foi atribuída a variável “Dia” ou “Noite”. Como critério objetivo, foi utilizada a tabela “Nascer e ocaso do Sol (2011–2025)” disponível no *site* do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, do Departamento de Astronomia da USP Universidade de São Paulo (2022) para identificação uniforme do período do dia em cada uma das conversões.

Em resumo, o fluxo de trabalho envolveu a construção uma base cartográfica proveniente das planilhas primárias coletadas em campo. A partir dessa base (viagens espacialmente distribuídas no sistema viário), efetuou-se o filtro dos pontos de interesse para análise (cruzamentos urbanos). Passou-se então para a análise dos vídeos nos pontos de interesse para a codificação da planilha final. Esse procedimento segue resumido no fluxograma da FIGURA 21.

FIGURA 21 - RESUMO DO FLUXO DE TRABALHO



FONTE: O autor (2022).

Uma amostra da planilha final (cabeçalho e algumas linhas) consta na FIGURA 22, por onde pode-se observar as análises efetuadas.

FIGURA 22 - AMOSTRA DA TABELA FINAL DE DADOS PARA ANÁLISE DAS VARIÁVEIS

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	Driver	Controle	Lombada ou lombofaixa	Pedestre ou ciclista atravessando	Chuva	Deflexão (Faixa)	Direção	ΔV	Ve (km/h)	Vc (km/h)	Vs (km/h)	Faixa Greide	Faixa Raio	Período
110	C5	Semáforo	Não	Não	Não	90	CE	8.76	21.19	12.43	12.77	Plano	4.Maior que 10	Noite
111	C5	Preferencial	Não	Não	Não	120	CD	1.16	36.69	35.53	54.56	Plano	4.Maior que 10	Noite
112	C5	Semáforo	Não	Não	Não	90	CD	29.83	52.14	22.31	25.05	Declive	3.Entre 7 e 10	Noite
113	C5	Preferencial	Não	Não	Não	90	CE	18.35	41.25	22.90	39.80	Aclive	4.Maior que 10	Noite
114	C6	Semáforo	Não	Não	Não	90	CE	12.23	23.23	11.00	18.88	Declive	3.Entre 7 e 10	Dia
115	C6	Preferencial	Não	Não	Não	90	CE	15.19	37.60	22.41	31.01	Plano	4.Maior que 10	Dia
116	C7	Semáforo	Não	Não	Não	90	CE	5.15	37.01	31.86	38.52	Declive	1.Menor que 5	Dia
117	C7	Semáforo	Não	Não	Não	90	CD	23.87	43.51	19.64	38.89	Aclive	1.Menor que 5	Dia
118	C7	Semáforo	Não	Não	Não	90	CE	11.24	42.54	31.30	44.26	Declive	3.Entre 7 e 10	Dia
119	C7	Semáforo	Não	Não	Não	90	CD	20.38	42.86	22.48	41.68	Plano	3.Entre 7 e 10	Dia
120	C8	Semáforo	Não	Não	Não	90	CE	15.56	44.95	29.39	33.47	Aclive	2.Entre 5 e 7	Noite
121	C8	Semáforo	Não	Não	Não	30	CD	5.58	39.21	33.63	31.70	Declive	4.Maior que 10	Noite
122	C8	Semáforo	Não	Não	Não	90	CD	13.36	35.73	22.37	31.70	Plano	2.Entre 5 e 7	Noite
123	C8	Semáforo	Não	Não	Não	120	CE	14.62	43.61	28.99	42.16	Aclive	4.Maior que 10	Noite
124	C8	Preferencial	Não	Não	Não	60	CE	2.95	44.63	41.68	61.32	Aclive	4.Maior que 10	Noite
125	C9	Semáforo	Não	Não	Não	90	CD	17.86	45.06	27.20	32.51	Declive	4.Maior que 10	Dia
126	C9	Semáforo	Não	Não	Não	90	CE	2.32	26.82	24.50	39.91	Declive	3.Entre 7 e 10	Dia
127	C10	Semáforo	Não	Não	Não	90	CD	31.42	31.60	10.17	26.38	Declive	3.Entre 7 e 10	Dia

FONTE: O autor (2022).

Com a abordagem da variação de velocidade (ΔV) explanada anteriormente, foram encontrados valores negativos para essa variável que indicam velocidade em curva superior àquela praticada no trecho da reta anterior. Essas situações são oriundas de movimentos que estão potencialmente condicionados às condições de tráfego. Além disso, esses valores comprometem estudos mais precisos ao violar o pressuposto de normalidade dos resíduos nas análises de variância (ANOVA). Por este motivo, eles foram excluídos das amostras. Os episódios de valores negativos para ΔV totalizaram 96 ocorrências (aproximadamente 7% do total de manobras da amostra).

Foram também excluídos os movimentos de conversão que incluíram passagem de pedestres ou ciclistas identificados em vídeo. Tal decisão se deu em função da influência do movimento de pedestres no comportamento do condutor (LUBBE e DAVIDSSON, 2015; SHEYKHFARD *et al.*, 2021). Soma-se a isso o fato de que essas situações podem ter sido eliminadas previamente no critério de pontos sobrepostos da base cartográfica (veículo parado ou em movimento extremamente lento). Nesse caso, a avaliação específica da influência de pedestres estaria prejudicada, motivo pelo qual não foi incluída no escopo desse trabalho.

Após as análises e delimitações situacionais definidas, o total de conversões analisadas passou para 1201. A TABELA 1 abaixo resume essas quantidades levantadas.

TABELA 1 - TOTAL DE CONVERSÕES ANALISADAS

Conversões Levantadas	Variação de velocidade negativa	Passagem de pedestres ou ciclistas	Total
1369	96	72	1201

FONTE: O autor (2022).

Ao final, os dados passaram por comparações entre populações a partir de testes estatísticos, conforme explicitado na sequência.

3.1.2 Análises Estatísticas

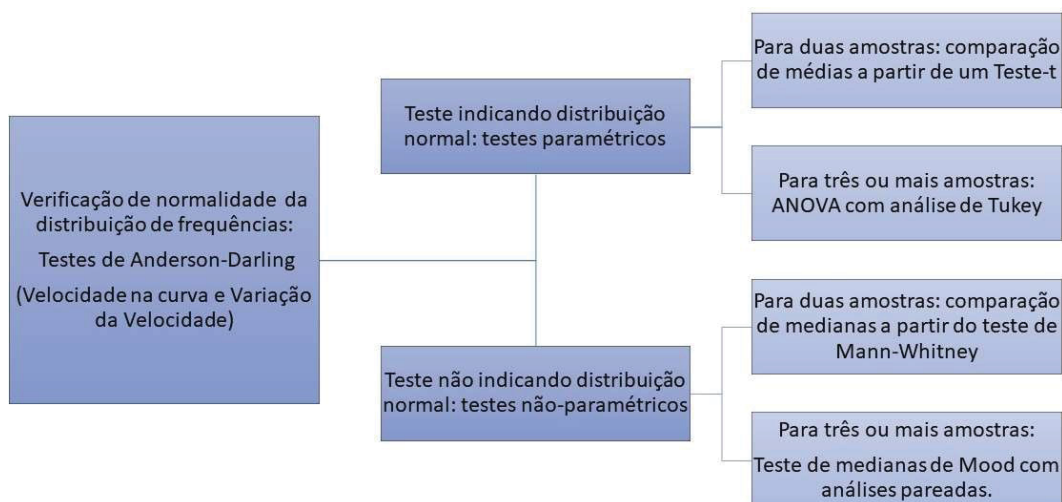
Os dados tabelados foram importados no *software* de análises estatísticas R. As análises incluíram uma descrição geral dos dados, a realização de testes de hipóteses incluindo normalidade e testes paramétricos ou não paramétricos (a depender da resposta ao teste de normalidade da distribuição) de comparação de amostras a fim de avaliar as características que desempenham influência sobre os valores de velocidade nas manobras de conversão.

Em termos analíticos, se o p-valor encontrado para o teste aplicado for menor que o nível de significância estipulado ($p\text{-valor} \leq \alpha$), rejeita-se a hipótese nula. Do contrário, para um p-valor maior que o nível de significância, diz-se que não há evidências suficientes pra rejeitar a hipótese nula (MANGIAFICO, 2016). Para esse texto, todas as verificações foram feitas ao nível de significância de 5%.

No caso dos testes de normalidade, a hipótese nula diz que os dados seguem uma distribuição normal. Ou seja, caso o p-valor encontrado seja menor que 0,05, admite-se que os dados não seguem distribuição normal de frequências. Em caso de valores superiores ($p\text{-valor} > \alpha$), não se rejeita a hipótese nula e se assume que os dados seguem distribuição normal de frequências.

Para os casos distribuição normal, foram realizadas comparações a partir de testes paramétricos, como o teste-t de *Student* para duas amostras ou análise de variância (ANOVA com análise de Tukey) para os casos de mais de duas amostras, onde as amostras são comparadas a partir de suas médias. Quando a situação de normalidade não foi atendida, a comparação foi efetuada a partir de testes não-paramétricos (que comparam as medianas), como Mann-Whitney para duas amostras ou o teste de medianas de Mood nas comparações com três ou mais grupos. A FIGURA 23 apresenta um fluxograma com as etapas para determinação dos testes mais apropriados para comparação entre as amostras.

FIGURA 23 - FLUXOGRAMA DE ETAPAS PARA DETERMINAÇÃO DE TESTES



FONTE: O autor (2022).

A literatura, conforme visto em Mangiafico (2016), aponta que a hipótese nula para os Testes-t para duas amostras é de que as médias para os dois grupos são iguais. Conforme exposto anteriormente, para esse trabalho, todas as verificações foram feitas ao nível de significância de 5%. Portanto, caso o p-valor encontrado seja menor que 0,05 ($p\text{-valor} \leq \alpha$), é rejeitada a hipótese nula (médias iguais) confirmando a hipótese de grupos distintos. O mesmo vale para as demais comparações, a saber, Mann-Whitney, ANOVA e Teste de Medianas de Mood. No caso da análise de variâncias (ANOVA), outras verificações se fazem necessárias ao modelo, sendo elas:

- Verificação de normalidade dos resíduos;
- Verificação de homoscedasticidade (distribuição homogênea das variâncias);
- Observações entre os grupos devem ser independentes (dados não são pareados ou repetidos).

4 RESULTADOS

A apresentação dos resultados foi organizada primeiramente, em uma análise descritiva, com os dados apresentados de forma agregada considerando todas as deflexões, contemplando estatísticas descritivas, testes de normalidade e respectivos histogramas para as velocidades na curva e variação de velocidade. Na sequência, foram consideradas apenas as curvas com deflexão na faixa de 90°, sendo executados os mesmos testes a análises.

As análises seguiram considerando as diferentes segmentações, a saber, ângulo de deflexão da conversão, direção da conversão, raio da esquina, controle de preferencial, presença de deflexão vertical antes da curva, declividade, ocorrência de chuva, período do dia e velocidade de chegada no cruzamento.

4.1 ESTATÍSTICAS GERAIS E TESTES DE NORMALIDADE

As estatísticas descritivas com valores de média, desvio-padrão, valores de mínimos, medianas e máximos para as situações de velocidade de entrada (Ve), velocidade na curva (Vc), velocidade de saída (Vs) e variação de velocidade (ΔV) para todas as deflexões são expostos na TABELA 2.

TABELA 2 - ESTATÍSTICAS DECRITIVAS PARA TODAS AS DEFLEXÕES

Variável	N	Média (km/h)	DesvPad (km/h)	Mínimo (km/h)	Mediana (km/h)	Máximo (km/h)
Ve (km/h)	1201	37,20	7,50	15,06	37,34	62,44
Vc (km/h)	1201	21,73	6,83	6,83	21,16	49,27
Vs (km/h)	1201	35,58	7,53	5,16	35,72	67,75
ΔV (km/h)	1201	15,47	7,41	0,02	15,47	38,05

FONTE: O autor (2022).

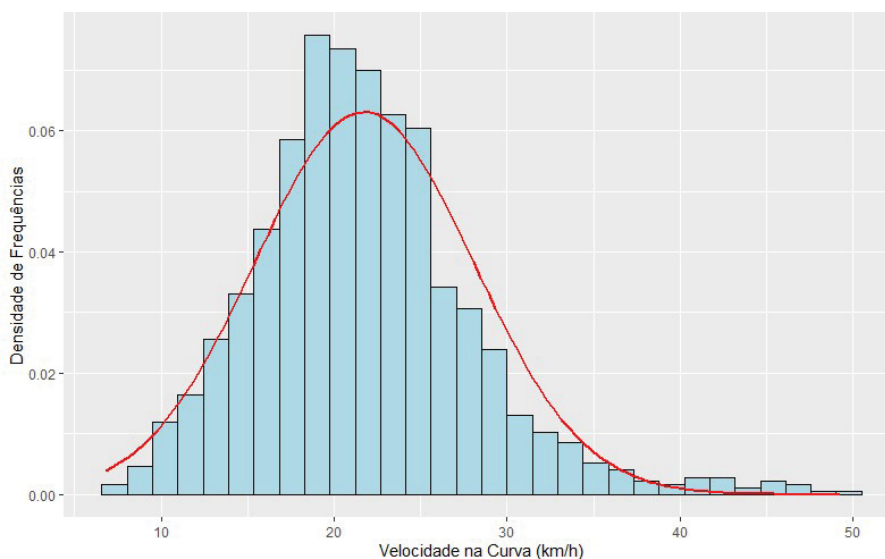
A velocidade de aproximação em conversões resultou, em média, igual a 37,20 km/h. Durante a manobra de conversão, essa velocidade é reduzida para o valor médio de 21,73 km/h, o que representa uma redução de 58,41% na velocidade de entrada. A velocidade de saída das curvas horizontais resultou igual a 35,58 km/h em média, ou seja, retornando ao patamar de velocidade anterior à conversão. Tais valores permitem descrever de maneira geral as velocidades praticadas por condutores de automóveis ao longo de conversões no cenário urbano estudado, assim como representam as velocidades sob as quais se dá a interação com usuários não motorizados em áreas de cruzamento. Considerando a travessia de pedestres no fim

de quadra, a interação ocorreria, portanto, a uma velocidade média de 21,73 km/h na curva. Cabe destacar, no entanto, a ocorrência de valores mais elevados de velocidade nessa região, atingindo um máximo de 49,27 km/h. Esse valor chama a atenção, principalmente quando leva-se em consideração a probabilidade de lesão fatal de pedestres, abordado no item 2.1.2, onde um pedestre tem uma chance superior a 80% de fatalidade quando atropelado a uma velocidade de 50 km/h.

Na sequência são elencados os histogramas de distribuição de frequências dos valores de velocidades na curva e da variação de velocidade (ΔV) que foram as situações comparadas nos testes estatísticos. O traçado em vermelho ilustra a estimativa da função de probabilidade normal. Para além da informação visual, testes analíticos forneceram informações a respeito da normalidade de distribuição dos dados. O teste de Anderson-Darling foi aplicado com nível de significância estipulado em 5%. Se o resultado do teste (p-valor encontrado) for maior que o nível de significância (ou seja, p-valor > 0,05), a conclusão a que se chega é que os dados seguem distribuição normal.

Para as velocidades na curva, o teste de normalidade (Anderson-Darling) não resultou em uma distribuição do tipo Normal (p-valor < 0,05), conforme ilustrado pelo histograma do GRÁFICO 1.

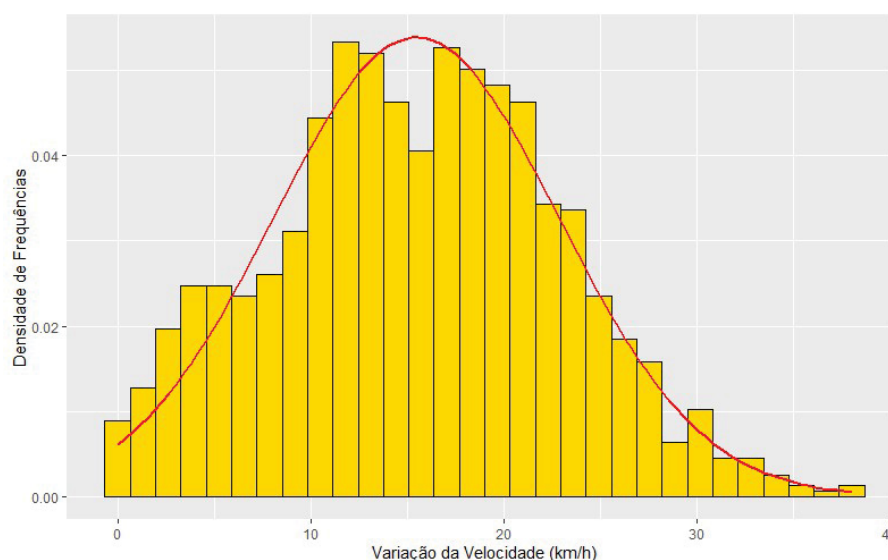
GRÁFICO 1 - HISTOGRAMA PARA VELOCIDADES NA CURVA PARA TODAS AS DEFLEXÕES



FONTE: O autor (2022).

O histograma das variações de velocidade é representado no GRÁFICO 2. O teste de normalidade (Anderson-Darling) apresentou p-valor < 0,05, resultando que a distribuição não segue o tipo Normal.

GRÁFICO 2 - HISTOGRAMA PARA VARIAÇÃO DAS VELOCIDADES PARA TODAS AS DEFLEXÕES



FONTE: O autor (2022).

A TABELA 3 resume as informações para os testes de normalidade, quando consideradas todas as deflexões.

TABELA 3 - RESULTADOS DOS TESTES DE NORMALIDADE APLICADOS A TODAS AS DEFLEXÕES

Variável	N	Teste-AD (p-valor)	Interpretação
Vc (km/h)	1201	0,0000	Dados não seguem distribuição Normal
ΔV (km/h)	1201	0,0049	Dados não seguem distribuição Normal

FONTE: O autor (2022).

Os resultados desses testes embasaram as análises estatísticas para as segmentações por diferentes deflexões, sendo as velocidades na curva (V_c) e as variações de velocidade (ΔV) comparadas a partir de testes não-paramétricos.

Considerando apenas as deflexões de 90°, a TABELA 4 apresenta as estatísticas descritivas com valores de média, desvio-padrão, valores de mínimos,

medianas e máximos para as situações de velocidade de entrada, velocidade na curva, velocidade de saída e variação de velocidade, para esse recorte em específico.

TABELA 4 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS PARA AS DEFLEXÕES EM 90°

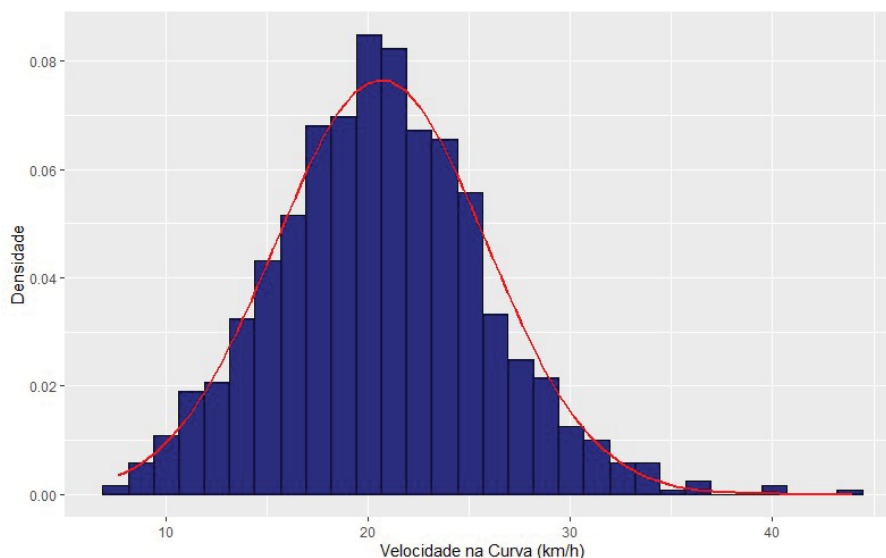
Variável	N	Média (km/h)	DesvPad (km/h)	Mínimo (km/h)	Mediana (km/h)	Máximo (km/h)
Ve (km/h)	961	36,90	7,28	15,06	37,12	62,44
Vc (km/h)	961	20,64	5,22	7,66	20,54	43,97
Vs (km/h)	961	35,17	7,29	10,89	35,37	67,75
ΔV (km/h)	961	16,25	7,02	0,03	16,42	38,05

FONTE: O autor (2022).

Nesse recorte, a velocidade de aproximação em conversões apresentou valor médio de 36,90 km/h. Durante a manobra de conversão, essa velocidade é reduzida para o valor médio de 20,64 km/h enquanto a velocidade de saída das curvas horizontais resultou igual a 35,17 km/h em média. Novamente, os valores máximos para tais segmentos se apresentaram bastante elevados (43,97 km/h). Ainda que, de forma geral, os valores sejam sutilmente menos elevados que aqueles encontrados quando se observam todas as deflexões.

Para as velocidades na curva, o teste de normalidade (Anderson-Darling) resultou em uma distribuição do tipo Normal ($p\text{-valor} > 0,05$), conforme ilustrado pelo histograma do GRÁFICO 3.

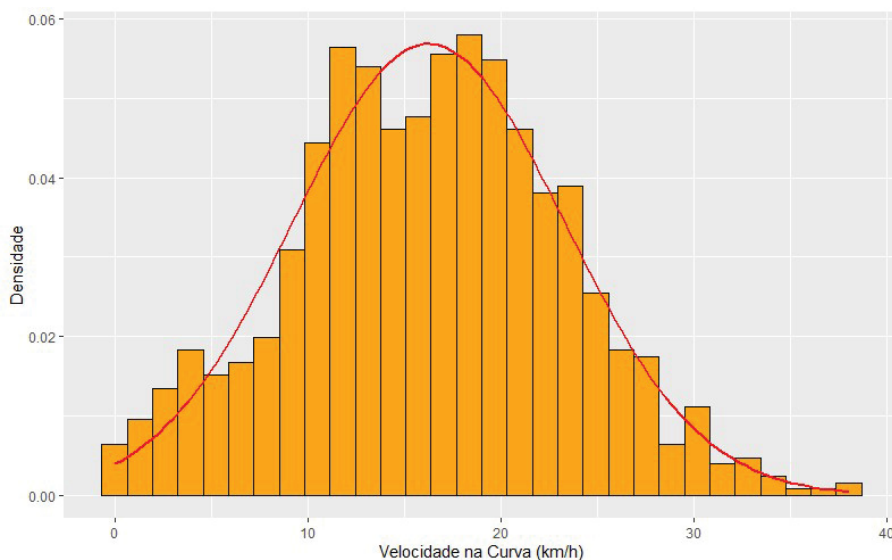
GRÁFICO 3 - HISTOGRAMA PARA VELOCIDADES NA CURVA PARA DEFLEXÕES EM 90°



FONTE: O autor (2022).

O histograma para as variações de velocidade é representado no GRÁFICO 4. Nesse caso, o teste de normalidade (Anderson-Darling) apresentou p-valor $> 0,05$, resultando que a distribuição também segue o tipo Normal.

GRÁFICO 4 - HISTOGRAMA PARA VARIAÇÃO DAS VELOCIDADES PARA DEFLEXÕES EM 90°



FONTE: O autor (2022).

Na TABELA 5 são apresentados os valores resultantes dos testes de normalidade aplicados para as deflexões de 90°.

TABELA 5 - RESULTADOS DOS TESTES DE NORMALIDADE APLICADOS ÀS DEFLEXÕES EM 90°

Variável	N	Teste-AD (p-valor)	Interpretação
Vc (km/h)	961	0.2443	Dados seguem distribuição Normal
ΔV (km/h)	961	0.0784	Dados seguem distribuição Normal

FONTE: O autor (2022).

Os resultados desses testes embasaram as análises estatísticas para as segmentações considerando as deflexões em 90°, sendo as velocidades na curva (V_c) e as variações de velocidade (ΔV) comparadas a partir de testes paramétricos.

4.2 VELOCIDADE DE ACORDO COM A DEFLEXÃO

Quando observados os intervalos de deflexão, entre os 1201 cruzamentos estudados, foram encontrados:

- 45 com ângulo de deflexão de 30°;
- 148 com ângulo de deflexão de 60°;
- 961 com ângulo de deflexão de 90°;
- 47 com ângulo de deflexão de 120°.

Tanto a velocidade em curva quanto a variação da velocidade (ΔV) foram comparados a partir do Teste de Medianas de Mood. A TABELA 6 demonstra as estatísticas descritivas para as situações de velocidade na curva.

TABELA 6 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS PARA VELOCIDADE NA CURVA EM FUNÇÃO DA DEFLEXÃO

Deflexão	N	Média (km/h)	DesvPad (km/h)	Mínimo (km/h)	Mediana (km/h)	Máximo (km/h)
30	45	35,17	7,60	18,18	34,40	47,45
60	148	25,33	6,62	6,83	25,18	49,27
90	961	20,64	5,22	7,66	20,54	43,97
120	47	19,83	5,73	9,05	18,87	36,87

FONTE: O autor (2022).

Os menores valores de velocidade na curva encontram-se nos cruzamentos 120°, cuja mediana apresenta valor de 18,87 km/h (95% I.C. [17,80, 20,30]), seguido do grupo de 90° com mediana de 20,54km/h (95% I.C. [20,10, 21,00]). As deflexões de 60° apresentaram mediana com valor de 25,18 km/h (95% I.C. [23,90, 25,80]), ao passo que as deflexões de 30° apresentaram o maior valor de mediana com 34,40 (95% I.C. [33,10, 38,40]), km/h. Os valores entre colchetes representam os valores inferiores e superiores do intervalo de confiança (testados a 95%).

O teste de Mood aplicado nas medianas retornou um p-valor < 0,05, o que quer dizer que dentre as amostras comparadas, pelo menos uma delas é estatisticamente diferente das demais. O teste pareado para as medianas das velocidades nas curvas indicou que as deflexões de 30° se apresentam em um grupo único, o mesmo acontecendo para as deflexões de 60° e finalmente, as deflexões de 90 e 120° sendo agrupadas conjuntamente (p-valor > 0,05 quando esse par é comparado). Tais informações são apresentadas na TABELA 7.

TABELA 7 - RESULTADO DO TESTE PAREADO DE MEDIANAS EM FUNÇÃO DA DEFLEXÃO (VELOCIDADES NA CURVA)

Pares comparados	p-valor
30 - 60	1,674e-08
30 - 90	5,558e-11
30 - 120	7,643e-12
60 - 90	1,518e-12
60 - 120	1,564e-06
90 - 120	0,0557

FONTE: O autor (2022).

As mesmas análises foram efetuadas considerando as variações de velocidade para as diferentes deflexões. A TABELA 8 apresenta as estatísticas descritivas para essas situações.

TABELA 8 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS PARA ΔV EM FUNÇÃO DA DEFLEXÃO

Deflexão	N	Média (km/h)	DesvPad (km/h)	Mínimo (km/h)	Mediana (km/h)	Máximo (km/h)
30	45	6,71	5,39	0,02	5,58	23,87
60	148	12,24	7,46	0,05	11,36	34,80
90	961	16,25	7,02	0,03	16,42	38,05
120	47	17,95	8,29	1,16	17,73	33,57

FONTE: O autor (2022).

Os menores valores de variação de velocidade (ΔV) encontram-se nos cruzamentos a 30°, com mediana de 5,58 km/h (95% I.C. [3,96, 7,24]), seguido do grupo de 60° com redução mediana de 11,36 km/h (95% I.C. [9,60, 13,00]) e o grupo de 90° com redução mediana de 16,42 km/h (95% I.C. [15,70, 17,00]), ao passo que as maiores reduções estão no grupo de deflexão de 120°, com mediana de 17,73 km/h (95% I.C. [14,60, 20,60]). Os valores entre colchetes representam os intervalos de inferiores e superiores do intervalo de confiança (testado a 95%).

No caso das variações das velocidades, o teste de Mood aplicado nas medianas retornou também um p-valor $< 0,05$, o que quer dizer que dentre as amostras comparadas, pelo menos uma delas é estatisticamente diferente das demais. O teste pareado para as medianas das variações de velocidades indicou que as deflexões de 90 e 120° apresentam-se como um grupo único (não há diferença

entre as amostras), sendo os outros ângulos de deflexão cada um em um agrupamento separado. A TABELA 9 apresenta a comparação par a par e o p-valor encontrado para cada um dos casos.

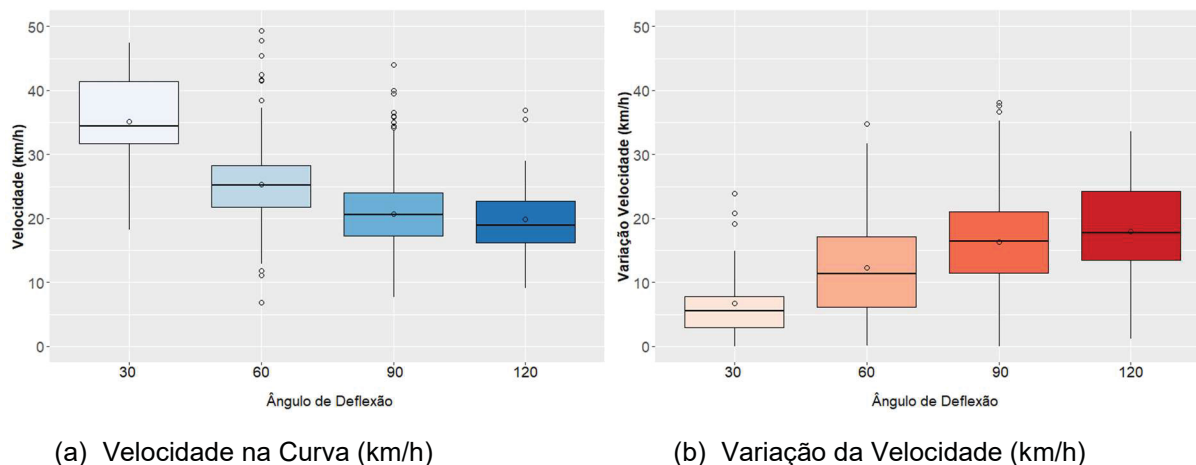
TABELA 9 - RESULTADO DO TESTE PAREADO DE MEDIANAS EM FUNÇÃO DA DEFLEXÃO (ΔV)

Pares comparados	p-valor
30 - 60	0,0001
30 - 90	2,758e-09
30 - 120	2,137e-08
60 - 90	8,184e-07
60 - 120	2,494e-05
90 - 120	0,2959

FONTE: O autor (2022).

As estatísticas descritivas tanto para velocidade em curva quanto para variação de velocidade estão apresentadas no GRÁFICO 5.

GRÁFICO 5 - DIAGRAMA DE CAIXAS PARA VELOCIDADE (KM/H) EM FUNÇÃO DA DEFLEXÃO



FONTE: O autor (2022).

Nesses cenários as deflexões de 90° e 120° foram agrupadas em uma mesma categoria tanto para as velocidades em curva quanto para as reduções de velocidade entre a reta anterior e o movimento de conversão. Sob esse aspecto, cabe ressaltar a baixa incidência de manobras em cruzamentos com deflexão de 120°, em contraponto aos de 90°, amplamente mais numerosos que as demais.

O resultado mostra-se coincidente com a hipótese empírica de maior redução de velocidade em curvas mais fechadas (com maior ângulo de deflexão), visto que a

variação de velocidade aumenta conforme se aumenta o ângulo de deflexão. Segundo apontam Obaidat e Mohammad (2012), os condutores tendem a manter as velocidades em curvas que apresentem baixos valores de deflexão, pois se aproximam mais das situações das retas que antecedem as curvas.

4.3 VELOCIDADE DE ACORDO COM A DIREÇÃO DA CONVERSÃO

Conforme explicitado anteriormente, os testes a partir desse ponto levaram em consideração apenas as curvas com deflexão na faixa de 90° e, portanto, comparações a partir de testes paramétricos.

A segmentação de curvas quanto à direção apresentou 554 movimentos de conversão à direita e 407 à esquerda. Foram analisadas as velocidades na curva bem como as variações da velocidade (ΔV). Os valores das estatísticas descritivas para as velocidades na curva são resumidos na TABELA 10.

TABELA 10 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DE VELOCIDADE (KM/H) NA CURVA EM FUNÇÃO DA DIREÇÃO

Direção	N	Média (km/h)	DesvPad (km/h)	Mínimo (km/h)	Mediana (km/h)	Máximo (km/h)
Direita	554	19,45	4,81	7,66	19,54	35,00
Esquerda	407	22,27	5,32	8,42	22,24	43,97

FONTE: O autor (2022).

A média das velocidades na curva para conversão à esquerda resultou igual a 22,27 km/h (d.p. = 5,32 km/h), contra 19,45 km/h (d.p. = 4,81 km/h) quando consideradas as conversões à direita. Os dois grupos foram comparados por meio de um Teste-t para duas amostras (nível de significância estabelecido em 5%), cujo resultado (p -valor < 0,05) permite dizer que os grupos diferem entre si ficando as velocidades à esquerda em um patamar superior às velocidades nas curvas a direita.

Para o caso em que são comparadas as variações das velocidades, as médias das conversões à direita se apresentaram em 16,80 km/h (d.p. = 7,11 km/h), enquanto as conversões à esquerda ficaram no patamar médio de 15,50 km/h (d.p. = 6,83 km/h), sendo os valores apresentados na TABELA 11

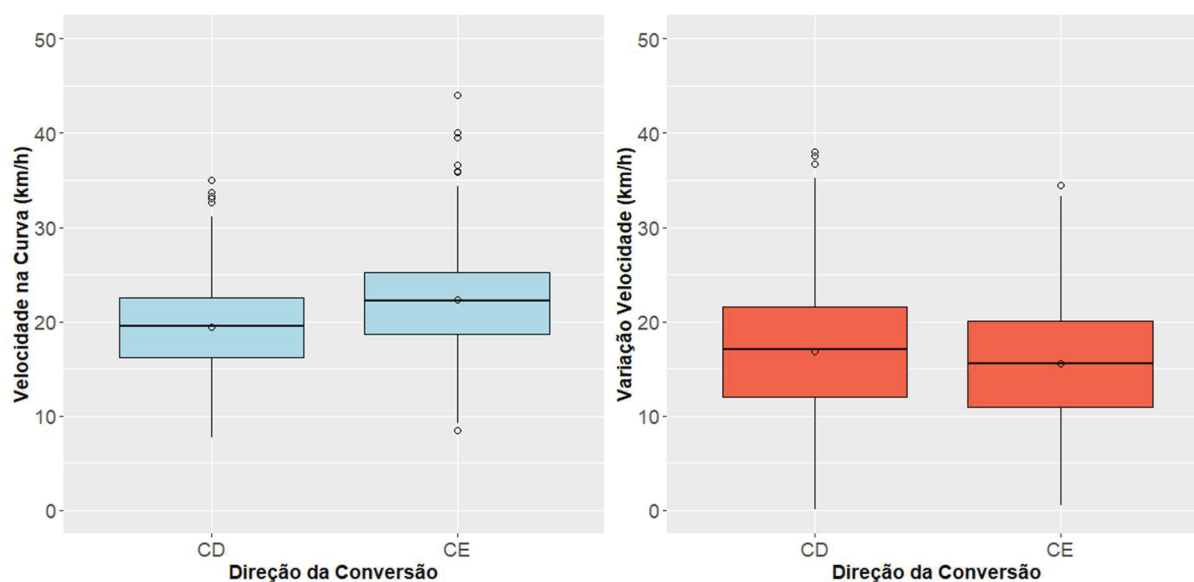
TABELA 11 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS ΔV (KM/H) NAS CURVAS EM FUNÇÃO DA DIREÇÃO

Direção	N	Média (km/h)	DesvPad (km/h)	Mínimo (km/h)	Mediana (km/h)	Máximo (km/h)
Direita	554	16,80	7,11	0,03	17,02	38,05
Esquerda	407	15,50	6,83	0,52	15,56	34,43

FONTE: O autor (2022).

As informações de estatísticas descritivas para as velocidades na curva e variações de velocidade podem ser visualizadas no GRÁFICO 6.

GRÁFICO 6 - DIAGRAMA DE CAIXAS PARA AS VELOCIDADES (KM/H) DE ACORDO COM A DIREÇÃO



(a) Velocidade na Curva (km/h)

(b) Variação da Velocidade (km/h)

FONTE: O autor (2022).

A análise da variação da velocidade nas conversões segmentadas em conversões à esquerda ou à direita mostrou que curvas à esquerda apresentam menor variação que as curvas à direita (teste-t, p-valor < 0,05).

Quando observadas as velocidades na curva, as velocidades praticadas nas conversões à esquerda se mostraram superiores que aquelas à direita, o que coincide com os dados encontrados por Wang (2006) em sua modelagem matemática para as velocidades em curvas. No estudo, o autor atribuiu esse aspecto à maior distância de

visibilidade disponível aos condutores ao executar manobras de conversão à esquerda.

Muitas das conversões à esquerda praticadas são aquelas em que o veículo aguarda uma brecha no movimento de sentido oposto para executar o movimento. Como a seleção prévia de curvas eliminou aquelas em que o veículo precisou aguardar para fazer a conversão, resulta que as conversões à esquerda efetuadas foram aquelas executadas com velocidade mais elevadas de modo a aproveitar a brecha existente na faixa de sentido oposto.

4.4 VELOCIDADE DE ACORDO COM O RAIOS NAS ESQUINAS

Ao segmentar as amostras pelos raios presentes nas esquinas, tendo sido consideradas apenas as conversões à direita, foram encontrados, no total 536 movimentos de conversão. Desses, 202 movimentos em raios menores ou iguais a 5 metros, 193 em raios entre 5 e 7 metros (inclusive), 122 em raios entre 7 e 10 (inclusive) e 19 em raios maiores que 10 metros. Tanto a velocidade em curva quanto a variação de velocidade foram comparadas a partir da análise de variância ANOVA. A TABELA 12 apresenta as estatísticas descritivas para as situações de velocidade na curva.

TABELA 12 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS VELOCIDADES NA CURVA (KM/H) DE ACORDO COM OS RAIOS

Raio	N	Média (km/h)	DesvPad (km/h)	Mínimo (km/h)	Mediana (km/h)	Máximo (km/h)
Menor que 5	202	18,28	4,92	7,66	17,92	33,27
Entre 5 e 7	193	19,76	4,59	9,92	19,67	35,00
Entre 7 e 10	122	20,41	4,34	10,17	20,29	33,11
Maior que 10	19	23,60	5,51	10,27	24,31	33,73

FONTE: O autor (2022).

Os valores mais elevados de velocidade na curva foram encontrados nas conversões em raios maiores que 10 metros, com média de 23,60 km/h (d.p. = 5,51 km/h). Conforme a segmentação de intervalo de raios decresce, foram encontrados valores mais baixos para as médias de velocidade na curva, com os raios entre 7 e 10m apresentando velocidade média de 20,41 km/h (d.p. = 4,34 km/h), entre 5 e 7m com valor médio de 19,76 km/h (d.p. = 4,59 km/h) e finalmente o intervalo que engloba

os menores valores de raio apresentando valor médio de velocidade de 18,28 km/h (d.p. = 4,92 km/h).

Os resultados da análise de variância indicaram haver diferença entre os grupos (p -valor $< 0,05$), sendo que o teste de *Tukey* (95% I.C. para as médias) apresentou três classificações, ficando o intervalo entre 7 e 10m compartilhando a classificação com o grupo com raios entre 5 e 7m. Os raios menores que 5m apresentaram-se como um grupo totalmente distinto (com as menores médias), bem como o grupo de raios maiores que 10m (por sua vez, apresentando os maiores valores de velocidades médias), conforme pode ser observado na TABELA 13. O agrupamento leva em consideração os valores das médias, dos maiores para os menores.

TABELA 13 - RESULTADO TESTE ANOVA PARA VELOCIDADES NA CURVA (KM/H) DE ACORDO COM OS RAIOS

Raio	N	Média (km/h)	ANOVA (p-valor)	Resíduos (p-valor)	Variância (p-valor)	Agrupamento
Menor que 5	202	18,28	4,5e-06	0,3833	0,3256	C
Entre 5 e 7	193	19,76				B
Entre 7 e 10	122	20,41				B
Maior que 10	19	23,60				A

FONTE: O autor (2022).

Os pressupostos da ANOVA foram atendidos. Além da normalidade na distribuição dos dados (já verificada anteriormente), os outros pressupostos dizem respeito aos grupos apresentarem homogeneidade de variâncias e a normalidade dos resíduos. A homogeneidade de variâncias foi avaliada a partir do Teste de Bartlett (p -valor $> 0,05$) e os resíduos a partir do Teste de Anderson-Darling (p -valor $> 0,05$), ambos para o nível de significância de 5%.

Considerando a variação de velocidade, a TABELA 14 apresenta as estatísticas descritivas para essas situações.

TABELA 14 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS PARA VARIAÇÃO DE VELOCIDADE (KM/H) DE ACORDO COM OS RAIOS

Raio	N	Média (km/h)	DesvPad (km/h)	Mínimo (km/h)	Mediana (km/h)	Máximo (km/h)
Menor que 5	202	16,42	7,00	0,19	16,31	38,05
Entre 5 e 7	193	16,83	7,24	0,03	17,50	36,69
Entre 7 e 10	122	17,13	7,20	0,83	17,39	33,41
Maior que 10	19	17,80	7,23	2,96	17,86	30,46

FONTE: O autor (2022).

Os valores mais acentuados de variação de velocidade foram encontrados nas conversões em raios maiores, sendo que no intervalo de raios maiores que 10 metros, apresentou média de 17,80 km/h (d.p. = 7,23 km/h), seguido pelos raios entre 7 e 10m (média de 17,13 km/h, d.p. = 7,20 km/h), em seguida raios entre 5 e 7m (média de 16,83 km/h, d.p.= 7,24 km/h) e finalmente os raios menores que 5 m (média de 16,42 km/h, d.p. = 7,00 km/h).

Porém, diferente da situação de velocidade na curva, os resultados encontrados para a variação de velocidade não apresentaram diferenças significativas entre si, sendo todas as médias classificadas como um único grupo (teste ANOVA, p-valor > 0,05). Essa informação é verificada pela validação dos testes de normalidade dos resíduos (Teste de Anderson-Darling, p-valor > 0,05) e homogeneidade das variâncias (Teste de Bartlett, p-valor > 0,05), ambos para nível de significância de 5%. Essas informações são apresentadas na TABELA 15.

TABELA 15 - RESULTADO TESTE ANOVA PARA VARIAÇÃO DE VELOCIDADES (KM/H) DE ACORDO COM OS RAIOS

Raio	N	Média (km/h)	ANOVA (p-valor)	Resíduos (p-valor)	Variância (p-valor)	Agrupamento
1.Menor que 5	206	16,39	0,7530	0,7021	0,9674	A
2.Entre 5 e 7	199	16,80				A
3.Entre 7 e 10	126	17,31				A
4.Maior que 10	23	17,75				A

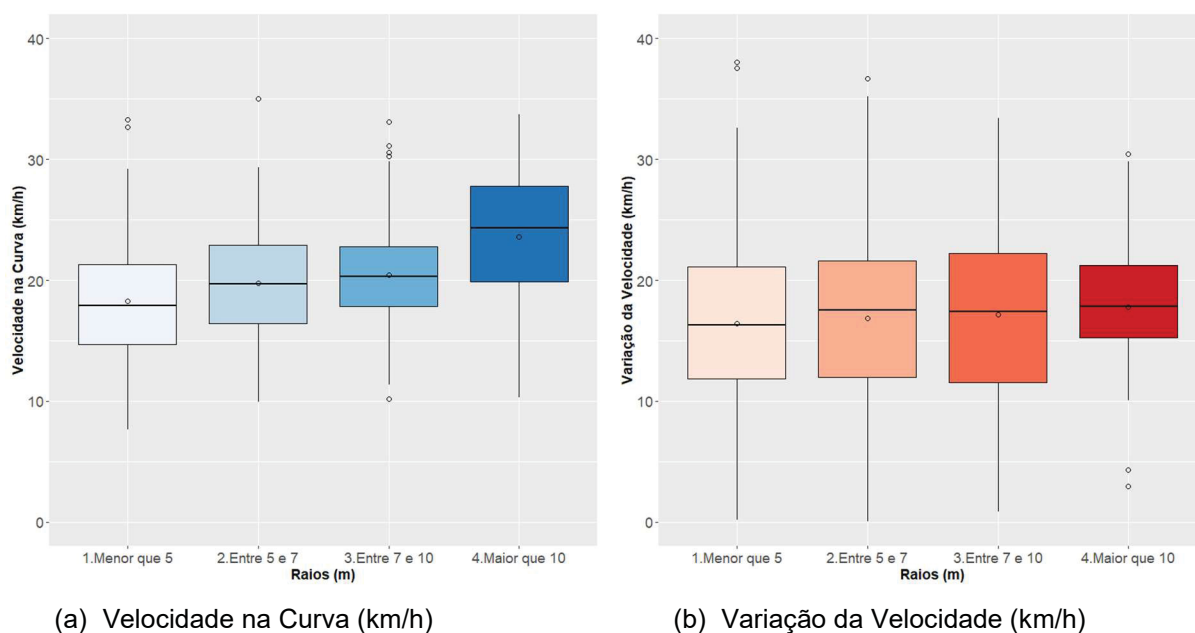
FONTE: O autor (2022).

A variação de velocidade não apresentou diferenças em relação à variação do raio e isso pode estar relacionado com o fato de raios maiores estarem localizados

em regiões onde os veículos normalmente desenvolvem velocidades mais elevadas. Esse item em específico pode vir a ser aprofundado em trabalhos futuros para comprovar ou refutar essa hipótese.

As informações das velocidades na curva e da variação de velocidade estão graficamente demonstradas no GRÁFICO 7.

GRÁFICO 7 - DIAGRAMA DE CAIXAS PARA AS VELOCIDADES (KM/H) DE ACORDO COM OS RAIOS



FONTE: O autor (2022).

Apesar da variação de velocidade não apresentar diferenças em relação ao raio, o resultado observado para as velocidades nas curvas é condizente com um comportamento de velocidade mais elevada conforme aumenta-se o raio disponível. Esse resultado, elencado em manuais diretivos como o do município de São Paulo, também é coincidente com o apontado por Fitzpatrick, Pratt e Avelar (2021), que encontraram uma diferença de 6,5 km/h para valores de raios variando entre 4,5 e 21 metros. Aqui, os resultados apontam para uma diferença, em média, de 5,32 km/h entre os valores menores e maiores de raio.

Outros aspectos que não foram levados em consideração e podem vir a influenciar os condutores dizem respeito à existência de estacionamentos (a presença ou não de veículos estacionados pode influenciar no trajeto efetuado na manobra de conversão) ou mesmo a existência de ciclovias.

4.5 VELOCIDADE DE ACORDO COM O CONTROLE DE PREFERENCIAL

Ao considerar o controle de preferencial da via de origem da conversão, foram analisadas situações de movimento proveniente de via com controle de semáforo, ou oriundo de via preferencial ou de via secundária (com sinal “Dê a preferência” ou “PARE”). Do total, os movimentos oriundos de vias preferenciais somam 417 eventos, cruzamentos com controle semaforico somam 359 eventos e os movimentos oriundos e os de via secundária, 185. O número mais baixo de movimentos de conversão originados em vias secundárias pode ser explicado pela etapa de tratamento dos dados em que não foram considerados movimentos de conversão que apresentaram paradas ou deslocamento muito lentos próximos ao cruzamento (acúmulo de pontos de registro de velocidade em análise realizada manualmente na base cartográfica). A TABELA 16 apresenta as estatísticas descritivas para as situações de velocidade na curva.

TABELA 16 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS PARA VELOCIDADES NA CURVA (KM/H) DE ACORDO COM O CONTROLE DE PREFERENCIAL

Controle	N	Média (km/h)	DesvPad (km/h)	Mínimo (km/h)	Mediana (km/h)	Máximo (km/h)
Preferencial	417	20,40	4,62	10,25	20,00	36,57
Secundário	185	17,59	6,08	7,66	16,74	43,97
Semáforo	359	22,50	4,57	10,17	22,41	39,47

FONTE: O autor (2022).

Ao analisar as velocidades na curva, os maiores valores são encontrados nos movimentos em cruzamentos semaforizados com média de 22,50 km/h (d.p. = 4,57 km/h), ao passo que os movimentos em vias preferenciais registraram média de 20,40 km/h (d.p. = 4,62 km/h) e finalmente, os movimentos em vias secundárias registraram valor médio de 17,59 km/h (d.p. = 6,08 km/h).

Esses valores foram comparados a partir de análise de variâncias (ANOVA) que indicou haver diferenças entre as amostras ($p\text{-valor} < 0,05$), sendo cada uma das situações classificada em grupo diferente, conforme demonstrado na TABELA 17. O agrupamento leva em consideração os valores das médias, do maior para o menor.

TABELA 17 - RESULTADO TESTE ANOVA VELOCIDADE NA CURVA (KM/H) DE ACORDO COM O CONTROLE DE PREFERENCIAL

Controle	N	Média (km/h)	ANOVA (p-valor)	Resíduos (p-valor)	Variância (p-valor)	Agrupamento
Preferencial	417	20,40	0,0000	1,902e-06	2,304e-06	B
Secundário	185	17,59				C
Semáforo	359	22,50				A

FONTE: O autor (2022).

No entanto, a análise fica comprometida ao verificar que os resíduos não atendem ao requisito de normalidade (teste de Anderson-Darling, p-valor < 0,05) nem homogeneidade das variâncias (Teste de Bartlett, p-valor < 0,05), ambos especificados ao nível de significância de 5%.

A TABELA 18 apresenta as estatísticas descritivas para as variações de velocidade quando segmentando pelo controle de preferencial.

TABELA 18 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS PARA VARIAÇÃO DE VELOCIDADE (KM/H) DE ACORDO COM O CONTROLE DE PREFERENCIAL

Controle	N	Média (km/h)	DesvPad (km/h)	Mínimo (km/h)	Mediana (km/h)	Máximo (km/h)
Preferencial	417	17,20	6,47	0,19	17,67	37,57
Secundário	185	19,17	6,98	0,41	18,84	38,05
Semáforo	359	13,65	6,80	0,03	13,18	30,68

FONTE: O autor (2022).

Nesse caso, as maiores variações são encontradas para as conversões provenientes de vias secundárias (média de 19,17 km/h, d.p. = 6,98 km/h), seguidas daquelas provenientes de vias preferenciais (média de 17,20 km/h, d.p. = 6,47 km/h) e com patamares mais baixos, as conversões ocorridas em vias semaforizadas (média de 13,65 km/h, d.p. = 6,80 km/h).

Esses valores de variação e velocidade apresentam diferenças significativas entre si, sendo todas as médias classificadas cada um em um grupo separado (teste ANOVA, p-valor < 0,05). Tal informação é confirmada pela validação dos testes de normalidade dos resíduos (Teste de Anderson-Darling, p-valor = 0,8922) e homogeneidade das variâncias (Teste de Bartlett, p-valor = 0,4174), ambos para nível de significância de 5%. Essas informações são apresentadas na TABELA 19.

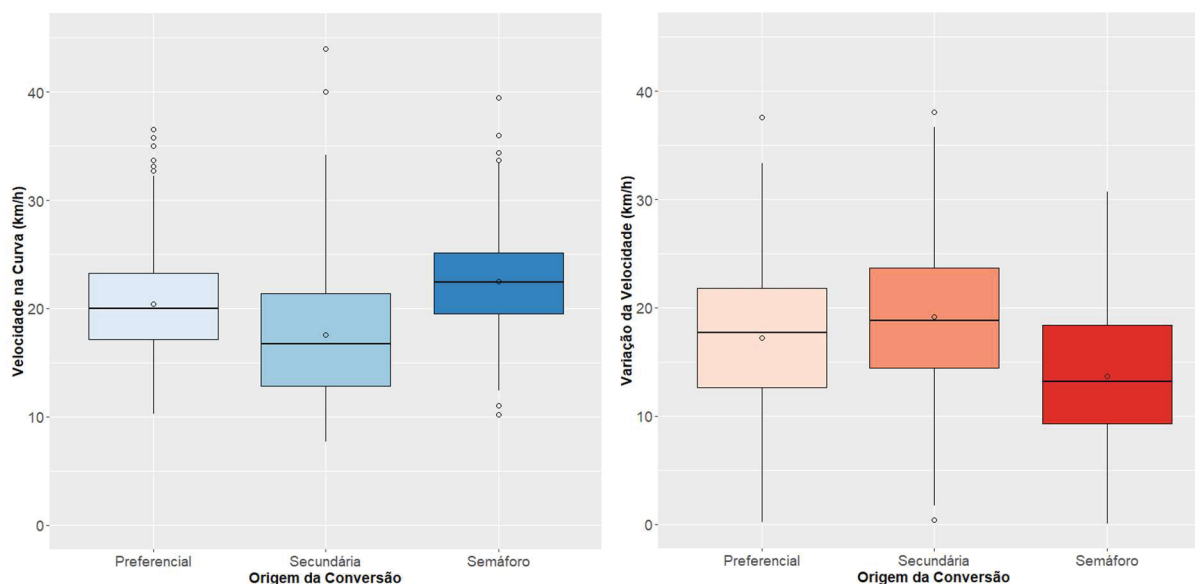
TABELA 19 - RESULTADO TESTE ANOVA PARA VARIAÇÃO DE VELOCIDADE (KM/H) DE ACORDO COM O CONTROLE DE PREFERENCIAL

Controle	N	Média (km/h)	ANOVA (p-valor)	Resíduos (p-valor)	Variância (p-valor)	Agrupamento
Preferencial	417	17,20	< 0,05	0,8922	0,4174	B
Secundário	185	19,17				A
Semáforo	359	13,65				C

FONTE: O autor (2022).

As informações de velocidade na curva e variação de velocidade são apresentadas no GRÁFICO 8.

GRÁFICO 8 - DIAGRAMA DE CAIXAS PARA AS VELOCIDADES (KM/H) DE ACORDO COM O CONTROLE DE PREFERENCIAL



(a) Velocidade na Curva (km/h)

(b) Variação da Velocidade (km/h)

FONTE: O autor (2022).

O resultado observado é condizente com um comportamento de maior redução de velocidade conforme diminui a prioridade para a conversão. Em cruzamentos com controle semaforizado, o condutor do veículo que faz a conversão não precisa prestar atenção em movimentos conflitantes, diferentemente de conversões oriundas de vias secundárias (com sinalização de “PARE” ou “Dê a Preferência”). No caso das vias preferenciais (não semaforizadas), ainda que a prioridade seja para o seu próprio movimento, veículos aguardando nas vias secundárias podem exercer efeito na velocidade de conversão, se apresentando,

portanto, em um patamar intermediário de redução de velocidade entre as vias semaforizadas e a secundárias.

4.6 VELOCIDADE DE ACORDO COM DISPOSITIVOS DE DEFLEXÃO VERTICAL ANTERIOR À CURVA

A segmentação de curvas quanto à presença de deflexão vertical anterior à curva apresentou 905 movimentos de conversão sem a presença de tais dispositivos contra apenas 56 que contavam com lombadas ou plataformas elevadas. Os valores das estatísticas descritivas são resumidos na TABELA 20.

TABELA 20 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS PARA VELOCIDADE NA CURVA (KM/H) DE ACORDO COM A PRESENÇA DE DEFLEXÕES VERTICAIS

Presença de Deflexão Vertical	N	Média (km/h)	DesvPad (km/h)	Mínimo (km/h)	Mediana (km/h)	Máximo (km/h)
Sem Deflexão Vert.	905	20,69	5,21	7,66	20,63	43,97
Com Deflexão Vert.	56	19,87	5,36	10,32	19,67	40,00

FONTE: O autor (2022).

A média das velocidades na curva para situações sem os dispositivos resultou igual a 20,69 km/h (d.p. = 5,21 km/h) contra 19,87 km/h (d.p. = 5,36 km/h) quando considerada a ocorrência desses elementos. Os dois grupos foram comparados por meio de um Teste-t para duas amostras (nível de significância estipulado em 5%), cujo resultado (p-valor = 0,2675) não permite dizer que as velocidades sem tais dispositivos se apresentam em um patamar superior às velocidades onde sua presença é verificada.

Já para o caso da variação de velocidade, os valores médios da redução ficaram em 16,55 km/h (d.p. = 6,98 km/h) quando os dispositivos estão ausentes e em 11,42 km/h (d.p. = 5,88 km/h) para sua presença, descritos na TABELA 21. Neste caso, o Teste-t para duas amostras (nível de significância estipulado em 5%) apresentou diferença significativa entre as duas amostras (p-valor < 0,05), sendo os valores sem dispositivos de deflexão superiores àqueles com sua presença.

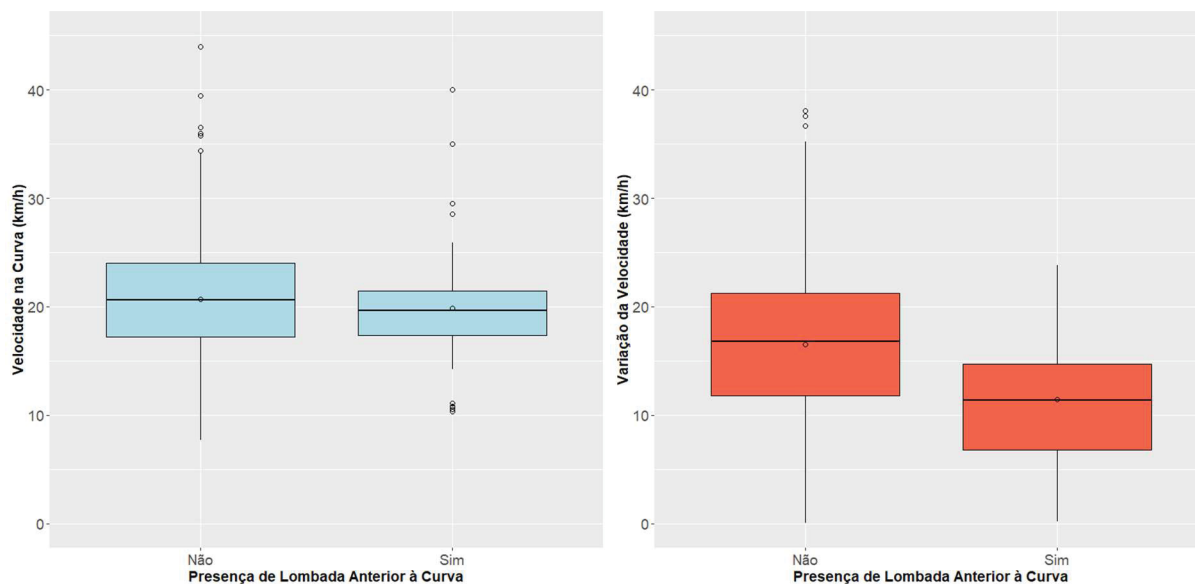
TABELA 21 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS PARA VARIAÇÃO DA VELOCIDADE (KM/H) DE ACORDO COM A PRESENÇA DE DEFLEXÕES VERTICAIS

Presença de Deflexão Vertical	N	Média (km/h)	DesvPad (km/h)	Mínimo (km/h)	Mediana (km/h)	Máximo (km/h)
Sem Deflexão Vert.	905	16,55	6,98	0,03	16,81	38,05
Com Deflexão Vert.	56	11,42	5,88	0,19	11,37	23,81

FONTE: O autor (2022).

As informações de velocidade na curva e variação de velocidade são apresentadas no GRÁFICO 9.

GRÁFICO 9 - DIAGRAMA DE CAIXAS PARA AS VELOCIDADES (KM/H) DE ACORDO COM A PRESENÇA DE DEFLEXÕES VERTICAIS



(a) Velocidade na Curva (km/h)

(b) Variação da Velocidade (km/h)

FONTE: O autor (2022).

A redução da velocidade com a presença de lombada é inferior à redução quando esse dispositivo não está presente. Esse é um indicativo de que o dispositivo traz os veículos a patamares mais próximos da velocidade de conversão considerada como ideal para a realização do movimento por parte dos condutores, uma vez que não foram identificadas diferenças estatisticamente significativas na velocidade na curva entre as duas situações.

É importante destacar que não foram consideradas as distâncias das deflexões verticais em relação ao PC. Todos os dispositivos encontram-se, todavia, compreendidos dentro do intervalo de 50 metros considerado para as análises.

O resultado observado condiz com os estudos de Pau e Angius (2001) e Yeo et al. (2020), os quais identificaram a influência de deflexões verticais na redução de velocidades na faixa de até aproximadamente 30 metros, de modo que, estando próximo a um cruzamento, tais dispositivos trazem os veículos a velocidades mais próximas da velocidade considerada ideal para a conversão.

4.7 VELOCIDADE DE ACORDO COM A DECLIVIDADE

Ao considerar a declividade da via de origem da conversão, foram analisadas situações de movimento em aclave (declividade calculada superior a +2%), plano (declividade entre -2% a +2%) e declive (declividade calculada inferior a -2%). Do total, os movimentos em situação de aclave somaram 301 ocorrências, declive somaram 289 e finalmente situações em vias planas totalizaram 371 conversões.

A TABELA 22 apresenta as estatísticas descritivas para as situações de velocidade na curva.

TABELA 22 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS PARA VELOCIDADES NA CURVA (KM/H) DE ACORDO COM A DECLIVIDADE DA VIA

Declividade	N	Média (km/h)	DesvPad (km/h)	Mínimo (km/h)	Mediana (km/h)	Máximo (km/h)
Aclave	301	20,08	5,05	8,94	19,80	40,00
Declive	289	20,69	5,45	7,97	20,80	36,57
Plano	371	21,07	5,14	7,66	20,73	43,97

FONTE: O autor (2022).

Ao analisar as velocidades na curva, os maiores valores são encontrados nos movimentos em cruzamentos planos com média de 21,07 km/h (d.p. = 5,14 km/h), ao passo que os movimentos em declive registraram média de 20,69 km/h (d.p. = 5,45 km/h) e finalmente, os movimentos em aclave registraram valor médio de 20,08 km/h (d.p. = 5,05 km/h).

No entanto, apesar dos valores numericamente diferentes, a análise de variâncias (ANOVA, nível de significância de 5%) indicou não haver diferenças entre as amostras (p-valor > 0,05). A análise atende os pressupostos, pois os resíduos atendem ao requisito de normalidade (teste de Anderson-Darling, p-valor > 0,05) bem como a homogeneidade das variâncias (Teste de Bartlett, p-valor > 0,05), ambos especificados ao nível de significância de 5%, conforme indicado na TABELA 23.

TABELA 23 - RESULTADOS TESTE ANOVA PARA VELOCIDADES NA CURVA (KM/H) DE ACORDO COM A DECLIVIDADE DA VIA

Declividade	N	Média (km/h)	ANOVA (p-valor)	Resíduos (p-valor)	Variância (p-valor)	Agrupamento
Aclive	301	20,08	0,0506	0,0647	0,4008	A
Declive	289	20,69				A
Plano	371	21,07				A

FONTE: O autor (2022).

A TABELA 24 apresenta as estatísticas descritivas para as situações de variação de velocidade.

TABELA 24 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS PARA VARIAÇÕES DE VELOCIDADES (KM/H) DE ACORDO COM A DECLIVIDADE DA VIA

Declividade	N	Média (km/h)	DesvPad (km/h)	Mínimo (km/h)	Mediana (km/h)	Máximo (km/h)
Aclive	301	16,42	7,13	0,64	16,36	38,05
Declive	289	15,42	7,25	0,24	15,31	37,57
Plano	371	16,77	6,71	0,03	17,05	33,88

FONTE: O autor (2022).

No caso das variações de velocidade, os maiores valores são encontrados nos cruzamentos planos com média de 16,77 km/h (d.p. = 6,71 km/h), ao passo que os movimentos em aclive registraram média de 16,42 km/h (d.p. = 7,13 km/h) e finalmente, os movimentos em declive registraram valor médio de 15,42 km/h (d.p. = 7,25 km/h). Esses valores foram comparados a partir de análise de variâncias (ANOVA para nível de significância em 5%) que indicou haver diferenças entre as amostras (p-valor < 0,05), conforme demonstrado na TABELA 25. O agrupamento (Análise de Tukey) leva em consideração os valores das médias, do maior para o menor.

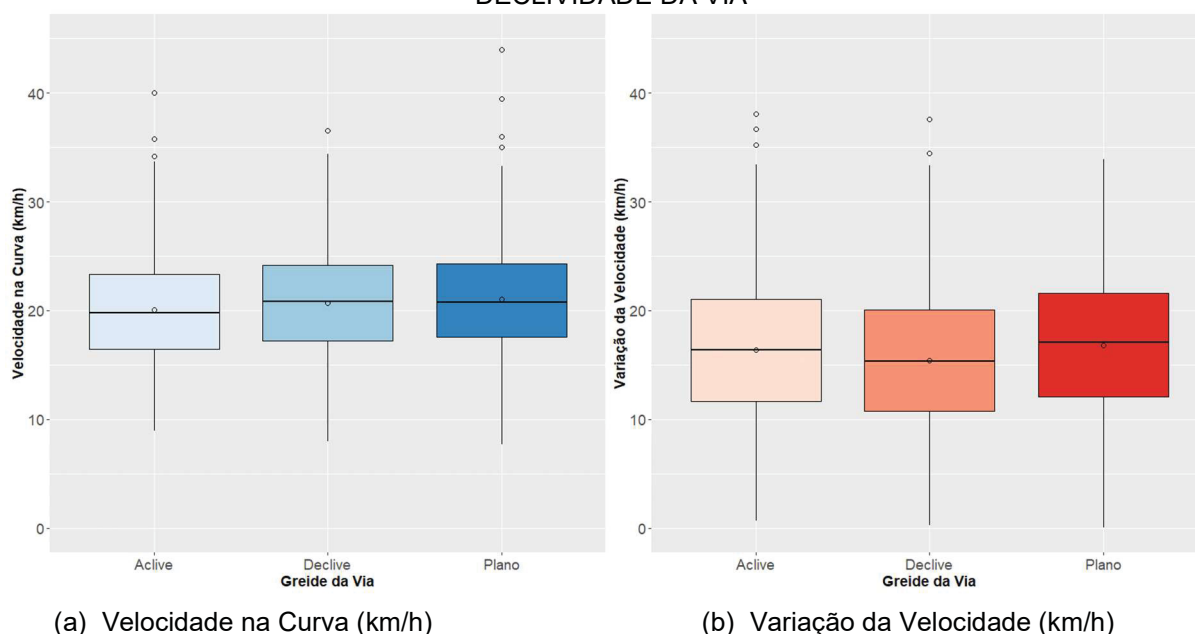
TABELA 25 - RESULTADOS TESTE ANOVA PARA VARIAÇÕES DE VELOCIDADES (KM/H) DE ACORDO COM A DECLIVIDADE DA VIA

Declividade	N	Média (km/h)	ANOVA (p-valor)	Resíduos (p-valor)	Variância (p-valor)	Agrupamento
Aclive	301	16,42	< 0,05	0,3018	0,3391	A B
Declive	289	15,42				B
Plano	371	16,77				A

FONTE: O autor (2022).

Dois agrupamentos foram encontrados. Os movimentos ocorridos em situação de aclave compartilham semelhanças de redução de velocidade com os movimentos em declive e em região plana, que por sua vez apresentaram-se com comportamentos distintos. Esses dados estão visualmente demonstrados no GRÁFICO 10.

GRÁFICO 10 - DIAGRAMA DE CAIXAS PARA AS VELOCIDADES DE ACORDO COM A DECLIVIDADE DA VIA



FONTE: O autor (2022).

Como não há diferença de velocidade na curva comparando as três situações, é possível que os condutores ajustem suas velocidades previamente ao início da curva de acordo com a situação da via de origem, adotando velocidades mais baixas em situações de percepção de maior risco como a reta de entrada em declive, por exemplo. Outra causa que pode ter influência e ser objeto de estudo futuro diz respeito à motorização dos veículos. Em situações de aclave acentuado, veículos mais potentes podem apresentar resultados diferentes daqueles com motores menos potentes.

Em todo caso, o resultado segue os estudos de Poe e Mason (2000), Obaidat e Mohammad (2012) e Eluru *et al.* (2013) de que o greide exerce influência na velocidade dos veículos.

4.8 VELOCIDADE DE ACORDO COM A CONDIÇÃO CLIMÁTICA

As conversões sob condições de chuva totalizaram 96 ocorrências contra 865 sem chuva. Na sequência são abordadas as análises envolvendo a velocidade em curva bem como a variação de velocidade.

Ao considerar a velocidade na curva, para os cenários com chuva e sem chuva, tem-se os valores apresentados na TABELA 26.

TABELA 26 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DE VELOCIDADE NA CURVA (KM/H) DE ACORDO COM A CONDIÇÃO CLIMÁTICA

Condição	N	Média (km/h)	DesvPad (km/h)	Mínimo (km/h)	Mediana (km/h)	Máximo (km/h)
Sem Chuva	865	20,80	5,28	7,66	20,60	43,97
Com Chuva	96	19,26	4,48	9,92	19,75	30,12

FONTE: O autor (2022).

A média das velocidades para tempo sem chuva foi de 20,80 km/h (d.p. = 5,80 km/h), ao passo que para o tempo com chuva, a velocidade média foi de 19,26 km/h (d.p. = 4,48 km/h). A comparação entre as duas amostras se deu através de um Teste-t (nível de significância de 5%), que aponta para uma diferença estatisticamente significativa entre elas ($p\text{-valor} < 0,05$), sendo as velocidades sem chuva superiores às praticadas em situações com chuva.

Para o caso das variações de velocidade, na TABELA 27 é possível observar os valores das estatísticas descritivas dessas situações.

TABELA 27 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS PARA VARIAÇÃO DE VELOCIDADES (KM/H) DE ACORDO COM A CONDIÇÃO CLIMÁTICA

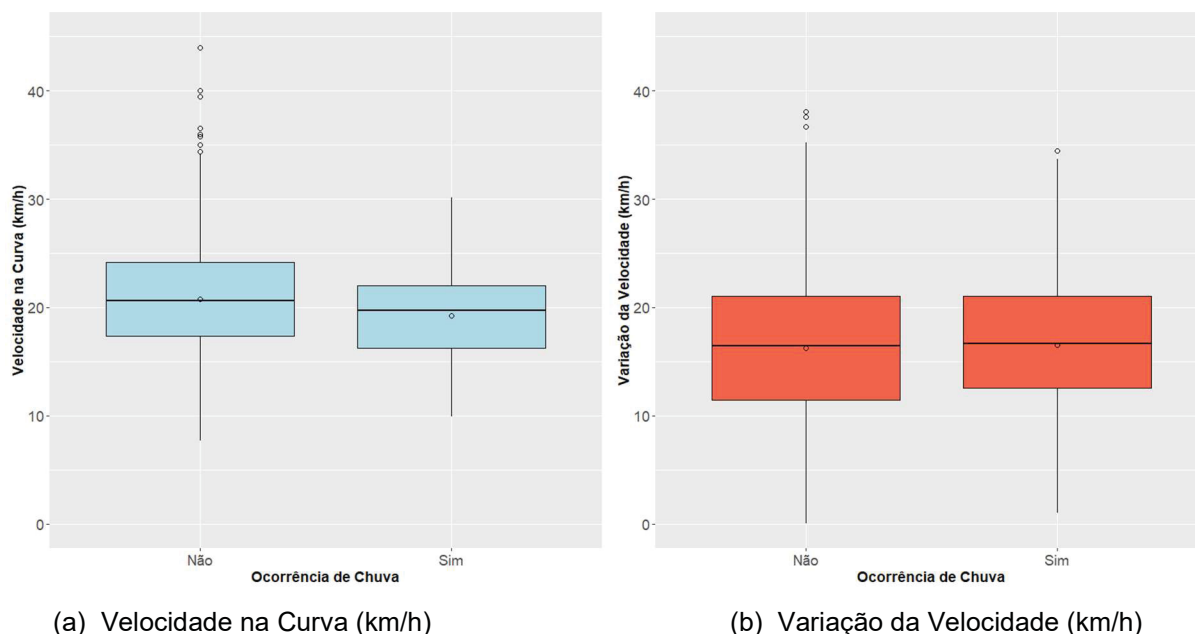
Condição	N	Média (km/h)	DesvPad (km/h)	Mínimo (km/h)	Mediana (km/h)	Máximo (km/h)
Sem Chuva	865	16,22	7,07	0,03	16,42	38,05
Com Chuva	96	16,54	6,63	1,03	16,67	34,43

FONTE: O autor (2022).

A média das situações sem presença de chuva foi 16,22 km/h (d.p. = 7,07 km/h), ao passo que com chuva, a média encontrada foi 16,54 km/h (d.p. = 6,63 km/h). Apesar do valor numericamente superior para a situação de chuva (o que poderia ser considerado condizente), a comparação estatística não permite concluir que há uma diferença entre as duas situações (Teste-t, nível de significância de 5%, $p\text{-valor} =$

0,6560). O GRÁFICO 11 traz o diagrama de caixas as velocidades em função da condição climática registrada.

GRÁFICO 11 - DIAGRAMA DE CAIXAS PARA VELOCIDADE (KM/H) DE ACORDO COM A CONDIÇÃO CLIMÁTICA



FONTE: O autor (2022).

Apesar de não ser encontrada diferença significativa na variação de velocidade em relação à curva e a reta anterior, os veículos trafegam, em geral, a velocidades mais baixas na condição com chuva (sendo esse resultado estatisticamente relevante). Esse resultado é compatível com os estudos de Ahmed e Ghasemzadeh (2018) e Wang *et al.* (2006) nos quais são encontradas reduções significativas de velocidades sob tempo chuvoso quando comparadas a situações sem chuva. Para além, o comportamento com velocidades mais baixas em condição de chuva é compreensível dada a visibilidade prejudicada e o incremento da percepção de risco dos condutores, levando à adoção de atitudes mais seguras para compensar o aumento de risco, especificamente na realização de movimentos de conversão em que a perda de controle do veículo é potencializada.

4.9 VELOCIDADE DE ACORDO COM O PERÍODO DO DIA

As conversões considerando o período do dia somaram 570 manobras de conversão no período do dia contra 391 ocorridas no período da noite. Na sequência são abordadas as análises envolvendo a velocidade em curva.

A média das velocidades em curva para os movimentos ocorridos durante o dia foi de 20,30 km/h (d.p. = 4,88 km/h), ao passo que para o período noturno, a velocidade média foi de 21,14 km/h (d.p. = 5,64 km/h), as estatísticas descritivas estão presentes na TABELA 28.

TABELA 28 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS PARA VELOCIDADES NA CURVA (KM/H) DE ACORDO COM O PERÍODO DO DIA

Período	N	Média (km/h)	DesvPad (km/h)	Mínimo (km/h)	Mediana (km/h)	Máximo (km/h)
Dia	570	20,30	4,88	7,66	20,39	35,81
Noite	391	21,14	5,64	8,42	20,98	43,97

FONTE: O autor (2022).

A comparação entre as duas amostras se deu através de um Teste-t (nível de significância de 5%), que aponta para uma diferença estatisticamente significativa entre elas (p-valor = 0,0170), sendo as velocidades em curva no período da noite superiores às praticadas durante o dia.

Na TABELA 29 é possível observar os valores das estatísticas descritivas para o caso das variações de velocidade.

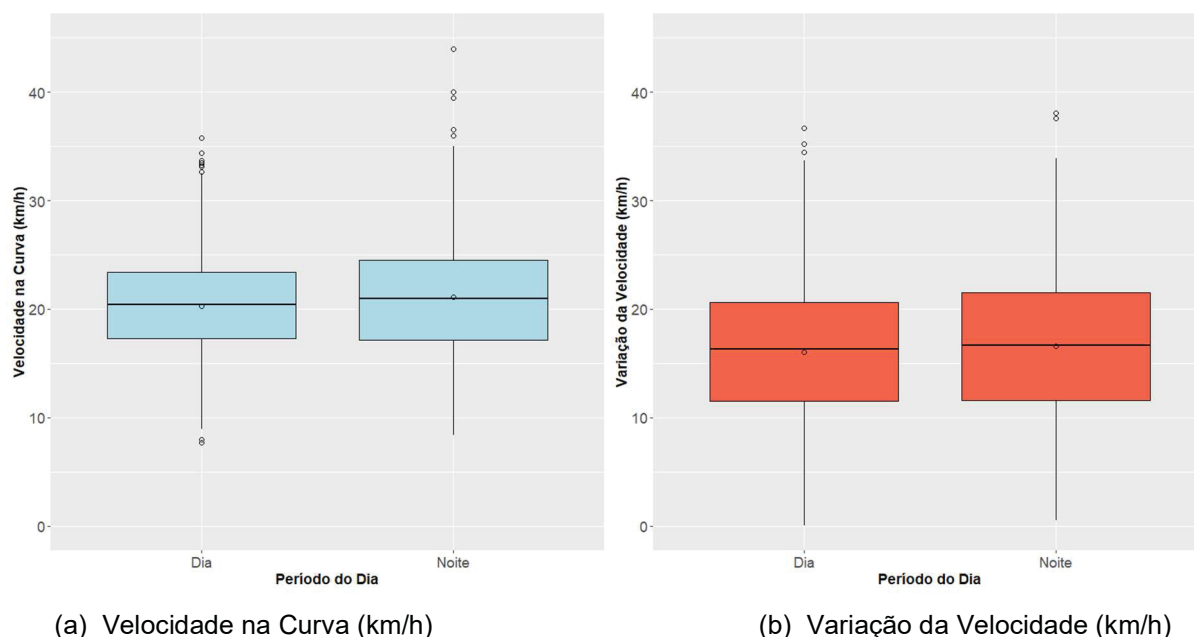
TABELA 29 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS PARA VARIAÇÕES DE VELOCIDADES (KM/H) DE ACORDO COM O PERÍODO DO DIA

Período	N	Média (km/h)	DesvPad (km/h)	Mínimo (km/h)	Mediana (km/h)	Máximo (km/h)
Dia	570	16,00	7,00	0,03	16,29	36,69
Noite	391	16,62	7,05	0,52	16,64	38,05

FONTE: O autor (2022).

A média durante o dia resultou em 16,00 km/h (d.p. = 7,00 km/h), ao passo que durante a noite, a média encontrada foi 16,62 km/h (d.p. = 7,05 km/h). Neste caso a comparação estatística não permite concluir que há uma diferença entre as duas situações (teste-t, nível de significância de 5%, p-valor = 0,1796). O GRÁFICO 12 traz o diagrama de caixas para o caso das velocidades em função do período do dia.

GRÁFICO 12 - DIAGRAMA DE CAIXAS PARA VELOCIDADES (KM/H) DE ACORDO COM O PERÍODO DO DIA



FONTE: O autor (2022).

Apesar da variação de velocidade não apontar para diferenças significativas entre as duas amostras, as velocidades nas curvas se apresentaram superiores no período da noite quando comparada ao período diurno. Tal resultado é verificado por Bassani *et al.* (2016). Essa diferença pode ser em parte explicada pelo baixo volume de tráfego em períodos noturnos o que incentivaria condutores a desenvolver velocidades mais elevadas. Convém ressaltar que Jägerbrand e Sjöbergh (2016) não encontraram diferenças significativas na velocidade quando o período do dia foi comparado com o da noite. Portanto, uma melhor investigação a respeito desse elemento pode ser necessária, levando em conta aspectos de iluminação pública (não foi feita diferenciação entre vias de boa iluminação com vias de iluminação precária por exemplo) ou mesmo percepção a riscos de segurança pública em períodos noturnos.

4.10 VELOCIDADE DE ENTRADA

A velocidade de aproximação para a curva, ou velocidade de entrada, foi segmentada em intervalos de 10 km/h. Foram considerados os intervalos de até 30 km/h (159 ocorrências), de 30 até 40 km/h (481 ocorrências), de 40 até 50 km/h (293 ocorrências) e acima de 50 km/h (28 ocorrências), sendo esses os valores da média dos 3 primeiros registros de velocidade instantânea dentro do intervalo de 50 metros

antes da curva. No caso das velocidades nas curvas, os dados são elencados na TABELA 30.

TABELA 30 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS PARA VELOCIDADES NA CURVAS (KM/H) DE ACORDO COM A VELOCIDADE DE ENTRADA

Velocidade Entrada	N	Média (km/h)	DesvPad (km/h)	Mínimo (km/h)	Mediana (km/h)	Máximo (km/h)
1.Até 30	159	17,80	4,32	7,97	18,09	25,64
2.Entre 30 e 40	481	20,14	4,73	7,66	20,10	36,57
3.Entre 40 e 50	293	22,33	5,03	9,01	22,15	34,40
4.Acima de 50	28	27,69	7,29	12,03	27,27	43,97

FONTE: O autor (2022).

A média de velocidade ficou em 17,80 km/h (d.p. = 4,32 km/h) para o intervalo de até 30 km/h, 20,14 km/h (d.p. = 4,73 km/h) para o intervalo entre 30 e 40 km/h, 22,33 km/h (d.p. = 5,03 km/h) para o intervalo de 40 a 50 km/h e, finalmente, 27,69 km/h (d.p. = 7,29 km/h) para a segmentação acima de 50 km/h.

Esses valores foram comparados a partir de análise de variâncias (ANOVA para nível de significância em 5%) que indicou haver diferenças entre as amostras (p-valor < 0,05), conforme demonstrado na TABELA 31.

TABELA 31 - RESULTADO ANOVA PARA VELOCIDADES NA CURVAS (KM/H) DE ACORDO COM A VELOCIDADE DE ENTRADA

Velocidade Entrada	N	Média (km/h)	ANOVA (p-valor)	Resíduos (p-valor)	Variância (p-valor)	Agrupamento
1.Até 30	159	17,80	< 0,05	0.9206	0.0289	D
2.Entre 30 e 40	481	20,14				C
3.Entre 40 e 50	293	22,33				B
4.Acima de 50	28	27,69				A

FONTE: O autor (2022).

O agrupamento (Análise de Tukey) leva em consideração os valores das médias, do maior para o menor, classificando cada um dos intervalos em um agrupamento diferente. O teste de normalidade dos resíduos apresentou um p-valor > 0,05, de onde compreende-se que os dados seguem uma distribuição normal. Porém, para o caso da homogeneidade das variâncias, o Teste de Bartlett (para um nível de significância de 5%) apresentou o p-valor < 0,05, de onde compreende-se que não é possível supor que as variâncias sejam homogêneas para todos os grupos.

Para o caso das variações de velocidade, as informações encontram-se consolidadas na TABELA 32.

TABELA 32 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS PARA VARIAÇÕES DE VELOCIDADE (KM/H) DE ACORDO COM AS VELOCIDADES DE ENTRADA

Velocidade Entrada	N	Média (km/h)	DesvPad (km/h)	Mínimo (km/h)	Mediana (km/h)	Máximo (km/h)
1.Até 30	159	7,83	4,74	0,03	7,79	19,27
2.Entre 30 e 40	481	15,27	5,06	1,73	15,02	27,74
3.Entre 40 e 50	293	21,58	5,21	9,95	21,27	36,69
4.Acima de 50	28	25,27	6,79	13,38	25,55	38,05

FONTE: O autor (2022).

As menores médias foram encontradas no intervalo de até 30 km/h, com redução média de 7,83 km/h (d.p. = 4,74 km/h), seguidas do grupo de 30 a 40 km/h, com redução média de 15,27 km/h (d.p. = 5,06 km/h) e do grupo de 40 a 50 km/h, com média de 21,58 km/h (d.p. = 5,21 km/h), ao passo que as maiores reduções foram identificadas no grupo de mais de 50 km/h, com média de 25,27 km/h (d.p. = 6,79 km/h).

Os resultados da análise de variância (ANOVA, nível de significância de 5%) para um fator com teste de Tukey para as médias indicaram haver diferença entre os grupos ($p\text{-valor} < 0,05$), sendo os agrupamentos de médias e as demais estatísticas descritivas indicadas na TABELA 33. O agrupamento leva em consideração os valores das médias, dos maiores para os menores.

TABELA 33 - RESULTADO TESTE ANOVA PARA VARIAÇÕES DE VELOCIDADE (KM/H) DE ACORDO COM AS VELOCIDADES DE ENTRADA

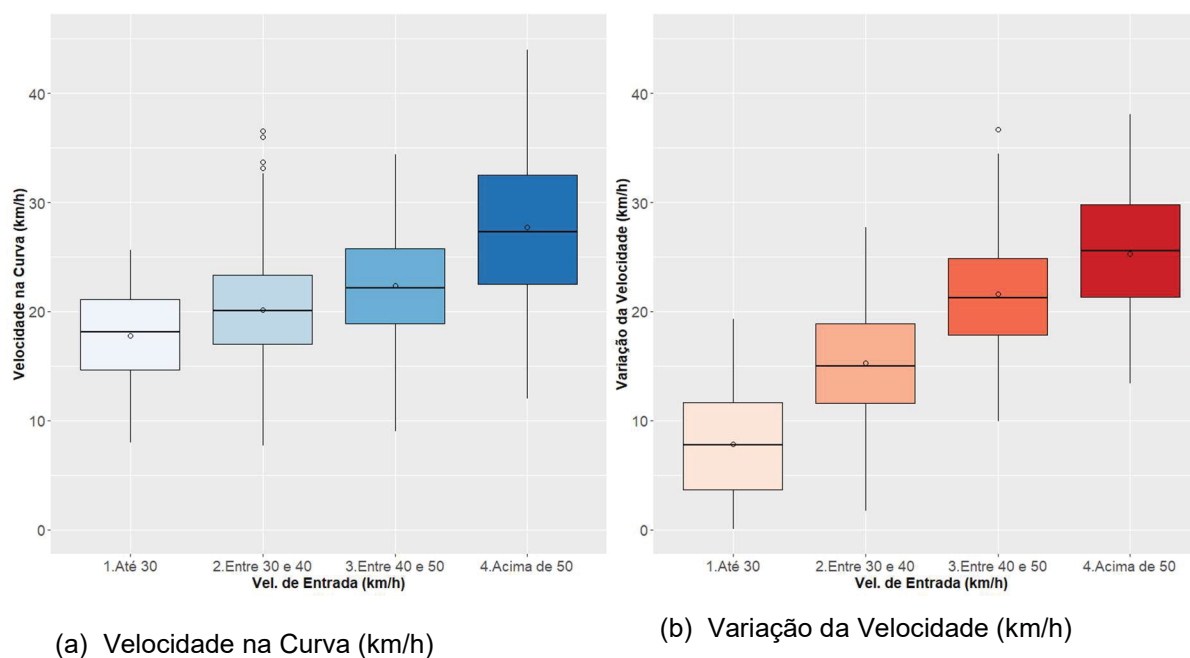
Velocidade Entrada	N	Média (km/h)	ANOVA (p-valor)	Resíduos (p-valor)	Variância (p-valor)	Agrupamento
1.Até 30	159	7,83	< 0,05	0.0083	0.0621	D
2.Entre 30 e 40	481	15,27				C
3.Entre 40 e 50	293	21,58				B
4.Acima de 50	28	25,27				A

FONTE: O autor (2022).

Os pressupostos da ANOVA foram parcialmente atendidos. Além da normalidade na distribuição dos dados (já verificada anteriormente), os outros pressupostos dizem respeito aos grupos apresentarem homogeneidade da variância

e a normalidade dos resíduos. Os resíduos não apresentaram distribuição normal (p -valor $< 0,05$). A homogeneidade das variâncias foi avaliada a partir do Teste de Bartlett e foi atendida (p -valor $> 0,05$). O GRÁFICO 13 ilustra essas informações.

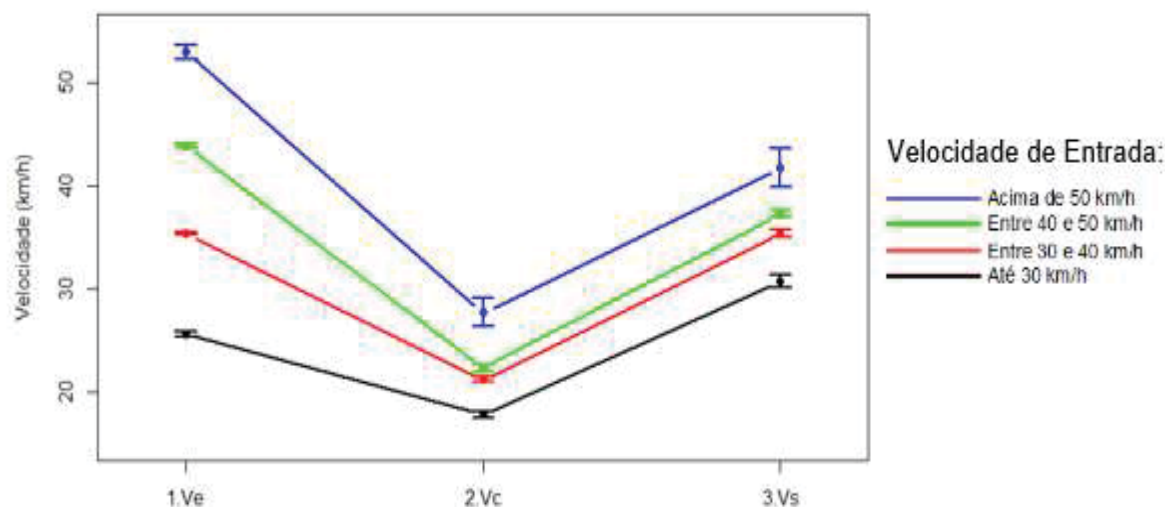
GRÁFICO 13 - DIAGRAMA DE CAIXAS PARA VELOCIDADES (KM/H) DE ACORDO COM A VELOCIDADE DE ENTRADA



FONTE: O autor (2022).

As velocidades apresentadas no GRÁFICO 14 permitem uma visualização do comportamento de redução de velocidade dos condutores durante o movimento de conversão e posterior retomada de velocidade nos 50 metros após o término da conversão. Estão indicadas as velocidades médias para cada uma das situações e os intervalos de confiança para cada caso.

GRÁFICO 14 - VELOCIDADES MÉDIAS DURANTE AS CURVAS PARA VELOCIDADES DE APROXIMAÇÃO DE ATÉ 30KM/H, DE 30 A 40KM/H, DE 40 A 50KM/H E ACIMA DE 50KM/H



FONTE: O autor (2022).

Valores maiores de variação de velocidade nos cruzamentos foram identificados para os casos de conversões com velocidades de entrada mais altas. Porém, mesmo assim, os patamares das velocidades nas curvas são também maiores, o que colabora para situações de risco para ocorrência de sinistros de trânsito. Velocidades mais baixas de aproximação são desejáveis do ponto de vista da segurança viária, pois levam também a velocidades mais baixas durante o movimento de conversão, sendo, portanto, mais seguras conforme indicado em Elvik (2013).

4.11 RESUMO DAS ANÁLISES

A seguir encontra-se disponibilizado um resumo de todos os resultados apresentados anteriormente.

As análises estatísticas indicaram valores mais altos de velocidade nas curvas para ângulos de deflexão mais baixos, como os de 30 e 60°. No recorte considerando apenas os ângulos de conversões de 90°, as velocidades mais altas foram encontradas em conversões à esquerda, em cruzamentos com maiores raios, em cruzamentos com controle semafórico, em cruzamentos sem chuva e em cruzamentos durante a noite. Também foram identificados valores mais altos de velocidade na curva conforme aumentam as velocidades de entrada. Não foi encontrada diferença significativa para o caso de presença de deflexão vertical anterior à curva e quando a

declividade foi comparada. A TABELA 34 resume essas informações e a análise estatística usada para cada caso.

TABELA 34 – RESUMO DAS ANÁLISES ENVOLVENDO VELOCIDADES PRATICADAS NA CURVA

Situação	Comparação	p-valor	Resultado
Deflexão	Mood	< 0,05	Velocidades mais altas para deflexões de 30° e 60°
Direção	Teste-t	< 0,05	Curvas à esquerda com velocidades mais altas que as curvas à direita
Raio	ANOVA	< 0,05	Velocidades aumentam conforme aumentam os valores de raios nas esquinas
Controle de Preferencial	ANOVA	< 0,05	Velocidades mais altas em cruzamentos semaforizados
Deflexão Vertical	Teste-t	> 0,05	Não foi encontrada diferença nas velocidades na presença ou ausência de dispositivos de deflexão vertical
Declividade da Via	ANOVA	> 0,05	Não foi encontrada diferença nas velocidades de acordo com a declividade
Condição Climática	Teste-t	< 0,05	Velocidades mais altas para situações sem chuva.
Período do Dia	Teste-t	< 0,05	Velocidades mais altas praticadas no período da noite.
Velocidade de Entrada	ANOVA	< 0,05	Velocidades mais altas para valores mais altos de velocidade na reta anterior

FONTE: O autor (2022).

No caso que considera a variação (redução) da velocidade, os valores mais proeminentes ocorreram para ângulos de deflexões de maiores valores (90 e 120°). Quando considerado o recorte de curvas de 90°, as situações que trouxeram maior variação foram as curvas à direita, em cruzamentos com movimentos provenientes de vias secundárias (sem controle semaforico), em cruzamentos em terreno plano e em cruzamentos com maiores valores de velocidades de entrada. Não foram encontradas diferenças significativas para a variação do raio na esquina, nem para a variação climática (situações com ou sem chuva) ou período do dia. A TABELA 35 resume essas informações e os testes utilizados para cada uma delas.

TABELA 35 – RESUMO DAS ANÁLISES ENVOLVENDO AS VARIAÇÕES DA VELOCIDADE (ΔV)

Situação	Comparação	p-valor	Resultado
Deflexão	Mood	< 0,05	Variações de velocidades maiores para deflexões de 90° e 120°
Direção	Teste-t	< 0,05	Variações de velocidade à direita maiores que nas conversões à esquerda
Raio	ANOVA	> 0,05	Não foram encontradas diferenças de variação de velocidade de acordo com o raio
Controle de Preferencial	ANOVA	< 0,05	Maiores variações de velocidade em movimentos oriundos de vias secundárias
Deflexão Vertical	Teste-t	< 0,05	Maiores variações de velocidade quando os dispositivos estão ausentes
Declividade da Via	ANOVA	< 0,05	Maiores variações para situações de terreno plano
Condição Climática	Teste-t	> 0,05	Não foram encontradas diferenças de variação de velocidade para situações com ou sem chuva
Período do Dia	Teste-t	> 0,05	Não foram encontradas diferenças de variação de velocidade para situações durante o dia ou à noite
Velocidade de Entrada	ANOVA	< 0,05	Variações de velocidades mais altas para valores mais altos de velocidade na reta anterior

FONTE: O autor (2022).

5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Essa dissertação teve como objetivo descrever e interpretar as relações entre variáveis geométricas e ambientais na escolha da velocidade por parte de condutores de veículos de passeio em seus movimentos de conversão em cruzamentos urbanos a partir da coleta e tratamento de dados naturalísticos. Esse capítulo aborda uma discussão dos resultados encontrados a partir das comparações estatísticas em face aos objetivos específicos elencados no Capítulo 1, a saber:

- Identificar padrões de comportamento, dadas as variáveis geométricas da via e variáveis ambientais consideradas;
- Identificar configurações de interseções mais propensas a situações de risco (velocidades mais altas) na interação entre usuários motorizados e pedestres;
- Contribuir para a formulação de políticas de gestão de velocidade em âmbito municipal baseadas no desenho de interseções.

5.1 VARIÁVEIS GEOMÉTRICAS E AMBIENTAIS

Na condução desta pesquisa, foi identificado que as variáveis geométricas que exercem influência na escolha da velocidade por parte dos condutores de veículos de passeio foram o ângulo de deflexão, a direção da conversão, o raio nas esquinas e o controle de preferencial. As características que não apresentaram diferença, quando comparadas, foram a presença ou ausência de lombadas e a declividade da via. Importante ressaltar que, para ambos os casos, foram identificadas influências na variação (redução) da velocidade entre a reta e a curva.

Independente do desenho da via, as características de velocidade de entrada no cruzamento, o efeito do clima e o período do dia possuem diferenças estatisticamente significativas para a velocidade dos veículos nas curvas, quando efetuadas as comparações.

5.2 INTERSEÇÕES MAIS PROPENSAS A SITUAÇÕES DE RISCO

Considerando as situações mais propensas ao risco sendo aquelas em que os veículos trafegam em patamares mais altos de velocidade, algumas considerações a respeito do assunto são elencadas na sequência.

A redução da velocidade mostrou-se baixa para cruzamentos com ângulos de deflexão menores, como de 30° e 60°, e mais alta para deflexões mais elevadas, como

de 90° e 120°, as quais, por sua vez, produziram resultados próximos. Portanto, interseções com baixos valores de deflexão (até 60°) produziram situações de maior risco para pedestres e de colisões mais severas entre veículos, pois os condutores tendem a manter velocidades mais próximas àquelas praticadas nos trechos em reta anteriores ao cruzamento.

Quanto à direção, as conversões à esquerda apresentam velocidades, em geral, mais elevadas. Aliado a esse dado, soma-se o fato de que em conversões à esquerda o condutor está sujeito a um maior número de movimentos conflitantes quando há trânsito em sentido oposto na via.

Corroborando publicações de órgãos técnicos (FRANÇA; MAZIERO; MELHEM, 2020; NYC DOT, 2020) e outras pesquisas na área (FITZPATRICK; SCHNEIDER, 2005; FITZPATRICK; PRATT; AVELAR, 2021) velocidades mais altas na curva foram encontradas para maiores valores de raios. Por sua vez, o raio de curvatura não apresentou influência na variação de velocidade nos diversos segmentos avaliados. Isso pode ter relação com outras variáveis não estudadas nesse trabalho, ou as configurações de raios maiores estarem inseridas em contextos urbanos onde os condutores naturalmente imprimem maiores velocidades.

Quanto ao controle de preferencial, os movimentos oriundos de vias secundárias (controlados com placas de “PARE” e “Dê a Preferência”) apresentaram maior variação de velocidade em contraponto às vias com controle semaforizado, o que indica que quando há uma ausência de um controle mais rígido de direito de passagem, os condutores tendem a adotar um comportamento mais comedido em termos de velocidade. Por sua vez, cruzamentos semaforizados apresentaram velocidades mais elevadas e menores reduções de velocidade. Trazendo o entendimento de que condutores se sentem mais confortáveis com velocidades mais elevadas quando há um controle mais rígido dos fluxos veiculares devido à percepção de um nível mais baixo de risco. Caberia, futuramente, estender o estudo de velocidade e desaceleração ao comparar cruzamentos semaforizados com a presença ou ausência de radares para inferir melhor sobre o comportamento do condutor nessas situações.

Quanto às lombadas e plataformas elevadas anteriores à curva, o estudo indicou que tais dispositivos apresentam influência de redução da velocidade se pelo menos a 50 metros distantes do cruzamento. As velocidades praticadas na curva não tiveram diferença significativa na presença ou ausência de tais dispositivos, porém na

sua presença, a diminuição de velocidade considerando a reta anterior é mais acentuada, concluindo que lombadas e plataformas elevadas induzem os veículos a patamares de velocidade mais próximos daqueles considerados ideais para o movimento de conversão, desempenhando a função para a qual foram implantados. Pesquisas futuras focadas especificamente sobre esse tópico podem trazer mais luz ao tema.

Em se tratando da declividade no trecho em tangente anterior à curva, pode-se dizer que ela exerceu influência no comportamento dos condutores no momento da conversão, embora as velocidades registradas nas curvas não tenham apresentado diferenças significativas para as três situações elencadas (situações de aclave, declive ou greide plano). As variações de velocidade, por sua vez, apresentaram-se em dois grupos, sendo que a situação de aclave guardou semelhanças com as outras duas situações.

Em relação à condição climática, a situação com chuva se traduz em menor velocidade no cruzamento do que em pista seca, o que é condizente com a adoção de comportamento mais seguro em situações que despertam maior percepção de risco. Ainda que a coleta dos dados não tenha registrado muitas situações de chuva comparativamente às situações de tempo seco, esses resultados sugerem que os estudos naturalísticos de direção podem ser usados para aprofundar pesquisas que levam em consideração o comportamento dos condutores sob condições adversas de direção, como o caso de chuva, ao considerar, por exemplo, também as velocidades em trechos de reta (o que não foi incluído ao escopo da presente pesquisa). A variação da velocidade se manteve no mesmo patamar nos dois casos.

Para conversões considerando o período do dia, as variações de velocidade não se mostraram diferentes, porém velocidades mais elevadas foram identificadas para movimentos de conversão em períodos noturnos. Essa constatação pode ser melhor investigada sob um aspecto de percepção de risco referente à segurança pública e esforços nesse sentido melhor esclarecer o tema.

Quanto à velocidade de aproximação, valores maiores de variação de velocidade foram identificados para os casos de conversões com velocidades de entrada mais altas. Assim como as velocidades nas curvas, os patamares dessas velocidades também foram maiores conforme mais altas foram as velocidades de entrada, o que enseja que são desejáveis velocidades de entrada mais baixas para que os cruzamentos sejam percorridos em velocidades consideradas mais seguras.

5.3 POLÍTICAS DE GESTÃO DE VELOCIDADE

Ainda que não tenha sido o foco principal de estudo dessa pesquisa, em face ao que foi exposto até aqui é possível delinear algumas diretrizes convergentes com a ideia de um planejamento de desenho urbano voltado a um trânsito mais seguro, especialmente considerando a relação conflituosa (e desequilibrada) entre veículos automotores e pedestres.

Quanto às deflexões nas esquinas, foram encontradas evidências de velocidades mais baixas em cruzamentos com ângulos mais fechados. Porém, para localidades com desenho viário e uso e ocupação do solo já consolidados, uma recomendação de alteração de ângulo de deflexão pode não vir a ser uma opção viável, sendo aplicável para desenhos de novos loteamentos ou áreas de revitalização com novos projetos de urbanização que permitam essas abordagens, principalmente em áreas em que se estima uma grande circulação de pedestres.

Algumas diretrizes de moderação de tráfego são elencadas em manuais de gestão de velocidade, como o do município de São Paulo, onde são encontradas soluções tais como estreitamento de raios nas esquinas, adoção de ilhas para travessia de pedestres ou instalação de minirrotatórias (FRANÇA; MAZIERO; MELHEM, 2020).

Pedestres necessitam de caminhos bem iluminados, devidamente sinalizados e desobstruídos para caminhar. Portanto, melhorias das condições de visibilidade na área de interseções são fundamentais para a segurança, considerando a interação visual entre condutores e os pedestres.

Algumas dessas soluções estão ilustradas na FIGURA 24, como as minirrotatórias, canteiro para travessias em etapas e estreitamento de raios nas esquinas com aumento do espaço de espera de pedestres para travessia. Dispositivos do tipo rotatória contribuem para eliminação de pontos de conflito no cruzamento, reduzem a possibilidade de o veículo procurar uma brecha pequena para fazer a conversão, bem como tende a diminuir a velocidade de conversão.

FIGURA 24 - EXEMPLOS DE INTERVENÇÕES PARA MODERAÇÃO DE TRÁFEGO EM ÁREAS DE TRAVESSIAS DE PEDESTRES



Fonte: Nacto (2018)

Essas soluções apontadas podem atuar conjuntamente como visto na FIGURA 25, onde estão presentes a minirrotatória, canteiros com ilhas para travessia em etapas e alargamento das calçadas com balizamento para proteção dos pedestres.

FIGURA 25 - EXEMPLO DE APLICAÇÃO DE TÉCNICAS VISANDO UM CRUZAMENTO MAIS SEGURO



Fonte: França, Maziero e Melhem (2020)

A partir dos dados entende-se que devem ser buscadas alternativas para reduzir velocidades em cruzamentos sem semáforos a partir de dispositivos que possibilitem tal redução de velocidade. É importante que essas medidas sejam planejadas de maneira integrada considerando toda a quadra incluindo a interseção, aumentando sua zona de influência.

Uma melhoria das condições de visibilidade nas situações que envolvem alicve ou declive pode ser atingida, conforme visto anteriormente, com a ampliação

da área de calçada e redução dos raios de esquinas, convidando condutores dos veículos a patamares mais baixos de velocidade e permitindo uma área maior de ocupação protegida de pedestres nas esquinas, facilitando que sejam percebidos por parte dos condutores.

Findadas as características geométricas das vias, as demais variáveis observadas nessa pesquisa escapam ao controle do projetista ou do planejador, pois são aquelas provenientes do clima (situação de chuva ou ausência dela), período do dia observado e a própria velocidade entrada no cruzamento.

As condições climáticas apontaram, nessa pesquisa, para valores mais altos de velocidade para situações sem chuva. Essa situação é coerente considerando uma mudança de atitude diante de uma percepção de risco, onde os condutores de veículos trafegam, em média, em velocidades mais baixas.

Quando se discute a velocidade no cruzamento levando em conta o período do dia, o resultado de que as velocidades em período noturno se apresentam mais elevadas que as do período diurno levam a uma sugestão de melhoria das condições de visibilidade através de adequada iluminação pública direcionada à zona de travessia e zonas de movimentos conflitantes. Melhorias na iluminação também proporcionam uma melhor sensação de segurança pública, contribuindo para evitar comportamentos de desrespeito à sinalização de controle.

Para vias existentes, vale destacar que, de forma geral, uma reconfiguração que vise a segurança viária em áreas urbanas, passa por mudanças que envolvam a priorização de transporte coletivo e modos ativos de deslocamento. Nos casos em que a interseção faz parte da rota de veículos coletivos, medidas de redução do raio da esquina podem ser inviáveis devido ao giro necessário para a conversão desses veículos.

Em resumo, é apresentado o QUADRO 5 com as recomendações elencadas para cada um dos casos expostos.

QUADRO 5 - RESUMO DAS RECOMENDAÇÕES PARA CADA SITUAÇÃO ESTUDADA

Situação	Aplicação no planejamento urbano
Deflexão	Adotar deflexões mais elevadas em cruzamentos em novos projetos urbanísticos ou em áreas da cidade que permitam remodelação de quadras.
Direção Declividade da Via Condição Climática Velocidade de Entrada	Melhoria das condições de visibilidade na área de interseções (incremento de calçadas, ilhas para travessias). Medidas moderadoras de tráfego visando reduzir a velocidade dos condutores.
Raio	Alteração dos raios para valores menores que 5 metros, onde possível.
Deflexão Vertical	Integrar soluções de redução de velocidade que atuem no meio da quadra para também exercerem influência nas proximidades das esquinas.
Período do Dia	Melhoria das condições de visibilidade noturna através de iluminação pública direcionada à zona de travessia e zonas de movimentos conflitantes.

FONTE: O autor (2022).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os desenhos de ruas precisam acomodar de forma segura pessoas que se deslocam a pé, em bicicleta ou fazem uso de transporte coletivo, para além dos veículos de passeio. Para isso, as ruas e cruzamentos devem proporcionar uma circulação adequada com interações seguras entre esses usuários.

A partir de base de dados naturalísticos foi possível o estudo das velocidades praticadas por condutores em manobras de conversão, pois as informações de localização de cada veículo (velocidade instantânea) em conjunto com as imagens do campo de visão do condutor (câmeras no interior do veículo) permitiram abordagens que não seriam possíveis caso apenas uma dessas informações estivesse à disposição.

Cabe ressaltar as velocidades sob as quais os condutores realizaram os movimentos de conversão. Foram registrados valores próximos a 50 km/h nas curvas, o que indica uma condição de risco em um potencial de risco elevado para pedestres, como de perda de controle do veículo.

Pesquisas envolvendo a extensão do trecho observado na reta anterior (além dos 50 metros estipulados nesse estudo) também poderiam trazer mais informações a respeito da velocidade praticada no cruzamento em função dos raios nas esquinas e das declividades das vias.

No universo de atuação profissional do Programa de Pós-Graduação no qual a presente pesquisa se insere, é fundamental destacar que decisões no âmbito do planejamento urbano podem influenciar na velocidade praticada pelos usuários motorizados e, portanto, no nível de segurança viária experimentado em interseções. A exemplo, cita-se a definição do tamanho das quadras, da localização dos diferentes tipos de uso do solo e do desenho das interseções no que diz respeito aos ângulos de deflexão. A definição das estratégias de controle de tráfego, com o desenho de interseções no que diz respeito aos raios de esquina, presença de ilhas e refúgios para pedestres e verificação das condições de visibilidade. Finalmente, em uma fase de intervenção no cenário existente, cita-se a busca de estratégias para minimizar/eliminar os conflitos entre os diversos usuários do ambiente urbano.

6.1 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

Os Estudos Naturalísticos apresentam características como a instrumentalização do veículo, utilização dos veículos dos próprios condutores participantes da pesquisa e a ausência de orientação quanto a destinos ou trajetos de quaisquer naturezas. Essas características apresentam vantagens e desvantagens do ponto de vista da produção de dados. De modo geral, essa abordagem tende a produzir dados realistas de condução, pois não é utilizado um ambiente artificial simulado ou controlado. Porém, os condutores ficando livres para escolher seus trajetos, podem gerar baixas amostragens para situações específicas que se deseje investigar. Situações essas que seriam contornadas em ambientes de simulação, por exemplo, que permitem controle e padronização do experimento e registro abundante de informações para análises estatísticas comparativas ou mesmo experimentos até certo ponto controlados em que os participantes da pesquisa trafegam em vias reais, porém com trajetos e horários pré-definidos, os chamados “testes operacionais de campo”.

Outros aspectos que limitam o escopo da pesquisa, em seu atual momento, dizem respeito à demografia dos condutores, ao não considerar a influência da idade, tempo de habilitação ou mesmo o gênero na condução dos veículos. Também não foi considerada eventual influência de marca ou modelo de veículo, que poderiam apresentar diferenças em termos de aceleração em função de uma motorização com maior ou menor potência, ainda que se pese que todos os veículos incluídos na pesquisa eram veículos de passeio de pequeno ou médio porte. Essas variáveis podem vir a ser investigadas com uma ampliação da base de condutores, de forma a se criar uma base estatística mais robusta.

6.2 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

Mesmo com relativamente poucos condutores participantes, os Estudos Naturalísticos apresentam grande variedade de circunstâncias de viagens (faixas horárias, dias da semana, condições climáticas ou estado de humor do condutor diferentes, por exemplo). Toda essa variedade de circunstâncias acaba por reduzir a dependência em relação às características inerentes dos condutores (idade, sexo ou tempo de habilitação, por exemplo). Para a realização de recortes considerando características pessoais dos condutores seria necessária uma base de dados maior para obter a devida segmentação e manter o nível de confiabilidade estatística.

Algumas abordagens foram identificadas ao longo da realização dos testes e comparações deste trabalho. Para além da expansão da base de dados de condutores, que traria mais robustez a algumas análises executadas, algumas das abordagens identificadas encontram-se elencadas a seguir:

- Avaliação da influência de diferentes faixas de raio de esquina para as demais deflexões (30, 60 e 120°);
- Verificação da existência de estacionamento e a presença ou não de veículos estacionados que podem exercer influência no trajeto efetuado durante a conversão, bem como as velocidades de conversão;
- Verificação da influência de ciclovias nas laterais da via. Esse é um ponto interessante para pesquisas na área de segurança e ciclomobilidade que podem ajudar a traçar diretrizes para cruzamentos rodociclovitários mais seguros. A ocorrência de ciclovias foi identificada para esse trabalho, porém com a atual base de dados, foram poucas ocorrências de conversão em regiões com ciclovias ou ciclofaixas.
- Incremento na distância de influência, para além de 50 metros a partir da esquina, para estudos de declividade e raios nas esquinas, de modo a identificar possíveis influências que possam ter sido ignoradas nas análises desse trabalho;
- Análise de sazonalidade, ao comparar velocidades e deslocamentos em dias específicos, como sextas-feiras ou finais de semana, em contraponto a dias de semana regulares ou mesmo horários específicos durante um mesmo dia (horas-pico);
- Comparação de viagens noturnas em vias com iluminação precária em contraponto a vias bem iluminadas, verificando o efeito da baixa visibilidade na velocidade veicular;
- Ainda no período noturno, avaliação da percepção do risco referente à segurança pública, tendo em vista a velocidade mais elevada identificada para esse período;
- Comparação de cruzamentos semaforizados com a presença ou ausência de radares para inferir o comportamento de condutores sob as duas condições;
- E, por fim, estudos de velocidade específicos em corredores, em situações pretéritas aos movimentos de conversão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AASHTO. THE GREEN BOOK A Policy on Geometric Design of Highways and Streets. , 2018. Disponível em: <www.transportation.org>.

ABDELJABER, O.; YOUNIS, A.; ALHAJYASEEN, W. Analysis of the Trajectories of Left-turning Vehicles at Signalized Intersections. **Transportation Research Procedia**, v. 48, n. 2019, p. 1288–1295, 2020a. Elsevier B.V. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.08.152>>.

ABDELJABER, O.; YOUNIS, A.; ALHAJYASEEN, W. Analysis of the Trajectories of Left-turning Vehicles at Signalized Intersections. **Transportation Research Procedia**, v. 48, p. 1288–1295, 2020b.

AHMED, M. M.; GHASEMZADEH, A. The impacts of heavy rain on speed and headway Behaviors: An investigation using the SHRP2 naturalistic driving study data. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, v. 91, p. 371–384, 2018a.

AHMED, M. M.; GHASEMZADEH, A. The impacts of heavy rain on speed and headway Behaviors: An investigation using the SHRP2 naturalistic driving study data. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, v. 91, n. January, p. 371–384, 2018b. Elsevier. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.trc.2018.04.012>>.

ALVES, P.; FERREIRA, W. R. Mobilidade urbana e traffic calming. **Caminhos de Geografia**, v. 15, n. 51, p. 60–72, 2014. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/>>.

AMANCIO, E. C. **Influência de dispositivos de fiscalização eletrônica de velocidade no comportamento do condutor em cenário urbano**, 2021. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

ANDRADE, G. A. M. **Avaliação dos impactos de medidas de gestão da velocidade a partir de dados naturalísticos**, 2022. Universidade Federal do Paraná.

ANTIĆ, B.; PEŠIĆ, D.; VUJANIĆ, M.; LIPOVAC, K. The influence of speed bumps heights to the decrease of the vehicle speed - Belgrade experience. **Safety Science**, v. 57, p. 303–312, 2013.

ASHTON, S. J. A preliminary assessment of the potential for pedestrian injury

reduction through vehicle design. SAE Technical Papers. **Anais...** . p.607–635, 1980. SAE International.

BARMPOUNAKIS, E.; GEROLIMINIS, N. On the new era of urban traffic monitoring with massive drone data: The pNEUMA large-scale field experiment. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, v. 111, n. October 2019, p. 50–71, 2020. Elsevier. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.trc.2019.11.023>>.

BASSANI, M.; CATANI, L.; CIRILLO, C.; MUTANI, G. Night-time and daytime operating speed distribution in urban arterials. **Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour**, v. 42, p. 56–69, 2016. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.trf.2016.06.020>>.

BASTOS, J. T.; GARONCE, F. V.; DOS SANTOS, P. A. B.; IGARASHI, A. V.; GABRIEL ANDRADE MARROCOS DE ANTONIASSI. Desempenho Brasileiro na Década de Ação pela Segurança no Trânsito - Análise, perspectivas e indicadores. , 2020.

BASTOS, J. T.; DOS SANTOS, P. A. B.; AMANCIO, E. C.; et al. Is organized carpooling safer? Speeding and distracted driving behaviors from a naturalistic driving study in Brazil. **Accident Analysis and Prevention**, v. 152, 2021. Elsevier Ltd.

BORGUEZANI, J. R.; DOS SANTOS, P. A. B.; OSÓRIO, F. DOS S.; BASTOS, J. T. **PLATAFORMA DE COLETA DE DADOS NATURALÍSTICOS DE SEGURANÇA VIÁRIA.**

BRASIL. **Lei nº 9.503, de 23/9/1997, que institui o Código de Trânsito Brasileiro.** Brasília: Congresso Nacional, 1997.

BRASIL. **LEI Nº 13.614, DE 11/01/2018, Cria o Plano Nacional de Redução de Mortes e Lesões no Trânsito (Pnatrans) e acrescenta dispositivo à Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997 (Código de Trânsito Brasileiro).** Brasília: Congresso Nacional, 2018.

DE CAMPOS, C. I.; MARCOMINI, L. A.; PANICE, N. R.; PIVA, F. J.; LAROCCA, A. P. C. Perception analysis of highway quality of service using a driving simulator and eye tracking system. **TRANSPORTES**, v. 28, n. 3, p. 165–179, 2020. Lepidus Tecnologia.

CARVALHO, C. H. R. DE. Custos dos Acidentes de Trânsito no Brasil: estimativa simplificada com base na atualização das pesquisas do Ipea sobre custos de

acidentes nos aglomerados urbanos e rodovias. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=35787>.

CONTADOR, C. R.; OLIVEIRA, N. Estatísticas Da Dor E Da Perda Do Futuro: Novas Estimativas. , 2015. Disponível em: <http://www.ens.edu.br/arquivos/estatistica_da_dor_e_da_perda_do_futuro.pdf>. .

CONTRAN. **Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito**. Brasília, 2014.

CUNHA, André Luiz Barbosa Nunes da. **Sistema automático para obtenção de parâmetros do tráfego veicular a partir de imagens de vídeo usando OpenCV**. 2013. Tese (Doutorado em Planejamento e Operação de Sistemas de Transportes) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013. doi:10.11606/T.18.2013.tde-19112013-165611.

DENG, Z.; CHU, D.; WU, C.; HE, Y.; CUI, J. Curve safe speed model considering driving style based on driver behaviour questionnaire. **Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour**, v. 65, p. 536–547, 2019. Elsevier Ltd.

DHAHIR, B.; HASSAN, Y. Using horizontal curve speed reduction extracted from the naturalistic driving study to predict curve collision frequency. **Accident Analysis and Prevention**, v. 123, n. February 2018, p. 190–199, 2019a. Elsevier. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.aap.2018.11.020>>.

DHAHIR, B.; HASSAN, Y. Modeling Speed and Comfort Threshold on Horizontal Curves of Rural Two-Lane Highways Using Naturalistic Driving Data. **Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems**, v. 145, n. 6, p. 04019025, 2019b. American Society of Civil Engineers (ASCE).

DINH, D. D.; KUBOTA, H. Speeding behavior on urban residential streets with a 30km/h speed limit under the framework of the theory of planned behavior. **Transport Policy**, v. 29, p. 199–208, 2013. Elsevier. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.tranpol.2013.06.003>>.

DNIT. MANUAL DE PROJETO E PRÁTICAS OPERACIONAIS PARA SEGURANÇA NAS RODOVIAS. , 2010a.

DNIT. MANUAL DE PROJETO GEOMÉTRICO DE TRAVESSIAS URBANAS. , 2010b. Rio de Janeiro: IPR.

ELURU, N.; CHAKOUR, V.; CHAMBERLAIN, M.; MIRANDA-MORENO, L. F. Modeling vehicle operating speed on urban roads in Montreal: A panel mixed ordered probit fractional split model. **Accident Analysis and Prevention**, v. 59, p. 125–134, 2013. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2013.05.016>>.

ELVIK, R. Speed limits, enforcement, and health consequences. **Annual Review of Public Health**, v. 33, p. 225–238, 2012.

ELVIK, R. A re-parameterisation of the Power Model of the relationship between the speed of traffic and the number of accidents and accident victims. **Accident Analysis and Prevention**, v. 50, p. 854–860, 2013. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2012.07.012>>.

FITZPATRICK, K.; CARLSON, P.; BREWER, M.; WOOLDRIDGE, M. Driver Speed on Suburban Streets. **Transportation Research Record**, , n. 01, p. 18–25, 2001.

FITZPATRICK, K.; PRATT, M. P.; AVELAR, R. Speeds of Right-Turning Vehicles at Signalized Intersections during Green or Yellow Phase. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, p. 036119812110116, 2021.

FITZPATRICK, K.; SCHNEIDER, W. Turn Speeds and Crashes within Right-Turn Lanes. **Texas Transportation Institute**, v. 7, n. 2, p. 88p, 2005. Disponível em: <<https://trid.trb.org/view/756701>>.

FRANÇA, ELISABETE; MAZIERO, MARIA TERESA DINIZ DOS SANTOS; MELHEM, J. R. S. Manual de Desenho Urbano e Obras Viárias. , 2020. São Paulo: Companhia de Engenharia de Tráfego. Disponível em: <<https://manualurbano.prefeitura.sp.gov.br/manual/3-parametros-de-desenho-viario>>.

HADDON, W. Advances in the Epidemiology of Injuries as a Basis for Public Policy. **Public Health Reports**, v. 95, n. 5, p. 411–421, 1980.

HASSAN, H. M.; SHAWKY, M.; KISHTA, M.; GARIB, A. M.; AL-HARTHEI, H. A. Investigation of drivers' behavior towards speeds using crash data and self-reported questionnaire. **Accident Analysis and Prevention**, v. 98, p. 348–358, 2017. Elsevier Ltd.

IAT. Limites Municipais do Paraná. Disponível em:

<https://geonode.paranagua.pr.gov.br/layers/geonode:a__031_004_limiteMunicipaisPR_IAT>. Acesso em: 15/9/2021.

IPPUC. IPPUC: dados geográficos. Disponível em: <<https://ippuc.org.br/geodownloads/geo.htm>>. Acesso em: 16/3/2020.

JACQUES, M. A. P.; VELLOSO, M. S.; TORRES, C. V. Study of drivers' salient beliefs and intention to comply with speed limits on urban roads. **Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour**, v. 55, p. 435–450, 2018.

JÄGERBRAND, A. K.; SJÖBERGH, J. Effects of weather conditions, light conditions, and road lighting on vehicle speed. **SpringerPlus**, v. 5, n. 1, 2016. Springer International Publishing.

KAPTEIN, N. A.; THEEUWES, J.; VAN DER HORST, R. Driving simulator validity: some considerations. **Transportation Research Record**, , n. 1550, p. 30–36, 1996.

KOYAMA, C. S.; HASEGAWA, J. K. RADAR FOTOGRAMÉTRICO: CÁLCULO DA VELOCIDADE DE UM OBJETO A PARTIR DE UMA SEQUÊNCIA DE IMAGENS DIGITAIS. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 54, n. 1, p. 22–30, 2002.

KUBO, T. N. **Análise do uso do telefone celular ao volante com base em estudo naturalístico de direção**, 2022. Universidade Federal do Paraná.

LORD, D.; SMILEY, A.; HAROUN, A. Pedestrian Accidents with Left-turning Traffic at Signalized Intersections: Characteristics, Human Factors and Unconsidered Issues. **77th Annual Transportation Research Board Meeting**, v. Washington, n. 416, 1998.

LUBBE, N.; DAVIDSSON, J. Drivers' comfort boundaries in pedestrian crossings: A study in driver braking characteristics as a function of pedestrian walking speed. **Safety Science**, v. 75, p. 100–106, 2015. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2015.01.019>>.

MANGIAFICO, S. S. **Summary and Analysis of Extension Program Evaluation in R**. New Brunswick: Rutgers Cooperative Extension, 2016.

MARSHALL, S. C.; WILSON, K. G.; MAN-SON-HING, M.; et al. The Canadian Safe Driving Study - Phase i pilot: Examining potential logistical barriers to the full cohort study. **Accident Analysis and Prevention**, v. 61, p. 236–244, 2013. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2013.04.002>>.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Óbitos por causas externas - acidentes de trânsito. Disponível em: <<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/deftohtm.exe?sim/cnv/ext10uf.def>>. Acesso em: 2/7/2022.

NACTO - NATIONAL ASSOCIATION OF CITY TRANSPORTATION OFFICIALS. **Guia global de desenho de ruas**. São Paulo, 2018.

VAN NES, N.; BÄRGMAN, J.; CHRISTOPH, M.; VAN SCHAGEN, I. The potential of naturalistic driving for in-depth understanding of driver behavior: UDRIVE results and beyond. **Safety Science**, v. 119, p. 11–20, 2019. Elsevier B.V.

NEW YORK CITY DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. **Street Design Manual Third Edition**. Nova Iorque, 2020.

NHSTA. Crash Factors in Intersection-Related Crashes : An On-Scene Perspective. September, 2010. Disponível em: <www.ntis.gov>.

NYC DOT, N. Y. C. D. OF T. **Street Design Manual**. New York, 2020.

OBAIDAT, M. T.; MOHAMMAD, A. A. GPS vehicle tracking in urban areas. **Civil-Comp Proceedings**, v. 100, n. September 2012, 2012.

OECD. Speed Management, 2006. OECD.

OLIVEIRA, D. F. DE; FRICHE, A. A. DE L.; COSTA, D. A. DA S.; MINGOTI, S. A.; CAIAFFA, W. T. Do speed cameras reduce speeding in urban areas? **Cadernos de Saúde Pública**, v. 31, n. suppl 1, p. 208–218, 2015.

ONU. Global Plan for the Decade of Action for Road Safety 2021-2030. Disponível em: <<https://www.who.int/teams/social-determinants-of-health/safety-and-mobility/decade-of-action-for-road-safety-2021-2030>>. Acesso em: 11/9/2021.

OPAS. **Speed management: a road safety manual for decision-makers and practitioners**. Global Road Safety Partnership, 2012.

OPAS. **Segurança de pedestres: Manual de segurança viária para gestores e profissionais da área**, 2013.

OSM. OpenStreetMap. Disponível em: <<https://www.openstreetmap.org>>. Acesso em: 16/3/2020.

OVIEDO-TRESPALACIOS, O.; TRUELOVE, V.; WATSON, B.; HINTON, J. A. The impact of road advertising signs on driver behaviour and implications for road safety:

A critical systematic review. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 122, p. 85–98, 2019. Elsevier Ltd.

PAU, M.; ANGIUS, S. Do speed bumps really decrease traffic speed? An Italian experience. **Accident Analysis and Prevention**, v. 33, n. 5, p. 585–597, 2001.

PEREZ, M. A.; SEARS, E.; VALENTE, J. T.; HUANG, W.; SUDWEEKS, J. Factors modifying the likelihood of speeding behaviors based on naturalistic driving data. **Accident Analysis and Prevention**, v. 159, n. December 2020, p. 106267, 2021. Elsevier Ltd. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.aap.2021.106267>>.

POE, C. M.; MASON, J. M. Analyzing Influence of Geometric Design on Operating Speeds Along Low-Speed Urban Streets Mixed-Model Approach. **Journal of Transportation Research Board**, v. 1737, n. 1, p. 18–25, 2000. Disponível em: <<https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.3141/1737-03>>.

PRADO, A. C. O.; DINIZ, C. M.; RAIA JUNIOR, A. A. Relação entre mobilidade urbana e segurança viária. **Revista Científica ANAP Brasil**, v. 11, n. 23, p. 44–57, 2018.

RICHARD, C. M.; LEE, J.; ATKINS, R.; BROWN, J. L. Using SHRP2 naturalistic driving data to examine driver speeding behavior. **Journal of Safety Research**, v. 73, p. 271–281, 2020. National Safety Council and Elsevier Ltd. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jsr.2020.03.008>>.

R CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**.

Vienna, Austria, 2021. Disponível em: <https://www.R-project.org/>.

RICHARDS, D. C. Relationship between Speed and Risk of Fatal Injury: Pedestrians and Car Occupants, 2010.

ROSÉN, E.; SANDER, U. Pedestrian fatality risk as a function of car impact speed. **Accident Analysis and Prevention**, v. 41, n. 3, p. 536–542, 2009.

RUSSELL, E. R.; MANDAVILLI, S.; RYS, M. J. Operational performance of Kansas roundabouts: Phase II. **No. K-TRAN: KSU-02-4**, , n. May, p. 138, 2005.

SANTOS, M. I. DOS; OLIVEIRA, P. T. M. E S. DE; RIBEIRO, R. L.; LAROCCA, A. P. C.; KABBACH JUNIOR, F. I. Conceito, configuração e aplicação de um simulador de direção no Brasil – Estudo de caso. **REVISTA TRANSPORTES**, v. 25, n. 2, p. 1, 2017. Lepidus Tecnologia.

SCHAGEN, I. VAN; SAGBERG, F.; MUSICANT, O. **Towards a large scale European Naturalistic Driving study : final report of PROLOGUE Related papers**. 2011.

SHEYKHFARD, A.; HAGHIGHI, F.; PAPADIMITRIOU, E.; VAN GELDER, P. Analysis of the occurrence and severity of vehicle-pedestrian conflicts in marked and unmarked crosswalks through naturalistic driving study. **Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour**, v. 76, p. 178–192, 2021. Elsevier Ltd.

SHIMOYAMA, A. T. **Elaboração de um painel de visualização de dados naturalísticos de direção utilizando Power BI**, 2022. Universidade Federal do Paraná.

SHINAR, D.; GURION, B. Crash causes, countermeasures, and safety policy implications. **Accident Analysis and Prevention**, v. 125, n. February, p. 224–231, 2019. Elsevier. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.aap.2019.02.015>>. .

STOSKI, J. C. **Estudo observacional do comportamento de ciclistas a partir de um estudo naturalístico com condutores de automóveis**, 2021. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

SUGUINOSHITA, M. C.; VALEIXO, G. R. R.; DOS SANTOS, P. A. B.; BASTOS, J. T. FATORES DETERMINANTES PARA O EXCESSO DE VELOCIDADE EM VIAS ARTERIAIS URBANAS. 2º Simpósio de Transportes do Paraná, 3º Seminário em Aeroportos e Transporte Aéreo, 3º Urbanidade. **Anais...** . p.63–74, 2020. Curitiba.

TARRIS, J. P.; MASON, J. M.; ANTONUCCI, N. D. Geometric Design of Low-Speed Urban Streets. **Journal of the Transportation Research Board**, v. 1701, n. 1, p. 95–103, 2000. Disponível em: <<https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.3141/1701-12>>. .

TIAGO BASTOS, J.; AUGUSTO DOS SANTOS, P. B.; CESAR AMANCIO, E.; et al. Naturalistic driving study in Brazil: an analysis of mobile phone use behavior while driving. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 17, 2020. Disponível em: <www.mdpi.com/journal/ijerph>.

TIWARI, G.; MOHAN, D. **Transport Planning & Traffic Safety: Making cities, roads & vehicles safer**, 2016.

TRB. Highway Capacity Manual. **National Research Council, Washington, DC**, 2000.

TRIPP - TRANSPORTATION RESEARCH AND INJURY PREVENTION

PROGRAMME. **Code of Practice (Part -1) Cross Section**, 2012. Índia: Ministry of Urban Development.

UCHIDA, N.; KAWAKOSHI, M.; TAGAWA, T.; MOCHIDA, T. An investigation of factors contributing to major crash types in Japan based on naturalistic driving data. **IATSS Research**, v. 34, n. 1, p. 22–30, 2010.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Nascer e ocaso do Sol (2011–2025). Disponível em: <<https://www.iag.usp.br/astrologia/nascer-e-ocaso-do-sol>>. Acesso em: 3/1/2022.

VELLOSO, Mônica Soares. **Estudo Dos Fatores Intrínsecos E Ambientais Que Afetam O Comportamento Do Condutor Em Relação Ao Respeito À Velocidade Limite Em Vias Urbanas**. 2014. Tese (Doutorado em Transportes) - Universidade de Brasília, Brasília, 2014. Disponível em: <<http://repositorio.unb.br/handle/10482/16839>>.

WANG, Jun. **Operating Speed Models For Low Speed Urban Environments Based On In-Vehicle GPS Data**. 2006. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Georgia Institute of Technology, 2006.

WANG, L.; YAMAMOTO, T.; MIWA, T.; MORIKAWA, T. An analysis of effects of rainfall on travel speed at signalized surface road network based on probe vehicle data. Proceedings of the Conference on Traffic and Transportation Studies, ICTTS. **Anais...** . p.615–624, 2006.

WANG, XIAOMENG; WANG, XUESONG. Speed change behavior on combined horizontal and vertical curves: driving simulator-based analysis. **Accident Analysis and Prevention**, v. 119, p. 215–224, 2018. Elsevier Ltd.

WILSON, C.; WILLIS, C.; HENDRIKZ, J. K.; LE BROCCQUE, R.; BELLAMY, N. Speed cameras for the prevention of road traffic injuries and deaths. **Cochrane Database of Systematic Reviews**, n. 11, 2010.

WU, J.; XU, H. Driver behavior analysis for right-turn drivers at signalized intersections using SHRP 2 naturalistic driving study data. **Journal of Safety Research**, v. 63, p. 177–185, 2017. Elsevier Ltd. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jsr.2017.10.010>>.

YEO, J.; LEE, J.; CHO, J.; KIM, D. K.; JANG, K. Effects of speed humps on vehicle

speed and pedestrian crashes in South Korea. **Journal of Safety Research**, v. 75, p. 78–86, 2020. National Safety Council and Elsevier Ltd. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jsr.2020.08.003>>.

YOUNG, K. L.; OSBORNE, R.; GRZEBIETA, R.; et al. Using naturalistic driving data to examine how drivers share attention when engaging in secondary tasks. **Safety Science**, v. 129, n. April, p. 104841, 2020. Elsevier. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.104841>>.

ZHU, M.; WANG, X.; TARKO, A.; FANG, S. Modeling car-following behavior on urban expressways in Shanghai: A naturalistic driving study. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, v. 93, n. September 2017, p. 425–445, 2018. Elsevier. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.trc.2018.06.009>>.