

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

MICHEL DO VALE PEREDA

ANÁLISE DO DIMENSIONAMENTO SEMAFÓRICO NO FLUXO DE TRÂNSITO
POR MEIO DE MICROSSIMULAÇÃO

CURITIBA

2023

MICHEL DO VALE PEREDA

ANÁLISE DO DIMENSIONAMENTO SEMAFÓRICO NO FLUXO DE TRÂNSITO
POR MEIO DE MICROSSIMULAÇÃO

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia, Área de Concentração em Programação Matemática, Departamento de Construção Civil e Matemática, Setores de Tecnologia e de Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Métodos Numéricos em Engenharia.

Orientador: Prof. Dr. Cassius Tadeu Scarpin.

CURITIBA

2023

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

Pereda, Michel do Vale

Análise do dimensionamento semafórico no fluxo de trânsito por meio de
microsimulação / Michel do Vale Pereda. – Curitiba, 2023.

1 recurso on-line : PDF.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de
Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em
Engenharia.

Orientador: Cassius Tadeu Scarpin

1. Mobilidade urbana - Curitiba (PR). 2. Tráfego urbano. 3. Trânsito –
Fluxo. 4. Capacidade rodoviária. I. Universidade Federal do Paraná. II.
Programa de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia. III.
Scarpin, Cassius Tadeu. IV. Título.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE CIÊNCIAS EXATAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO MÉTODOS NUMÉRICOS
EM ENGENHARIA - 40001016030P0

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação MÉTODOS NUMÉRICOS EM ENGENHARIA da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **MICHEL DO VALE PEREDA** intitulada: **ANÁLISE DO DIMENSIONAMENTO SEMAFÓRICO NO FLUXO DE TRÂNSITO POR MEIO DE MICROSIMULAÇÃO**, sob orientação do Prof. Dr. CASSIUS TADEU SCARPIN, 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, 04 de Maio de 2023.

Assinatura Eletrônica

08/05/2023 11:23:12.0

CASSIUS TADEU SCARPIN

Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

08/05/2023 11:24:22.0

JOSÉ EDUARDO PÉCORA JUNIOR

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

08/05/2023 12:18:35.0

BRÁULIO MAGALHÃES FONSECA

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS)

Dedico esta dissertação aos meus pais, verdadeiros heróis e primeiros
professores.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus que me proporcionou a vida e a força frente às dificuldades da vida.

Sou grato ao suporte que sempre me foi dado pelos meus pais, Orlando e Janete, que, mesmo em meio as adversidades, me apoiaram e me incentivaram a continuar estudando e aprendendo pois o conhecimento é o único bem que não pode nos ser tirado.

Agradeço minha futura esposa, Leticia, por ter me apoiado, incentivado e caminhado ao meu lado nesta etapa da vida onde, por muitas vezes, me afastei do nosso convívio para poder mergulhar em artigos, livros e textos.

Sinto-me honrado e grato por ter como orientador o professor Doutor Cassius Scarpin, o qual me abriu o caminho na UFPR, me acolheu e, com suas sábias palavras, me orientou pela estrada da pós-graduação. Um professor e amigo para a vida toda.

À todos os professores do programa PPGMNE que contribuíram para meu crescimento profissional, acadêmico e pessoal. Carregarei na memória cada aula e ensinamento que me foi passado.

Aos meus colegas de aulas, apresentações, trabalhos e desafios acadêmicos, especialmente a Juliana e o Felipe que compartilharam vários momentos de aprendizagem, estudo e vitórias.

Ao meu colega de caminhada na pós-graduação e amigo Rafael Ferraz, pelo apoio e incentivo no momentos de incertezas.

Por fim, agradeço a UNIFATEC, aos amigos e colegas de profissão Rodrigo, Camila, Maiara e João Paulo pelo carinho e amparo nesses anos quando sempre precisei.

À todos que compartilharam deste momento em minha vida, meu sincero e humilde muito obrigado!

*“A educação é a arma mais poderosa que você
pode usar para mudar o mundo”
Nelson Mandela*

RESUMO

A mobilidade urbana é um problema que afeta grandes cidades em todo mundo. Grandes capitais sofrem com o aumento de tráfego nas vias devido à falta de pesquisa, investimento em infraestrutura e de planejamento urbano, contribuindo para o agravamento deste problema. A Pesquisa Operacional (PO) é um campo de estudo que utiliza técnicas matemáticas e modelagem de problemas para auxiliar as tomadas de decisões em processos complexos. Neste contexto, o Problema do Fluxo Máximo, estudado na PO, pode ser modelado de forma a contribuir para otimização da mobilidade urbana. *Softwares* de microsimulação são ferramentas que permitem ao pesquisador analisar o comportamento do tráfego em diversas situações, considerando fatores como: velocidade, mudança de faixa e paradas em semáforos. À luz do manual *Highway Capacity Manual* (HCM) (2010), um documento técnico que fornece orientações e procedimentos para avaliar a capacidade e o desempenho de vias e rodovias em inúmeras circunstâncias, este trabalho visa apresentar a coleta, aplicação e propostas de melhoria no fluxo do trânsito da Avenida Visconde de Guarapuava, situada na cidade de Curitiba/Pr. Apresenta-se uma análise do redimensionamento do tempo semaforico em parte desta via utilizando a classificação de acordo com o nível de agregação microscópico através do *software* Aimsun Next 22.0.1. Com base nos resultados obtidos pode-se afirmar que, com o redimensionamento semaforico dos cruzamentos da Avenida Visconde de Guarapuava com a Rua Mariano Torres e a Avenida Marechal Floriano Peixoto e a implementação de radares semaforicos ao longo de todos os cruzamentos estudados, poderá ocorrer redução do tempo de atraso total bem como aumento no fluxo de entrada de veículos.

Palavras-chave: Mobilidade Urbana. Problema do Fluxo Máximo. Simulação de Tráfego. Metodologia HCM. *Software* Aimsun.

ABSTRACT

Urban mobility is a problem that affects large cities worldwide. Major cities suffer from increased traffic on their roads due to a lack of research, investment in infrastructure, and urban planning, contributing to the worsening of this problem. Operations Research (OP) is a field of study that uses mathematical techniques and problem modeling to assist decision-making in complex processes. In this context, the Maximum Flow Problem is one of the main problems studied in operations research to optimize urban mobility. Microsimulation software is a tool that allows researchers to analyze traffic behavior in various situations, taking into account factors such as speed, lane changes, and stops at traffic lights. Based on the *Highway Capacity Manual* (HCM) (2010), a technical document that provides guidance and procedures for evaluating the capacity and performance of roads and highways in numerous circumstances, this study aims to present the collection, application, and proposals for improving the flow of traffic on Visconde de Guarapuava Avenue, located in the city of Curitiba/Pr through the analysis of resizing the signal time on part of this road using the classification according to the microscopic level of aggregation through the Aimsun Next 22.0.1 software. Based on the obtained results, it can be stated that by resizing the traffic lights at the intersections of Visconde de Guarapuava Avenue with Mariano Torres Street and Marechal Floriano Peixoto Avenue, as well as implementing traffic signal radars along all studied intersections, there may be a reduction in the total delay time, as well as increase in the incoming vehicle flow.

Keywords: Urban Mobility. Maximum Flow Problem. Traffic Simulation. HCM Methodology. Aimsun Software.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2 – TEMPO DE ABORDAGENS ALTERNATIVAS DESCRITAS NO MANUAL HCM	29
FIGURA 3 – RESUMO CLASSIFICAÇÃO LOS MODO AUTOMÓVEL	31
FIGURA 4 – DADOS DE ENTRADA PARA METODOLOGIA PARA AUTOMÓVEL	32
FIGURA 5 – COMBINAÇÕES LÓGICAS DE GRUPOS DE FAIXAS	33
FIGURA 6 – REPRESENTAÇÃO DA SAÍDA nL	41
FIGURA 7 – INÍCIO DA AVENIDA VISCONDE DE GUARAPUAVA	43
FIGURA 8 – FINAL DA AVENIDA VISCONDE DE GUARAPUAVA	44
FIGURA 9 – TRECHO SELECIONADO PARA ESTUDO DA PESQUISA	45
FIGURA 10 – EXEMPLO DO POSICIONAMENTO DAS CÂMERAS PARA COLETA DE DADOS	48
FIGURA 11 – APROXIMAÇÕES DO CRUZAMENTO 1	48
FIGURA 12 – APROXIMAÇÕES DO CRUZAMENTO 2	49
FIGURA 13 – APROXIMAÇÕES DOS CRUZAMENTOS 3 e 4	49
FIGURA 14 – APROXIMAÇÕES DOS CRUZAMENTOS 5, 6 e 7	50
FIGURA 15 – APROXIMAÇÕES DOS CRUZAMENTOS 8 e 9	51
FIGURA 16 – APROXIMAÇÕES DO CRUZAMENTO 10.	51

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – VELOCIDADE MÉDIA (KM/H) EM OUTUBRO E NOVEMBRO DE 2022	46
GRÁFICO 2 – REDIMENSIONAMENTO DO TEMPO SEMAFÓRICO DO CRUZAMENTO 3 (EM SEGUNDOS).....	64
GRÁFICO 3 – REDIMENSIONAMENTO DO TEMPO SEMAFÓRICO DO CRUZAMENTO 4 (EM SEGUNDOS).....	64
GRÁFICO 4 – REDIMENSIONAMENTO DO TEMPO SEMAFÓRICO DO CRUZAMENTO 10 (EM SEGUNDOS).....	65

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – PERÍODOS DE CONTAGEM DO FLUXO DE TRÂNSITO	47
QUADRO 2 – CÁLCULO DO FLUXO DE SATURAÇÃO AJUSTADO APROXIMAÇÃO 1 VIA DIREITA AV. VISCONDE DE GUARAPUAVA – FAIXA DIREITA.....	52
QUADRO 3 – CÁLCULO DO FLUXO DE SATURAÇÃO AJUSTADO APROXIMAÇÃO 1 VIA DIREITA AV. VISCONDE DE GUARAPUAVA – FAIXA CENTRAL	53
QUADRO 4 – CÁLCULO DO FLUXO DE SATURAÇÃO AJUSTADO APROXIMAÇÃO 1 VIA DIREITA AV. VISCONDE DE GUARAPUAVA – FAIXA ESQUERDA.....	53
QUADRO 5 – RESULTADOS PARA VALIDAÇÃO DO MODELO	63

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – CRUZAMENTOS DO TRECHO DA AVENIDADE VISCONDE DE GUARAPUAVA	46
TABELA 2 – FLUXO DE SATURAÇÃO PAR CADA CRUZAMENTO	54
TABELA 3 – TEMPO SEMAFÓRICO	55
TABELA 4 – RESULTADO DO CÁLCULO DE DURAÇÃO DA FASE DO SINAL EM CADA APROXIMAÇÃO	56
TABELA 5 – RESULTADO DO CÁLCULO DE DURAÇÃO DA FASE DO SINAL EM CADA APROXIMAÇÃO	57
TABELA 6 – CÁLCULO DO ATRASO E CLASSIFICAÇÃO DO LOS	59
TABELA 7 – RESULTADOS OBTIDOS ATRAVÉS DE MICROSSIMULAÇÃO	66

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

APAs – Áreas de Proteção Ambiental

BRT – *Bus Rapid Transit*

CDB – *Central Business Districts*

EC – Estudo de Caso

H – Hora

HCM – *Highway Capacity Manual*

IPPUC – Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba

LOS – *Level of Service*

MAC – Marcação de Área de Conflito

MFP – *Maximum Flow Problem*

PFM – Problema do Fluxo Máximo

SETRAN – Secretaria Municipal de Defesa Social e Trânsito

TRB – *Transportation Research Board of the National Academy of Sciences*

UCP – Unidade de Carros de Passeio

VP – Veículo Pesado

VPa – Veículo de Passeio

VEÍC – Veículos

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
1.1 JUSTIFICATIVA	19
1.2 OBJETIVOS	19
1.2.1 Objetivo Geral	19
1.2.2 Objetivos Específicos	20
1.3 LIMITAÇÕES.....	20
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	20
2 REVISÃO DE LITERATURA	22
2.1 MOBILIDADE URBANA	22
2.2 BREVE HISTÓRICO DO PLANO DIRETOR DE CURITIBA	23
2.2.1 Surgimento do Plano Diretor de 1965	23
2.2.2 Implantação da Década de 70.....	24
2.3 MODELOS DE SIMULAÇÃO DE TRÁFEGO	25
2.3.1 Nível de Agregação dos Modelos.....	26
2.4 METODOLOGIA HCM.....	27
2.4.1 Breve Histórico	27
2.4.2 Análise para Vias Urbanas	27
2.4.2.1 Metodologia para Automóvel	29
2.4.2.2 Dados de Entrada Modo Automóvel.....	31
2.4.2.3 Sequência de Cálculos para Metodologia de Automóvel.....	32
2.4.2.4 Interpretação dos Resultados.....	39
2.5 SOFTWARE AIMSUN	41
2.5.1 Yunex Traffic Group	42
3 MATERIAL E MÉTODOS	43
3.1 LOCALIZAÇÃO E ESPECIFICAÇÕES DA ÁREA DE ESTUDO	43
3.2 COLETA DE DADOS	47
3.2.1 Contagem e Classificação do Tráfego na Via	47
3.2.1.1 Representação das Aproximações dos Cruzamentos	48
3.2.1.2 Cálculo do Fluxo de Saturação Ajustado.....	52
3.2.1.3 Cálculo da Duração da Fase do Sinal	54
3.2.1.4 Cálculo da Capacidade e do Volume pela Capacidade.....	56
3.2.1.5 Cálculo do Atraso e Classificação do LOS	59

3.2.1.6 Interpretação dos Resultados Obtidos.....	60
3.3 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	62
3.3.1 Cenários	62
3.3.1.1 Modelagem e Validação do Modelo.....	62
3.3.1.2 Cenário 1	63
3.3.1.3 Cenário 2	64
3.3.1.4 Cenário 3	64
3.3.1.5 Cenário 4	65
3.3.1.6 Cenário 5	65
3.3.1.7 Cenário 6	66
3.3.2 Resultados Obtidos	66
4 CONCLUSÕES	68
4.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	69
REFERÊNCIAS.....	71
APÊNDICE 1 – CÁLCULOS TAXA DE FLUXO DE SATURAÇÃO AJUSTADA – CRUZAMENTO 1	75
APÊNDICE 2 – TELA DO SOFTWARE AIMSUN NEXT 22.0.1 REALIZANDO A SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 6.....	80

1 INTRODUÇÃO

Brasileiros que residem em grandes capitais passam, em média, duas horas do dia no trânsito para realizarem deslocamentos básicos como trabalho e faculdade, tornando-se um problema crônico e que afeta significativamente a qualidade de vida das pessoas (CNDL, 2022). Esses congestionamentos podem ser ocasionados por diversos fatores (e combinações) como a falta de planejamento urbano, o crescente aumento na população e frotas de veículos, falta de investimento do poder público, comportamento dos motoristas e, até mesmo, fatores isolados como acidentes.

Uma vez que a qualidade de vida das pessoas está diretamente relacionada ao tempo gasto no trânsito e as condições de tráfego (NOBRE, 1995) diminuir esse período gasto em deslocamento mesmo que minimamente, ao final de um ciclo (um ano, por exemplo), terá gerado um impacto significativo.

Entretanto, historicamente, a cidade de Curitiba baseou seu desenvolvimento urbano nos Planos Diretores, o qual estabelece as diretrizes para o planejamento urbano em quesitos como o uso do solo, transporte, habitação entre outros fatores que geram impacto no desenvolvimento da cidade. Entre as décadas de 60 a 80, com a implementação do primeiro Plano Diretor, a capital paranaense passou a ter características centrais de planejamento onde, entre elas, destaca-se o crescimento preferencial do sentido Nordeste-Sudoeste e hierarquia entre as vias (OLIVEIRA, 2001).

Rotineiramente, o Plano Diretor é revisado por especialistas em planejamento urbano para se adequar às novas necessidades da cidade. Contudo, mesmo com organização no desenvolvimento urbano, Curitiba padece com longos congestionamentos todos os dias.

A presente dissertação apresenta um estudo realizado em um trecho da Avenida Visconde de Guarapuava, na cidade de Curitiba, onde, corriqueiramente em determinados horários pela manhã, apresenta fluxo intenso e grandes congestionamentos. Este estudo visa apresentar um modelo de melhor fluidez no trânsito realizando uma análise no dimensionamento semafórico e baseando seus resultados e discussões na metodologia HCM (*Highway Capacity Manual*).

1.1 JUSTIFICATIVA

Os cruzamentos semafóricos compreendem boa parte das vias em grandes centros urbanos. Por se tratar de um problema dinâmico, esses cruzamentos, muitas vezes, geram pontos de mobilidade lenta, refletindo em um tempo de deslocamento reduzido, aumento na possibilidade de acidentes de trânsito e diminuindo a qualidade de vida de condutores e passageiros (Silveira *et al*, 2012).

Segundo o manual HCM (TRB, 2010), para cruzamento semaforizados, trata-se de um estudo rigoroso visto que a variação e diversificação dos dados influenciam diretamente nos resultados e na interpretação do pesquisador. A razão volume/capacidade pode indicar problemas na duração das fases semafóricas onde, em determinadas situações, aumentar o tempo de duração do ciclo do semáforo e/ou alterar a sequência poderá contribuir para uma melhoria, diminuindo o tempo de viagem (TRB, 2010).

Visto que os desafios presentes na mobilidade urbana estão tornando-se cada vez mais complexos, torna-se imprescindível analisar os problemas em diferentes vertentes e estudar soluções que atinjam o objetivo (Silva, 2013). O estudo realizado neste trabalho apresenta uma proposta de atualização no tempo semafórico a fim de reduzir o tempo de viagem, diminuindo o congestionamento e apresentar a mobilidade urbana neste trecho da cidade de Curitiba como desafios para o presente.

1.2 OBJETIVOS

Tem-se por objetivo geral e específicos os descritos a seguir.

1.2.1 *Objetivo Geral*

Propor uma atualização no tempo semafórico em parte da Avenida Visconde de Guarapuava, em Curitiba, com o intuito de otimizar o tempo de travessia de veículos entre os horários de 07:30 e 08:30 em dias típicos, com o auxílio do *software* Aimsun.

1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são apresentados a seguir:

- Apresentar o problema na literatura;
- Realizar a coleta de dados volumétricos da via no horário determinado;
- Verificar os aspectos geométricos da via;
- Modelar o trecho da via estudada em *software* especializado (Aimsun);
- Propor o redimensionamento semaforico no trecho da via em estudo;
- Discutir as vantagens e desvantagens da abordagem proposta.

1.3 LIMITAÇÕES

A presente dissertação limitou-se à utilização da metodologia HCM (*Highway Capacity Manual*), um guia utilizado por engenheiros e planejadores de transporte para analisar e avaliar a capacidade e o desempenho das vias, para embasamento dos cálculos e dados a serem coletados.

Em relação aos dados coletados, optou-se por selecionar um dia típico, em um período de 25% de hora no trecho selecionado para o estudo, embasando-se nas informações fornecidas no manual HCM.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

A estrutura do presente trabalho é composta por quatro capítulos.

No capítulo dois, apresenta-se a revisão de literatura a qual embasa-se a fundamentação teórica, apresentando, dentro da Pesquisa Operacional, o Problema do Fluxo Máximo juntamente com seu modelo matemático. Ainda neste capítulo, é demonstrado o *software* empregado na otimização do problema estudado bem como a metodologia HCM (*Highway Capacity Manual*) utilizado como orientação para coleta e tratamento de dados como também na conclusão obtida através da microssimulação em ambiente virtual.

Já no capítulo três discorre-se sobre material e método utilizado no processo de coleta dos dados, a aplicação do *software* e seus ambientes virtuais gerados para a pesquisa.

No último capítulo desta dissertação encontram-se os resultados obtidos, argumentação conclusiva referente aos resultados fundamentando-se no manual HCM e a apresentação de novas concepções para futuras pesquisas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A finalidade deste capítulo é apresentar o embasamento teórico-científico do problema bem como ferramentas que poderão auxiliar em sua resolução.

2.1 MOBILIDADE URBANA

O Brasil, que antes da década de 40 era considerado um país agrário-exportador, passou por um processo de êxodo rural. Essa mudança teve como base a migração de milhares de pessoas, entre as décadas de 40 e 70, para cidades onde foram criadas inúmeras oportunidades de emprego em fábricas de bens de consumos duráveis (BENEDET *et al.*, 2015).

Refere-se à forma como as pessoas se deslocam nas cidades, incluindo meios de transporte como carros, ônibus, bicicletas e a pé. Também abrange aspectos como planejamento de transporte, infraestrutura de transporte, acessibilidade e sustentabilidade. Deve-se garantir que as pessoas possam se deslocar de forma segura, eficaz e acessível.

Segundo Gehl (2013) independente da condição social da cidade, um aspecto inerente à todas é a falta de planejamento urbano adequado, a priorização do transporte motorizado sobre outros meios de transporte e a falta de investimento em infraestrutura de transporte acessível e segura. Estes são alguns dos motivos pelos quais a população passa por certas dificuldades, podendo gerar impactos como tráfego congestionado, poluição do ar e acesso dificultado a áreas das cidades, na visão do autor.

Por muito tempo, principalmente em áreas com pouco desenvolvimento econômico, os pedestres acabam tendo menor relevância no planejamento urbano. A criação de calçadas e passarelas seguras, bem como acessibilidade para pessoas com necessidades especiais, são elementos fundamentais a serem considerados.

Contudo, conforme Gehl (2013) afirma que, muitas cidades têm buscado melhorar as condições para pedestres e para a vida urbana, dando menor prioridade ao tráfego de automóveis, criando espaços mais acessíveis, seguros e agradáveis aos pedestres.

No Brasil, a Constituição de 1988 define que a responsabilidade do transporte coletivo e do sistema viário é municipal, partindo das diretrizes estabelecidas pela

política de desenvolvimento urbano e de transporte público estipuladas pelo poder federal (BRASIL, 1988).

Aos artigos que abordam este tema e constam na Constituição de 1988 denominou-se Lei da Mobilidade Urbana, Lei nº 12.587, de 2012 (CARVALHO, 2016).

Esta lei tem como objetivo promover melhorias na qualidade de vida das pessoas, aumentando a eficiência e segurança do transporte urbano, além de garantir acessibilidade para todos. Estabelece medidas para aumentar a oferta de transporte público eficiente e de qualidade, além de promover a integração entre diferentes modais de transporte e fomentar o uso de transporte não motorizado (BRASIL, 2015).

A Mobilidade Urbana, assim como em muitos países, continua sendo um desafio complexo para gestões públicas no Brasil. Alguns fatores primordiais (como crescimento desordenado de cidades; falta de investimento gerando sistemas de transportes e vias precários e ineficientes; falta de fiscalização e regulamentação; falta de planejamento e pesquisas constantes para apontar soluções eficazes), necessitam de um olhar atento dos órgãos públicos com o intuito de melhoria na qualidade de vida da população.

2.2 BREVE HISTÓRICO DO PLANO DIRETOR DE CURITIBA

O planejamento urbano em Curitiba teve início no final dos anos 1940, quando o arquiteto francês Alfred Agache apresentou um plano de remodelação da cidade, com uma configuração viária radial. Esse plano não foi completamente implementado, mas estabeleceu as bases para discussões futuras sobre o crescimento da cidade (CURITIBA, 2023).

2.2.1 *Surgimento do Plano Diretor de 1965*

Elaborado logo após a aprovação do primeiro concurso público realizado pela administração municipal visando o Plano Diretor em 1965, este novo documento foi resultado da evolução das ideias e do contexto urbano da época. Neste mesmo ano foi criado o IPPUC (Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba), órgão público municipal destida a estudar e propor soluções em relação à mobilidade urbana. O Plano Diretor aprovado em 1966 buscava aprimorar e consolidar as diretrizes estabelecidas anteriormente pelo consórcio entre as empresas vencedoras

do concurso, SERETE e Jorge Wilhelm Arquitetos Associados, objetivando soluções frente aos desafios decorrentes do rápido crescimento populacional e das mudanças na estrutura urbana (CURITIBA, 2023).

Uma de suas características era o conceito de “eixos de crescimento” que consistiam em direcionar o desenvolvimento urbano ao longo de corredores de transporte e avenidas estruturais, facilitando a mobilidade e a acessibilidade em diferentes regiões da cidade. Além disso, o plano buscava evitar a expansão urbana desordenada e a ocupação descontrolada de áreas rurais adjacentes à cidade. O controle do crescimento urbano tinha como objetivo preservar o patrimônio ambiental e garantir o acesso a infraestrutura e serviços públicos para toda a população (CURITIBA, 2023).

O Plano Diretor de 1966 promoveu uma maior participação da sociedade civil nas decisões urbanísticas. Foram realizadas consultas públicas e audiências para ouvir as necessidades e opiniões da população, buscando alinhar o planejamento urbano às demandas e desejos dos moradores (IPPUC, 2023).

2.2.2 Implantação da Década de 70

A década de 1970 foi um período marcante para o planejamento urbano da cidade de Curitiba. Nesse período, a cidade passou por uma verdadeira revolução urbanística, com a implementação de diversas iniciativas inovadoras que ajudaram a moldar em direção a um modelo mais sustentável, organizado e com melhor qualidade de vida para seus cidadãos.

Com a revisão do Plano Diretor neste período, buscou-se consolidar diretrizes para o desenvolvimento urbano, incluindo o aprimoramento dos eixos de crescimento, a verticalização de certas áreas, a preservação de áreas verdes e a expansão do sistema de transporte coletivo. Implementou-se o Sistema Trinário de vias, que dividia as principais avenidas em categorias expressas, rápidas e setoriais, visando melhorar a mobilidade urbana, a fluidez do tráfego e a segurança viária (IPPUC, 2023).

Em relação ao sistema de transporte coletivo implantou-se a canaleta exclusiva para ônibus expressos e originou-se o primeiro BRT (*Bus Rapid Transit*) do mundo, o qual integrava os eixos norte e sul com o centro da cidade (IPPUC, 2023).

Outras áreas do planejamento urbano foram impactadas pela revisão do Plano Diretor de 1974. Dentre elas, pode-se destacar: o projeto da Cidade Industrial trouxe a

atração de investimentos, visando a instalação de indústrias não poluentes, com preocupação em integrar moradia, trabalho e lazer através de sistema viário adequado e Setores Especiais Conectores; a criação de Áreas de Proteção Ambiental (APAs) para preservar fundos de vale, dando origem a diversos parques; a revitalização de setores históricos tradicionais e a criação de uma identidade curitibana marcaram a transformação cultural; investimentos públicos em saúde, educação, assistência à infância e à adolescência e programas de abastecimento e habitação iniciaram a rede social (IPPUC, 2023).

Ainda como reflexo desta revisão do Plano Diretor na década de 70, a Região Metropolitana de Curitiba foi instituída, incluindo 14 municípios. O decreto municipal 774/1975 estabeleceu a divisão em 75 bairros, que permanece até hoje (IPPUC, 2023). Essas ações moldaram o desenvolvimento urbano de Curitiba e legaram um modelo exemplar de planejamento para outras cidades.

Ao longo das décadas, o Plano Diretor da cidade de Curitiba continuou tendo revisões, como no período de 2010 a 2015 o qual transporte público e modais não motorizados foram incentivados para promover o interesse coletivo, reduzir poluentes e ruídos, melhorar a circulação e segurança na região central de Curitiba (IPPUC, 2023).

2.3 MODELOS DE SIMULAÇÃO DE TRÁFEGO

A simulação de tráfego representa uma importante forma de analisar uma malha viária e trata-se de uma problematização complexa, com muitas variáveis e dinâmica. De maneira geral, esses problemas configuram-se por complicados processos nos quais interagem com diversos componentes de um sistema, o que os torna, muitas vezes, inviáveis de se formular matematicamente. Contudo, ao se limitar a quantidade de interações transfigura-se em problemas que poderão ser representados de forma matematicamente aceitável. (Lieberman e Rathi, 1997 *apud* Araújo, 2003).

A literatura apresenta diversos aspectos que classificam os modelos de tráfego. Entretanto, para o presente trabalho, apresenta-se o Nível de Agregação, o qual define aspectos relevantes no emprego de modelos de simulação de tráfego.

2.3.1 *Nível de Agregação dos Modelos*

Destacam-se três modelos de simulação de trânsito, essencialmente, divididos em macroscópicos, microscópicos e mesoscópicos onde a definição de qual modelo será utilizado em determinado problema dependerá da aplicação de tal (PARAVISI, MUSSE e BICHO, 2006).

Modelo Macroscópico

Os modelos de simulação de tráfego macroscópico são aplicados para modelagem do fluxo como um todo, descrevendo o comportamento de forma geral do tráfego em uma rede de rodovias e, por conta disto, não levam em conta as interações individuais entre veículos.

Modelo Microscópico

Os modelos de simulação de tráfego microscópico, por outro lado, modelam o comportamento individual de cada veículo na rede de rodovias (*car-following*), considerando, por exemplo, as trocas de faixas e outras manobras de condução na via. Eficaz para avaliar situações em que ocorre congestionamento, o modelo microscópico pode simular com precisão as interações entre veículos e o impacto dessas interações no fluxo do tráfego.

Modelo Mesoscópico

Modelos de simulação mesoscópicos combinam as especificidades dos dois modelos anteriores (macroscópico e microscópico). Avalia o comportamento dos veículos e suas interações, entretanto, a partir de grupos de veículos que possuem características semelhantes e não de maneira individualizada, leva-se em consideração o comportamento coletivo.

2.4 METODOLOGIA HCM

2.4.1 Breve Histórico

O *Highway Capacity Manual* (HCM), também conhecido como Manual de Capacidade Rodoviárias é uma metodologia usada para avaliar a capacidade e o nível de serviço de instalações viárias, incluindo rodovias e interseções. Fornece um conjunto de procedimentos para medir e analisar o desempenho dos sistemas de transporte. Desenvolvido a partir de dados coletados nos Estados Unidos e Canadá, esta metodologia fornece diretrizes para avaliar a capacidade de diferentes tipos de vias e interseções, refletindo as características dos motoristas de determinada região (SOUSA *et al*, 2019).

O HCM foi desenvolvido pela *Transportation Research Board of the National Academy of Sciences* (TRB) nos Estados Unidos, com o objetivo de fornecer um conjunto consistente de procedimentos para avaliar a capacidade e desempenho de sistemas rodoviários (SANTOS, 2013). Sua primeira versão surgiu em 1950 com uma compilação dos maiores fluxos observados e os fundamentos sobre capacidade, destacando-se como o primeiro documento internacional sobre o amplo tema da capacidade (TRB, 2010).

Já sua segunda edição foi publicada em 1965, conceituando nível de serviço (A a F), sendo considerado uma extensão de prestígio referente à publicação de 1950 e, além disso, apresentando novas metodologias para o transporte público. Em 1985, publicou-se a terceira edição, destacando-se por ser a primeira versão a qual possuía procedimentos de análise desenvolvidos por *software*. No ano de 2000 foi lançada a quarta edição a qual teve como objetivo propiciar um embasamento consistente para análise de capacidade e nível de serviço (TRB, 2010).

A presente dissertação baseou-se na quinta edição do *Highway Capacity Manual*, lançada no ano de 2010. Entretanto, no ano de 2022 foi publicada a sétima versão, sendo esta uma limitação deste trabalho.

2.4.2 Análise para Vias Urbanas

As diferentes formas de interações entre modais são relevantes para o bom funcionamento do fluxo em rodovias. Entre esses modais, pode-se destacar

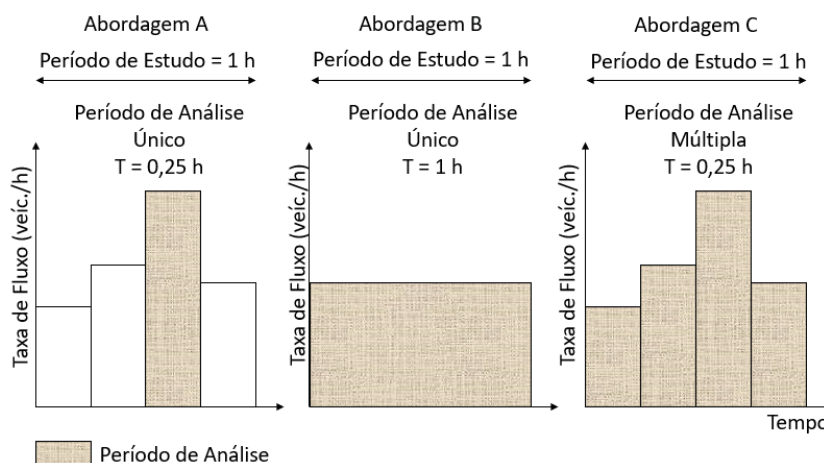
motoristas, pedestres, ciclistas e passageiros em trânsito. Essa relação resulta em diferentes formas de alocação e o manual HCM fornece ferramentas para avaliação desta interação, utilizando-se de informações como políticas locais e padrões de projetos uma vez que, usuários de meios de transportes diferentes, tem percepções diferentes em relação à qualidade do serviço e segurança apresentados (TRB, 2010).

No capítulo 18 do manual HCM (TRB, 2010), destaca-se a metodologia para avaliação de capacidade e qualidade em cruzamentos sinalizados. Composto por uma gama grande de medidas de desempenho, tem por objetivo auxiliar a identificação de problemas e apresentar possíveis soluções para que o pesquisador possa tomar a decisão de maneira eficaz.

As medidas de desempenho descritas no manual estão relacionadas ao uso de uma ou mais medidas quantitativas para serviços prestados a um grupo de usuários. Dentre eles, temos: velocidade de deslocamento de automóveis, espaço para pedestres, taxa de parada de automóveis, velocidade de deslocamento entre outros. Para tal, utiliza-se o *LOS (Level of Service)*, uma forma de estratificar a qualidade de serviço que envolve, pelo menos, uma das medidas apresentadas anteriormente e pode ser descrito para automóveis, ciclistas e pedestres (TRB, 2010).

Para tal estudo, deve-se levar em consideração o período de estudo para obtenção dos dados a qual consiste em um ou mais intervalos de tempo de análise consecutiva. Esse período de análise relaciona-se com o intervalo de tempo avaliado por uma única aplicação da metodologia descrita no capítulo 18 do manual HCM, baseando-se em constância nas condições de tráfego durante o intervalo de tempo em análise. Portanto, embasando-se na premissa de condições constantes para análise, para o período de observação, aconselha-se de 15min a 1h, sendo classificada em três abordagens representadas na FIGURA 2 (TRB, 2010).

FIGURA 1 – TEMPO DE ABORDAGENS ALTERNATIVAS DESCRITAS NO MANUAL HCM



FONTE: TRB (2010).

A abordagem A é, preferencialmente, utilizada em situações a qual possui-se a contagem de tráfego, levando-se em consideração o período de pico de 15 min o qual, posteriormente, deve-se multiplicar por quatro. Já na B, é analisado um período de 1h desprezando-se o fator horário de pico. Contudo, na abordagem C, emprega-se um período de 1h de observação dividindo-se em 4 períodos de 15 min. Para observações com um intervalo de tempo acima de uma hora necessita-se de cautela pois, na medida em que o tempo de estudo é maior, o impacto de picos curtos de demanda de tráfego pode não ser identificados (TRB, 2010).

Vale ressaltar que, para a metodologia HCM, a referência a automóveis está relacionada a todos os veículos motorizados, incluindo carros, motocicletas, caminhões e ônibus. Por se tratar do objetivo da pesquisa, destaca-se a metodologia para automóvel.

2.4.2.1 Metodologia para Automóvel

Os critérios referentes ao *LOS* da metodologia para automóveis são diferentes da metodologia para pedestres. No modo automóvel, baseia-se em parâmetros mensuráveis no levantamento de dados em campo e perceptível aos usuários. O volume/capacidade e o atraso no controle semafórico são usados para classificar o *LOS* para um grupo de faixas uma vez que o atraso quantifica o aumento no tempo de deslocamento devido ao controle do sinal de trânsito.

O *LOS* para o modo automóvel é classificado A, B, C, D, E e F, também descrito resumidamente na FIGURA 3.

- *LOS A*: a maior parte dos veículos chega com sinal verde e atravessa sem parar, demonstrando uma progressão extremamente favorável. É representado por um atraso de 10 s por veículo ou menos, e uma relação de veículo/capacidade maior que 1.
- *LOS B*: representado por um atraso entre 10 s por veículo e 20 s por veículo e relação volume/capacidade não superior a 1. Possui um fluxo altamente favorável.
- *LOS C*: atraso de controle entre 20 segundos por veículo e 35 segundos por veículo e relação volume/capacidade abaixo de 1. Ainda possui fluxo favorável, entretanto falhas individuais podem atrasar o tempo de viagem. Muitos veículos se deslocam pela interseção sem parar, contudo, o número de veículos parados é significativo.
- *LOS D*: indica progressão ineficaz pois a relação volume/capacidade é alta. Descreve atraso entre 35 segundos por veículo e 55 segundos por veículo com relação volume/capacidade menor que 1.
- *LOS E*: representa um atraso de controle de 55 segundos por veículo a 80 segundos por veículo e uma relação volume/capacidade inferior a 1. Apresenta falhas individuais consideráveis, relação volume/capacidade alta e progressão desfavorável.
- *LOS F*: possui atraso de controle superior a 80 segundos por veículo ou uma relação volume/capacidade superior a 1. Relação volume/capacidade muito alta, progressão muito lenta e duração de ciclo muito longo.

Geralmente, quando a duração de um ciclo é curto e/ou a progressão do sinal é favorável, podem surgir um grupo de faixas com um atraso de controle inferior a 80 segundos por veículo quando a relação volume capacidade é maior que 1.

FIGURA 2 – RESUMO CLASSIFICAÇÃO LOS MODO AUTOMÓVEL

Controle de Atraso (segundos por veículo)	LOS pela razão volume por capacidade	
	≤ 1	>1
≤ 10	A	F
$>10-20$	B	F
$>20-35$	C	F
$>35-55$	D	F
$>55-80$	E	F
>80	F	F

FONTE: Adaptado de TRB (2010).

2.4.2.2 Dados de Entrada Modo Automóvel

Descreve-se como dados de entrada para modelo de automóveis valores referenciados usados em certo estudo. Para tal, os parâmetros se dividem em categoria: Características do Tráfego (como vazão de demanda e fila inicial), Desenho Geométrico (referente à quantidade de pistas e estacionamentos), Controle de Sinal (tipo de controle de sinal, tempo de passagem e verde máximo) e outros (limite de velocidade e duração do período de análise), conforme detalhado na FIGURA 4.

FIGURA 3 – DADOS DE ENTRADA PARA METODOLOGIA PARA AUTOMÓVEL

Categoria dos Dados	Elemento de Dados de Entrada	Base
Características de Tráfego	Vazão de Demanda	Movimento
	Taxa de Fluxo de Giro à Direito no Vermelho	Abordagem
	Porcentagem de Veículos Pesados	Grupo de Movimento
	Fator Horário de Pico de Interseção	Interseção
	Proporção de Pelotão	Grupo de Movimento
	Fila Inicial	Grupo de Movimento
	Taxa de Fluxo de Saturação Base	Grupo de Movimento
	Fator de Ajuste de Utilização de Faixa	Grupo de Movimento
	Taxa de Fluxo de Pedestre	Abordagem
	Taxa de Fluxo de Bicicleta	Abordagem
	Taxa de Manobra de Estacionamento na Rua	Grupo de Movimento
	Taxa de Para de ônibus Local	Abordagem
Desenho Geométrico	Número de Pistas	Grupo de Movimento
	Largura Média da Pista	Grupo de Movimento
	Número de Pistas de Recebimento	Abordagem
	Comprimento de Baia de Conversão	Grupo de Movimento
	Presença de Estacionamento na Rua	Grupo de Movimento
Controle de Sinal	Grau de Aproximação	Abordagem
	Tipo de Controle de Sinal	Interseção
	Sequência de Fase	Interseção
	Modo Operacional de Conversão à Esquerda	Abordagem
	Opção de Conversão à Esquerda	Abordagem
	Tempo de Passagem (se acionado)	Estágio
	Verde Máximo ou Duração do Verde	Estágio
	Mínimo Verde	Estágio
	Mudança Amarelo	Estágio
	Liberção Vermelho	Estágio
	Andar	Estágio
	Pedestre Livre	Estágio
	Recuperação de Fase	Estágio
	Entrada Dupla (se acionada)	Estágio
	Gap de saída simultâneo (se acionado)	Abordagem
Outros	Duração do Período de Análise	Interseção
	Limite de Velocidade	Abordagem
	Comprimento do Detector de Linha de Parada	Grupo de Movimento
	Tipo de Área	Interseção

FONTE: Adaptado de TRB (2010).

Conforme descrito no manual HCM (TRB, 2010), os cálculos desenvolvidos por esta metodologia são divididos em 10 etapas, apresentadas a seguir.

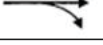
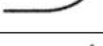
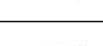
2.4.2.3 Sequência de Cálculos para Metodologia de Automóvel

Os cálculos desenvolvidos são divididos em 10 etapas: Grupos de Movimentos e Grupos de Faixas, Taxa de Fluxo do Grupo de Movimento, Taxa de Fluxo do Grupo de Pistas, Taxa de Fluxo de Saturação Ajustada, Proporção Chegada

no Sinal Verde, Duração da Fase do Sinal, Capacidade e Relação Volume/Capacidade, Determinar o Atraso, Determinação do LOS e Taxa de Armazenamento da Fila, apresentadas a seguir.

Grupos de Movimento e Grupos de Faixa: movimentos de conversão com uma ou mais faixas exclusivas (e sem faixas compartilhadas) caracteriza-se por um grupo de movimento. Já o grupo de faixas pode gerar oito combinações lógicas (FIGURA 5).

FIGURA 4 – COMBINAÇÕES LÓGICAS DE GRUPOS DE FAIXAS

Número de Pistas	Movimentos por Pistas	Grupo de Movimento	Grupo de Faixas
1	Esquerda, reto e direita 		
2	Exclusivo esquerda 		
	Reto e direita 		
2	Esquerda e reto 		
	Reto e direita 		
3	Exclusivo esquerda 		
	Exclusivo esquerda 		
	Reto 		
	Reto 		
	Reto e direita 		

FONTE: TRB (2010).

Taxa de Fluxo do Grupo de Movimento: uma ou mais faixas exclusivas e não compartilhadas, para um movimento de curva, é atribuída a um grupo. Se outras faixas não se aplicam nesta caracterização e não pertencem a grupos, é atribuído a um grupo de movimento.

Taxa de Fluxo do Grupo de Pistas: se não houver faixas compartilhadas ou tiver apenas uma faixa na interseção, a taxa de fluxo do grupo será igual a taxa do fluxo de grupo de movimento. Caso contrária, a taxa de fluxo do grupo de pistas deverá ser calcula.

Taxa de Fluxo de Saturação Ajustada: reflete a aplicação de vários fatores que são ajustados para a aplicação da interseção analisada em relação ao grupo de pistas em questão. É calculada por:

$$S = S_0 f_w f_{HV} f_g f_p f_{bb} f_a f_{LU} f_{LT} f_{RT} f_{Lpb} f_{Rpb} \quad (11)$$

Onde:

S = Taxa de Fluxo de Saturação Ajustada;

S_0 = Taxa de Fluxo de Saturação Base;

f_w = fator de ajuste da largura da pista;

f_{HV} = fator de ajuste para fluxo de veículos pesados;

f_g = fator de ajuste grau de aproximação;

f_p = fator de ajuste para estacionamentos;

f_{bb} = fator de ajuste para parada de ônibus na interseção;

f_a = fator de ajuste para o tipo de área;

f_{LU} = fator de ajuste para utilização de faixa;

f_{LT} = fator de ajuste para veículos de conversão à esquerda.

f_{RT} = fator de ajuste para veículos de conversão à direita.

f_{Lpb} = fator de ajuste pedestres e ciclistas conversão esquerda;

f_{Rpb} = fator de ajuste pedestres e ciclistas conversão direita.

Segundo o manual HCM (TRB, 2010), o valor adotado como base para a taxa de fluxo de saturação base (S_0) é de 1900 ucp/h portanto, para o cálculo de um conjunto de faixas, basta calcular o produto do valor adotado com o número de faixas do conjunto em estudo.

Já para o cálculo do fator de ajuste para a largura da faixa (f_w), utilizando a medida da faixa (W), em metros, é dada por:

$$f_w = 1 + \frac{(W-3,6)}{9} \quad (12)$$

Para o cálculo de fator de ajuste para fluxo de veículos pesados (f_{HV}), é levado em consideração a diferença entre veículos pesados e veículos de passeio, tanto seu espaço que ocupa na via quanto as diferenças operacionais. É dado pela equação:

$$f_{HV} = \frac{100}{100 + P_{HV}(E_T - 1)} \quad (13)$$

Onde

P_{HV} = porcentagem de veículos pesados no grupo de movimento;

E_T = valor equivalente de veículos de passeio para veículo pesado (2 ucp/vp).

Para se determinar o fator de ajuste grau de aproximação (f_g), ou fator de ajuste de greide de aproximação, utiliza-se a Equação 14, onde P_g é o greide do trecho em estudo, dado em percentual.

$$f_g = 1 - \frac{P_g}{200} \quad (14)$$

O fator de ajuste de estacionamento (f_p) é responsável pelo cálculo referente ao bloqueio e atrito a qual vagas de estacionamento podem causar no fluxo de trânsito. Caso não haja no local em estudo, considera-se como $f_p = 1$. Caso haja, calcula-se pela equação:

$$f_p = \frac{N - 0,1 - \frac{18N_m}{3600}}{N} \geq 0,05 \quad (15)$$

Onde:

N_m = taxa de manobras de estacionamento adjacente ao grupo de faixas (manobras/h);

N = quantidade de pistas do grupo de movimento.

Para a taxa de manobras de estacionamento adjacente ao grupo de faixas (N_m) é considerada as vagas de até 76,2 metros da linha de parada e, caso ultrapasse o valor de 180 manobras por hora, deve-se considerar este mesmo valor como base para o cálculo.

O fator de ajuste para parada de ônibus na interseção (f_{bb}) considera o impacto no fluxo de trânsito quando um ônibus faz uma parada para embarque e/ou desembarque de passageiros em pontos que estão até 76,2 metros da linha de parada. Para tal, faz-se o uso da equação descrita a seguir:

$$f_{bb} = \frac{N - 0,1 - \frac{14,4N_b}{3600}}{N} \geq 0,05 \quad (16)$$

Onde N_b é a quantidade de ônibus que param por hora. Contudo, se a parada de ônibus não bloqueia o fluxo, este fator não deverá ser usado. Caso o valor de N_b ultrapasse 250 ônibus por hora, utiliza-se esse valor como máximo na equação.

Para o fator de ajuste de área (f_a), aponta-se que, em áreas comerciais centrais (CDB), a operação de fluxo de trânsito é menos eficiente por conta de fluxo de trânsito e/ou desenho geométrico e, portanto, será utilizado um valor de $f_a=0,9$. Para demais áreas, adota-se um valor de $f_a= 1$.

O fator de ajuste para utilização de faixa (f_{LU}) estima a taxa de fluxo de saturação para grupos de faixas com mais de uma faixa exclusiva. Caso o grupo possua uma faixa exclusiva ou a demanda seja próximo ao valor de sua capacidade, o valor adotado para $f_{LU}= 1$. Contudo, para diferenciar o fluxo entre diferentes faixas do mesmo grupo, tem-se:

$$f_{LU} = \frac{V_g}{V_{g1}N} \quad (17)$$

Onde V_g representa o fluxo (em veículos por hora) de todas as faixas de trânsito do grupo e V_{g1} representa a taxa (em veículos por hora) da faixa com maior fluxo.

Já o fator de ajuste para veículos de conversão à esquerda (f_{LT}) é calculado através da Equação 18, descrita a seguir. Caso não haja conversão à esquerda, deve-se considerar $f_{LT} = 1$ e, para faixas exclusivas, adota-se $f_{LT} = 0,95$. Sendo E_L quantidade de carros que realizam conversão à esquerda, temos:

$$f_{LT} = \frac{1}{E_L} \quad (18)$$

Entretanto, se a faixa para conversão à esquerda for compartilhada, deve-se efetuar o cálculo do fator de ajuste através da Equação 19, onde P_{LT} é a proporção de veículos que utilizam a via compartilhada para realizar a conversão.

$$f_{LT} = \frac{1}{1+0,05P_{LT}} \quad (19)$$

Para o fator de ajuste para veículos de conversão à direita (f_{RT}) emprega-se a Equação 20, a qual objetiva-se a grupos que possuam faixas exclusivas. Quando não, utiliza-se a Equação 21

$$f_{RT} = \frac{1}{E_R} \quad (20)$$

Com E_R sendo a quantidade de veículos passando para a conversão protegida à direita.

$$f_{RT} = 1 - 0,15P_{RT} \quad (21)$$

Onde P_{RT} é a proporção de veículos que viram à direita em relação ao total de veículos na faixa compartilhada. Neste caso, o valor resultante deverá ser maior ou igual a 0,05 e, caso contrário, deverá ser empregado $f_{RT} = 1$.

Por fim, para o cálculo da taxa de fluxo de saturação ajustada, determina-se o fator de ajuste pedestres e ciclistas conversão à esquerda (f_{Lpb}) e o fator de ajuste pedestres e ciclistas conversão à direita (f_{Rpb}). Todavia, este cálculo só será executado caso haja previsão de preferência nas vias quando, ao realizar a conversão à direita ou à esquerda com a sinalização verde, pedestres e ciclistas efetuem movimento conflitante (atrassem a via, por exemplo). Nas demais situações, tem-se o valor para $f_{Lpb} = f_{Rpb} = 1$.

Proporção Chegada no Sinal Verde: descrita pela equação a seguir, é usada para calcular a proporção para cada grupo de faixas. O processo usa o perfil para calcular a proporção de chegada com o sinal verde.

$$P = R_p \left(\frac{g}{C} \right) \quad (22)$$

Duração da Fase do Sinal: a duração de uma fase acionada é composta por cinco períodos. O primeiro é o tempo perdido de reação dos motoristas a frente do semáforo, o segundo refere-se ao tempo para esvaziar a fila de veículos, o terceiro é a relação do tempo de verde que sobra para os veículos aleatórios passarem, o quarto

período relaciona-se ao intervalo de amarelo e o quinto, intervalo de tempo de vermelho. A duração de uma fase acionada pode ser definida pela equação:

$$D_p = l_l + g_s + g_e + Y + R_c \quad (23)$$

Onde:

D_p = duração da fase (s);

l_l = tempo perdido na inicialização (recomendado 2 segundos);

g_s = tempo em fila;

g_e = tempo em verde;

Y = intervalo de mudança amarelo;

R_c = intervalo de vermelho.

A duração do verde efetivo também pode ser calculada com uma variação da equação acima.

Capacidade e Relação Volume/Capacidade: a capacidade é calculada conforme a Equação 24 para grupos de faixas onde não possuem conversão à esquerda definidos. Já a relação entre volume/capacidade para um determinado grupo de faixas (X) é apresentada como a relação entre volume do grupo de pistas e sua capacidade, onde v é a taxa de fluxo de demanda (em veículos por hora) e c a capacidade (Equação 25)

$$c = \frac{N \cdot S \cdot g}{C} \quad (24)$$

Onde c é a capacidade e faz-se o uso da unidade veículos por hora.

$$X = \frac{v}{c} \quad (25)$$

Determinar o Atraso: nesta etapa calcula-se o atraso médio sentido por todos os veículos no período de análise. É calculado por:

$$d = d_1 + d_2 + d_3 \quad (26)$$

Onde:

d = atraso de controle (segundos por veículo);

d_1 = atraso uniforme;

d_2 = atraso aumentado;

d_3 = atraso inicial da fila.

Determinação do *LOS*: conforme apresentado na FIGURA 3 anteriormente, o *LOS* determina os níveis de atrasos para motoristas nas interseções.

Taxa de Armazenamento da Fila: proporção da distância disponível de armazenamento da fila que é ocupada no ponto do ciclo quando a posição de fim de fila é atingida.

2.4.2.4 Interpretação dos Resultados

Após as dez etapas e resultados obtidos, de acordo com o manual HCM (TRB, 2010), resultam na avaliação de atraso de controle e no *LOS* de cada grupo de faixas, abordagem e análise de forma geral, fornecendo medidas úteis para a interpretação do pesquisador.

Entretanto, a interpretação do *LOS* deve ser realizada de maneira cautelosa visto que, para cidades diferentes, o mesmo nível de *LOS* pode ser classificado como desejáveis ou não, dependendo das particularidades do local em estudo. Outro fator relevante na interpretação referente ao *LOS* é a aceitabilidade na interseção quando, na verdade, em determinados grupos de faixas está ocorrendo uma operação em *LOS* inaceitáveis. Portanto, o analista precisará considerar o pior desempenho de um grupo de faixas para fundamentar sua conclusão referente à interseção (TRB, 2010).

Na questão razão volume/capacidade, em geral, acima de 1 indica um potencial colapso na via em estudo. Todavia, como visto anteriormente, pode-se obter uma relação volume/capacidade abaixo de 1 e obter deslocamentos individuais críticos dentro de um ciclo de sinal. Nestes casos, as melhorias indicadas são mudança na quantidade ou uso das pistas, aumento na duração do ciclo semafórico e/ou alteração na sequência dos ciclos, mas sem descartar a proporção relacionada (TRB, 2010).

Ademais, atrasos muito grandes podem ocorrer em trechos onde a capacidade é elevada bem como em locais com a capacidade adequada. Da mesma

forma que níveis de atrasos aceitáveis não são sinônimos de capacidade suficiente. O manual HCM apresenta a metodologia para que possa ser estimado as medidas de desempenho, constatar-se problemas ou possíveis problemas e contribuir para o desenvolvimento de soluções (TRB, 2010).

Contudo, para calcular a relação volume/capacidade, necessita-se da probabilidade de não ter fila na via. Esta probabilidade é calculada através da seguinte equação:

$$p_{0,j}^* = 1 - (1 - p_{0,j}) \left[\frac{(n_L+1)}{\sqrt{1 + \frac{x_{i,1+2}^{(n_L+1)}}{1-x_{i,1+2}}}} \right] \text{ com } x_{i,1+2} = \frac{v_{i1}}{S_{i1}} + \frac{v_{i2}}{S_{i2}} \quad (27)$$

Onde:

$j = 1$ e 4 (movimentos de veículos de conversão à esquerda em vias principais). Quando $j = 1$, $i1 = 2$ e $i2 = 3$. Já quando $j = 4$, $i1 = 5$ e $i2 = 6$.

$i1 = 2$ e 5 (rua principal por movimentação de veículos);

$i2 = 3$ e 6 (movimentos veiculares de conversão à direita em vias principais);

$x_{i,1+2}$ = grau combinado de saturação para os movimentos de passagem da rua principal e de conversão à direita;

S_{i1} = taxa de fluxo de saturação para a via principal por meio de movimentos (padrão assumido em 1.800 veículos por hora; no entanto, esse parâmetro pode ser medido em campo);

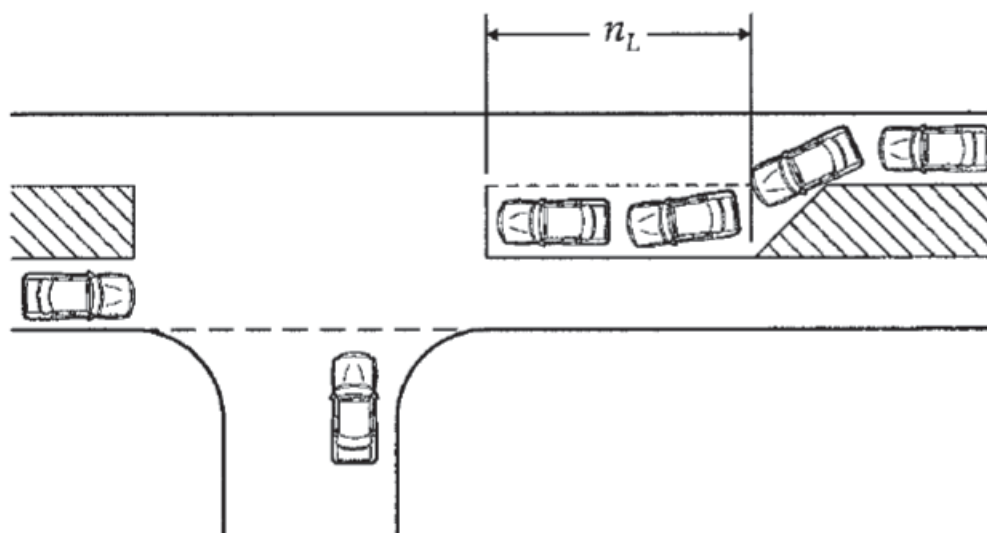
S_{i2} = taxa de fluxo de saturação para os movimentos de conversão à direita nas ruas principais (o padrão é de 1.500 veículos por hora; no entanto, esse parâmetro pode ser medido no campo);

v_{i1} = taxa de fluxo de circulação de via principal (veículos por hora);

v_{i2} = taxa de fluxo de conversão à direita na rua principal (veículos por hora) (0 se houver uma faixa exclusiva para conversão à direita);

n_L = tamanho do local de espera para conversão a esquerda (FIGURA 6).

FIGURA 5 – REPRESENTAÇÃO DA SAÍDA n_L



FONTE: TRB (2010).

2.5 SOFTWARE AIMSUN

O Aimsun é um *software* de simulação de tráfego avançado que é utilizado para simular e analisar desempenho de redes de transporte, incluindo rodovias, ferrovias e transporte coletivo. Permite ao usuário modelar e simular situações de tráfego de forma detalhada, considerando fatores como capacidade das rodovias, demanda de tráfego, sinalização de trânsito e, até mesmo, as condições climáticas da região, permitindo aos usuários avaliar os impactos dentro de projetos de engenharia de tráfego, políticas públicas e de transporte (ABOUT AIMSUN, 2022).

Segundo o *website* do próprio *software* (ABOUT AIMSUN, 2022), o Aimsun possui uma variedade de ferramentas para a construção e análise de modelos de tráfego. Dentre elas, destacam-se:

- Ferramentas para definição de demandas de tráfego, incluindo suporte para modelagem de vias e tripulação;
- Ferramentas para modelagem de sinais de trânsito e dispositivos de controle de tráfego;
- Ferramentas para análise de resultados com geração de relatórios e gráficos.

Além disso, o *software* é compatível com outras ferramentas de análise, o que permite a integração de resultados de simulação com outras análises.

2.5.1 *Yunex Traffic Group*

O *software* Aimsun faz parte do *Yunex Traffic Group*, uma empresa de tecnologia especializada em desenvolvimento de *softwares* e soluções para gerenciamento e controle do tráfego e mobilidade urbana. Oferece uma ampla gama de soluções como sistemas de tráfego adaptativo, automação de autoestradas e túneis, bem como soluções de comunicação para V2X (veículos conectados com outros veículos e com a infraestrutura ao seu redor) visando melhorias na segurança, eficiência e fluidez do tráfego em áreas urbanas e cidades (*AI AND DIGITAL SOLUTIONS*, 2022).

O Aimsun é amplamente utilizado por agências governamentais e empresas do setor privado para estudos e pesquisas dos impactos das novas infraestruturas de transporte, avaliação da viabilidade de novas tecnologias e melhores sistemas de gestão de tráfego.

A *Yunex Traffic* tornou-se parte do *Atlantia Group* no final de junho de 2022, visando a expansão tecnológica para criar um ecossistema de mobilidade integrado. Além de ser líder global no mercado de Sistemas de Transportes Inteligentes, a *Yunex Traffic* possui em seu portfólio sistemas de gerenciamento de túneis e rodovias, interseções inteligentes, estando presente em quarenta países, em mais de seiscentas cidades atingindo, aproximadamente, cem patentes (*YUNEX TRAFFIC*, 2022).

3 MATERIAL E MÉTODOS

Nesta seção descreve-se o planejamento e execução do estudo de caso realizado na pesquisa.

A metodologia de Estudo de Caso (EC) refere-se a uma metodologia de estudo de acontecimentos individuais ou processos sociais atuando em grade variedade de estudos que podem ser classificados com EC (PEREIRA *et al*, 2018).

Para tal, divide-se o presente capítulo em Localização e Especificações da Área de Estudo, Coleta de Dados e Apresentação dos Resultados.

3.1 LOCALIZAÇÃO E ESPECIFICAÇÕES DA ÁREA DE ESTUDO

Localizado na área central da cidade de Curitiba- PR, a Avenida Visconde de Guarapuava percorre uma extensão de, aproximadamente, 4,3 quilômetros, tendo início na bifurcação com a Rua Atílio Bório, no bairro Cristo Rei, o que gera a pista da direita e na junção com a Rua do Herval, que gera a pista da esquerda (FIGURA 7 - <https://shre.ink/viscondeinicio>), finalizando na segmentação entre as ruas Castro Alves (pista esquerda) e Rua Odin Ferreira do Amaral (pista direita), no bairro Batel (FIGURA 8 - <https://shre.ink/viscondefim>). Trata-se de uma importante avenida do sistema Trinário que cruza o centro da cidade no sentido leste-centro.

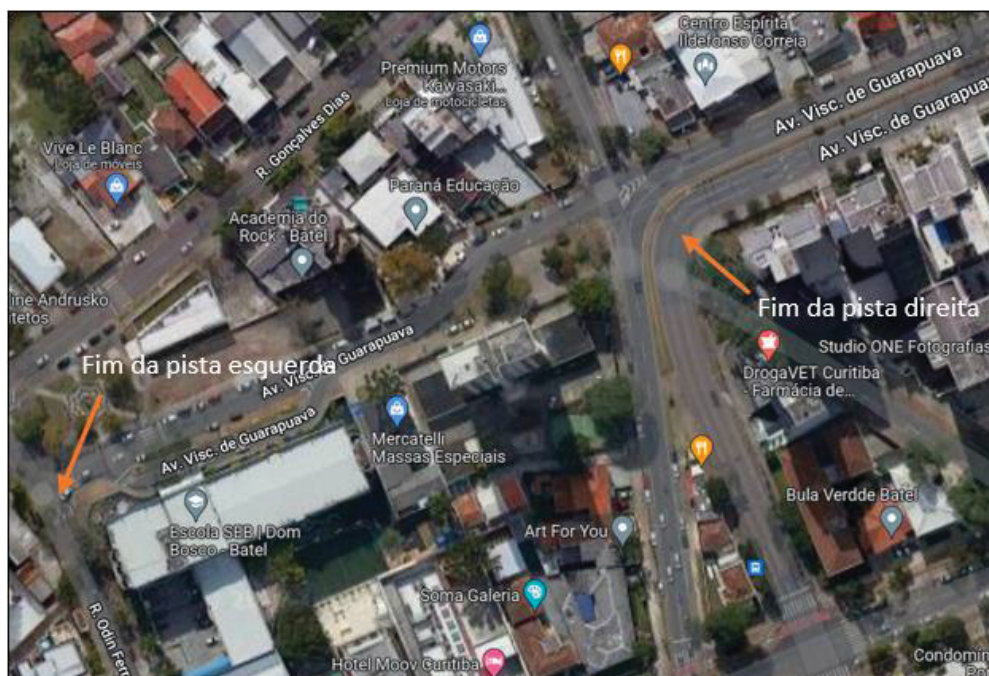
FIGURA 6 – INÍCIO DA AVENIDA VISCONDE DE GUARAPUAVA



FONTE: Adaptado de GOOGLE MAPS (2022).

Avenida que, a partir da Rua Ubaldino do Amaral (viaduto localizado próximo ao seu início), possui o tráfego em duas vias, implementado em 1978 a partir do Decreto Municipal nº 510/78 (CURITIBA, 1978). Além da disposição de duas vias, a avenida possui, desde 2020, motocaixas (áreas reservadas para motociclistas) em seus 16 cruzamentos semaforizados para ampliar a segurança de motociclistas. Trata-se de um espaço reservado à motos em frente ao sinal semaforizado delimitando um espaço físico para que os motociclistas aguardem a abertura do sinal verde (CURITIBA, 2020).

FIGURA 7 – FINAL DA AVENIDA VISCONDE DE GUARAPUAVA



FONTE: Adaptado de GOOGLE MAPS (2022).

Além disso, a Avenida Visconde de Guarapuava possui dois semáforos “inteligentes”, nos cruzamentos com a Avenida Marechal Floriano Peixoto e Rua João Negrão. Trata-se de um dispositivo instalado no semáforo a fim de aumentar o tempo de travessia para cidadãos que possuem mobilidade reduzida. Para tal, a pessoa necessita do Cartão Respeito ou Cartão Transporte Isento, fornecido pela prefeitura da cidade de maneira gratuita. Ao acionar o dispositivo com seu cartão, o cidadão aumenta seu tempo de travessia em até 50% em relação aos semáforos convencionais (CURITIBA, 2015).

Para tal estudo, foi selecionado o trecho entre a Rua Dr. Faivre e a Avenida Marechal Floriano Peixoto (FIGURA 9), aproximadamente 1 km, totalizando 10 cruzamentos que, dentre eles, 9 são semaforicos, incluindo os dois semáforos inteligentes citados anteriormente, uma vez que trata-se do início da avenida e possui maior fluxo de veículos e menor velocidade média no período pesquisado.

FIGURA 8 – TRECHO SELECIONADO PARA ESTUDO DA PESQUISA



FONTE: Adaptado de GOOGLE MAPS (2022).

Para facilitar a compreensão, o estudo foi realizado com os cálculos de maneira separada em cada um dos cruzamentos para avaliação do *LOS* e, em seguida, verificado o *LOS* total do trecho em estudo.

Os cruzamentos foram separados por numerações a fim de facilitar a localização para os cálculos e medições executados. Portanto, a TABELA 1 apresenta cada cruzamento estudado.

Vale ressaltar que, ao longo dos dez cruzamentos em estudo, todos apresentam *yellow box*. Segundo o DENATRAN (2007) a sinalização popularmente chamada de “caixas amarelas” ou *yellow box*, tem sua nomenclatura de Marcação de Área de Conflito (MAC) e demarca a área em um cruzamento a qual os condutores não devem parar seus veículos a fim de não prejudicar o fluxo.

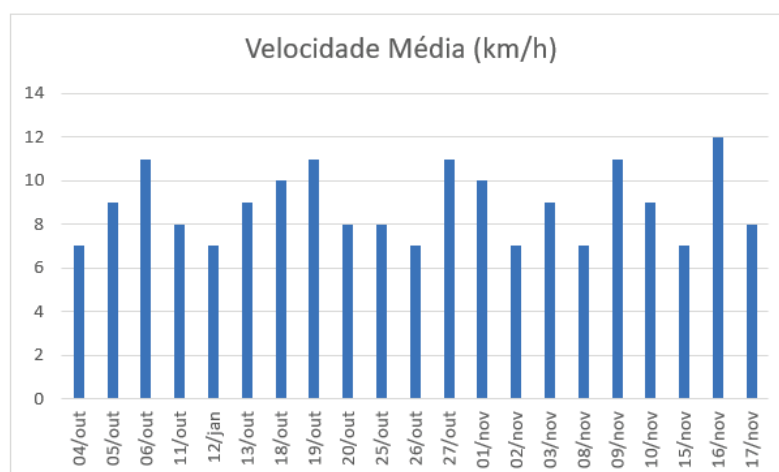
TABELA 1 – CRUZAMENTOS DO TRECHO DA AVENIDA VISCONDE DE GUARAPUAVA

NUMERAÇÃO	CRUZAMENTO COM A VIA	SEMAFORIZADA
1	Rua Dr. Faivre	Sim
2	Rua Francisco Torres	Não
3	Rua Mariano Torres	Sim
4	Rua Tibagi	Sim
5	Rua Conselheiro Laurindo	Sim
6	Rua João Negrão	Sim
7	Travessia da Lapa	Sim
8	Rua Barão do Rio Branco	Sim
9	Rua Lourenço Pinto	Sim
10	Avenida Marechal Floriano Peixoto	Sim

FONTE: O autor (2022).

A área delimitada para estudo foi baseada em observações diárias durante os meses de outubro e novembro de 2022, com o auxílio do aplicativo *mobile Waze* que identificou o congestionamento nos horários entre 7:30 e 9 horas (GRÁFICO 1), observando-se apenas terça-feira, quarta-feira e quinta-feira, em dias típicos, sem sofrer interferências de início e final de semana (DENATRAN, 2014). Para tal afirmação, não se encontrou fontes de dados sobre os congestionamentos diários na cidade de Curitiba, sendo repassado pela SETRAN (Secretaria Municipal de Defesa Social e Trânsito) que estes dados serão disponibilizados apenas dentre alguns anos.

GRÁFICO 1 – VELOCIDADE MÉDIA (KM/H) EM OUTUBRO E NOVEMBRO DE 2022



FONTE: O autor (2022).

Conforme demonstrado no GRÁFICO 1, o trecho pesquisado da Avenida Visconde de Guarapuava apresentou, em dias típicos durante os meses de outubro e novembro de 2022, de 8,6 km/h no período entre às 7:30 e as 9h.

3.2 COLETA DE DADOS

3.2.1 Contagem e Classificação do Tráfego na Via

Para a realização da coleta de dados, foi utilizado filmagens em vídeo, com a variação de uma a duas câmeras, para um resultado fidedigno e, posteriormente, analisou-se cada cruzamento da avenida em estudo no horário entre 7:30 e 8:30 da manhã, conforme organização apresentada no QUADRO 1.

QUADRO 1 – PERÍODOS DE CONTAGEM DO FLUXO DE TRÂNSITO

Data/Dia	Quantidade de Cruzamentos	Período de Observação
29/11	1	7:42 às 7:58
29/11	1	8:05 às 8:21
30/11	2	7: 47 às 8:04
30/11	2	8:12 às 8:29
01/12	2	7:36 às 7:53
01/12	2	8:01 às 8:17

FONTE: O autor (2022).

Para a realização da coleta dos dados, baseou-se no tempo determinado pela metodologia HCM (FIGURA 2), como descritos na abordagem A. Já para a filmagem dos cruzamentos, foram utilizados dois pesquisadores posicionados com suas câmeras de forma que, na angulação, fosse possível observar todos os movimentos dos veículos de todos os conjuntos de faixas da via, conforme exemplo demonstrado na FIGURA 10.

Posteriormente, as imagens foram analisadas pelo pesquisador, trecho a trecho, e os dados da contagem foram inseridos em uma planilha do *Microsoft Excel* que continha tabelamento previamente criado com todos os parâmetros necessários para desenvolvimento da pesquisa, segundo o manual HCM 2010.

Optou-se por este formato de coleta de dados uma vez que o número de pesquisadores era menor que a quantidade de aproximações dos cruzamentos selecionados para o estudo.

FIGURA 9 – EXEMPLO DO POSICIONAMENTO DAS CÂMERAS PARA COLETA DE DADOS



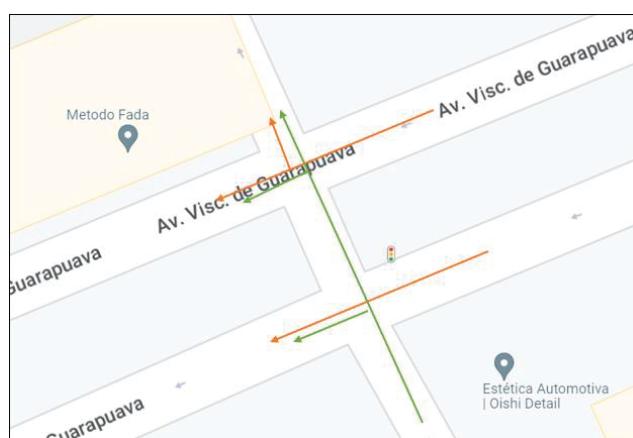
FONTE: O autor (2022).

3.2.1.1 Representação das Aproximações dos Cruzamentos

Para a representação de cada cruzamento (conforme a FIGURA 10), apresentou-se cada forma de aproximação presente no fluxo da via no mês de novembro/dezembro de 2022.

O primeiro cruzamento em estudo apresenta sinalização semafórica e, como forma de compreensão, adotou-se o destaque de fluxo da Avenida Visconde de Guarapuava (em alaranjado) e o fluxo da Rua Dr. Faivre (em verde) apresentado na FIGURA 11 (<https://shre.ink/viscondefaivre>).

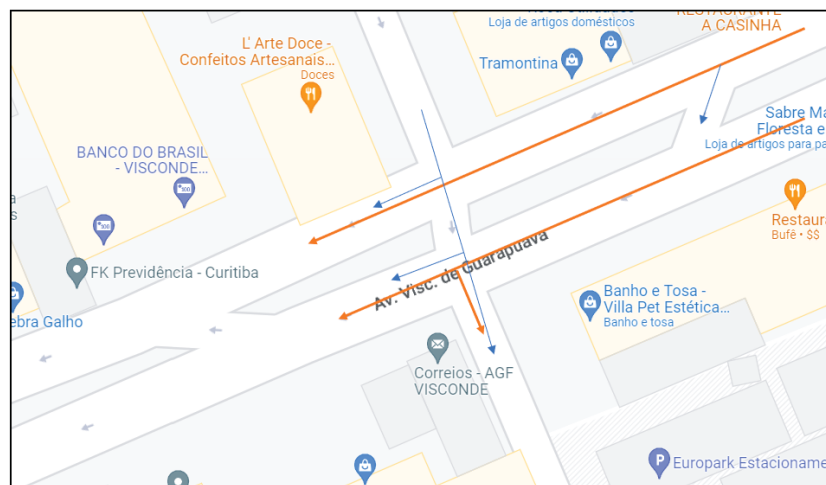
FIGURA 10 – APROXIMAÇÕES DO CRUZAMENTO 1



FONTE: Adaptado de GOOGLE MAPS (2022).

Já, pouco antes do cruzamento com a Rua Francisco Torres (não semafórico), existe uma faixa adicional para a saída à esquerda. Entretanto, por possuir uma distância de 33 metros, compartilha a faixa da esquerda em horários de maior demanda (FIGURA 12 - <https://shre.ink/viscondefrancisco>). Este cruzamento, por não se tratar do objeto de estudo da pesquisa, foi contabilizado como uma via que acrescenta ou diminui o fluxo no local.

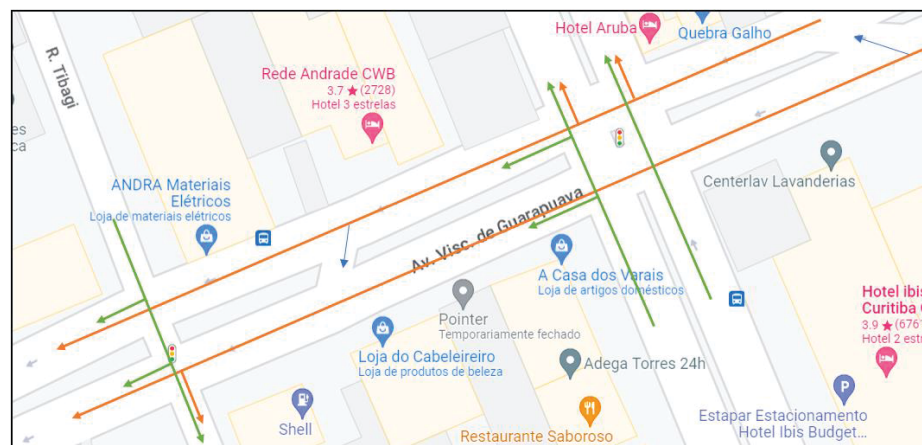
FIGURA 11 – APROXIMAÇÕES DO CRUZAMENTO 2



FONTE: Adaptado de GOOGLE MAPS (2022).

Demais faixas adicionais com, aproximadamente, mesmo comprimento espalha-se ao longo da via, influenciando no fluxo da faixa à esquerda (quando se trata da via da direita) e no fluxo da faixa à direita (quando se trata da via da direita) conforme representado na FIGURA 13 (<https://shre.ink/viscondemarianotibagi>).

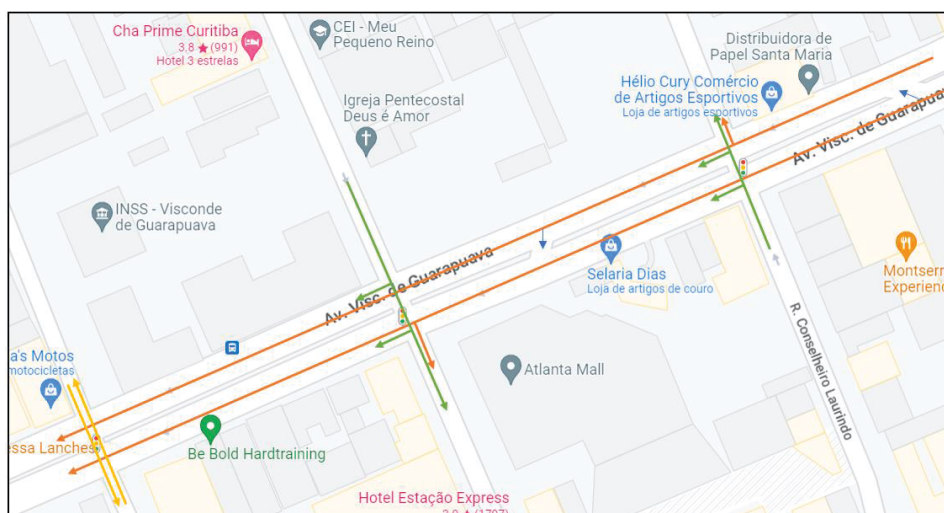
FIGURA 12 – APROXIMAÇÕES DOS CRUZAMENTOS 3 e 4



FONTE: Adaptado de GOOGLE MAPS (2022).

Para os cruzamentos 5 e 6, as aproximações seguem como demonstra a FIGURA 14. Contudo, vale ressaltar que, para o cruzamento 7, na Av. Visconde de Guarapuava ocorre a interseção com a Travessia da Lapa, a qual é de uso exclusivo de ônibus, ambulâncias e veículos do serviço público em operação (demonstrada em amarelo na FIGURA 14 - <https://shre.ink/viscondeconsjoalapa>).

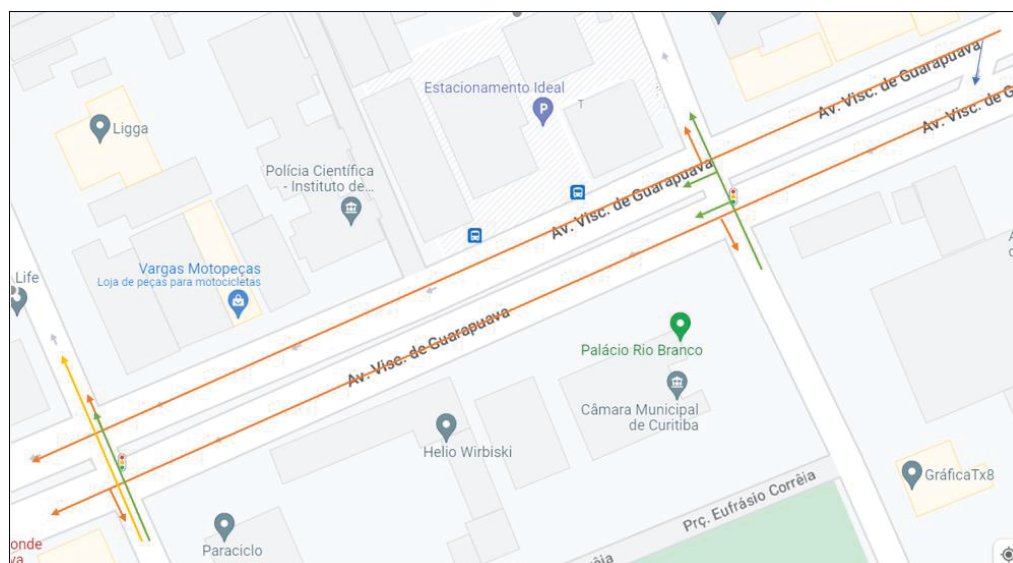
FIGURA 13 – APROXIMAÇÕES DOS CRUZAMENTOS 5, 6 e 7.



FONTE: Adaptado de GOOGLE MAPS (2022).

A FIGURA 15 (<https://shre.ink/viscondebaraulourenco>) descreve os cruzamentos 8 e 9 onde, no cruzamento 9, verifica-se que na Rua Lourenço Pinto as aproximações são diferenciadas. Quem trafega pela via direita da Av. Visconde de Guarapuava poderá acessá-la apenas com a faixa da direita uma vez que as demais são de uso exclusivo para ônibus e veículos do serviço público em operação. Todavia, quem trafega pela via esquerda da Av. Visconde de Guarapuava poderá realizar a conversão à esquerda usando a faixa direita da Rua Lourenço Pinto visto que a faixa central também é de uso exclusivo de ônibus e veículos oficiais em operação e a faixa da direita é utilizada por veículos do fluxo contrário.

FIGURA 14 – APROXIMAÇÕES DOS CRUZAMENTOS 8 e 9.



FONTE: Adaptado de GOOGLE MAPS (2022).

Por fim, a FIGURA 16 (<https://shre.ink/viscondemarechal>) apresenta o último cruzamento objeto de estudo, entre a Av. Visconde de Guarapuava e Av. Marechal Floriano Peixoto. A segunda avenida supracitada divide-se em duas vias onde uma é de uso exclusivo para ônibus e veículos oficiais em serviço.

FIGURA 15 – APROXIMAÇÕES DO CRUZAMENTO 10.



FONTE: Adaptado de GOOGLE MAPS (2022).

A distinção de cada aproximação dos cruzamentos em estudo faz-se necessária para os cálculos.

3.2.1.2 Cálculo do Fluxo de Saturação Ajustado

Para o cálculo de Fluxo de Saturação Ajustado (que é apresentado em ucp/h), aplicou-se a Equação 11 para cada cruzamento descrito anteriormente. Entretanto, para se obter o resultado, foram necessários grandezas e valores através do levantamento dos dados, medições e a utilização das Equações 12 a 21. Entre eles estão o fator de ajuste da largura das faixas (f_w), fator de ajuste para o greide de aproximação (f_g), fator de ajuste para estacionamentos (f_p) e fator de ajuste para parada de ônibus na interseção (f_{bb}).

Segundo o DENATRAN (2014) deve-se ajustar o tamanho relativo de motocicletas como 0,33 em relação ao automóvel de passeio, ônibus e caminhão de 2 eixos equivalem a 2 automóveis. Para esta pesquisa, adotou-se os valores apresentados pelo DENATRAN (2014) para ônibus e caminhões, entretanto, para motocicletas, foi utilizado 0,5 de um automóvel.

Os cálculos de Fluxo de Saturação ajustados do cruzamento 1 são apresentados no APÊNDICE 1. Entretanto, para fins de compreensão, os quadros a seguir apresentam os cálculos do primeiro cruzamento em estudo (Av. Visconde de Guarapuava com a Rua Dr. Faivre), em cada aproximação.

QUADRO 2 – CÁLCULO DO FLUXO DE SATURAÇÃO AJUSTADO APROXIMAÇÃO 1 VIA DIREITA
AV. VISCONDE DE GUARAPUAVA – FAIXA DIREITA

Fator de Ajuste a ser calculado	Variáveis	Valores para Aproximação	Resultado do Fator Calculado
$f_w =$	W	2,6	0,88888889
$f_{HV} =$	PHV	1,03	0,989805008
	ET	2	
$f_g =$	Pg(%)	14,61	0,92695
$f_p =$	N	0	1
	Nm	0	
$f_{bb} =$	N	3	0,961333333
	Nb	4	
$f_a =$		0,9 ou 1	0,9
$f_{LU} =$	Vg		1
	Vg1		
	N		
$f_{LT} =$	PLT	0	1
$f_{RT} =$	PRT	1,38	0,793
$f_{LPb} =$	-	-	1
$f_{RPb} =$	-	-	1
S_0			1900

S =	1063,155358
-----	-------------

FONTE: O autor (2023).

QUADRO 3 – CÁLCULO DO FLUXO DE SATURAÇÃO AJUSTADO APROXIMAÇÃO 1 VIA DIREITA
AV. VISCONDE DE GUARAPUAVA – FAIXA CENTRAL

Fator de Ajuste a ser calculado	Variáveis	Valores para Aproximação	Resultado do Fator Calculado
$f_w =$	W	2,6	0,888888889
$f_{HV} =$	PHV	1,03	0,989805008
	ET	2	
$f_g =$	Pg(%)	12,3	0,9385
$f_p =$	N	0	1
	Nm	0	
$f_{bb} =$	N	0	1
	Nb	0	
$f_a =$		0,9 ou 1	0,9
$f_{LU} =$	Vg		1
	Vg1		
	N		
$f_{LT} =$	PLT	0	1
$f_{RT} =$	PRT	0	1
$f_{Lpb} =$	-	-	1
$f_{Rpb} =$	-	-	1
S0			1900

S =	1411,976641
-----	-------------

FONTE: O autor (2023).

QUADRO 4 – CÁLCULO DO FLUXO DE SATURAÇÃO AJUSTADO APROXIMAÇÃO 1 VIA DIREITA
AV. VISCONDE DE GUARAPUAVA – FAIXA ESQUERDA

Fator de Ajuste a ser calculado	Variáveis	Valores para Aproximação	Resultado do Fator Calculado
$f_w =$	W	2,6	0,888888889
$f_{HV} =$	PHV	1,03	0,989805008
	ET	2	
$f_g =$	Pg(%)	8,46	0,9577
$f_p =$	N	0	1
	Nm	0	
$f_{bb} =$	N	0	1
	Nb	0	
$f_a =$		0,9 ou 1	0,9
$f_{LU} =$	Vg		1
	Vg1		
	N		
$f_{LT} =$	PLT	0	1
$f_{RT} =$	PRT	0	1
$f_{Lpb} =$	-	-	1
$f_{Rpb} =$	-	-	1
S0			1900

S =	1440,86311
-----	------------

FONTE: O autor (2023).

Para tal, considerou-se individualmente as faixas de cada conjunto de faixas, dividindo-se o trecho da avenida em estudo em via direita e via esquerda. Para o resultado do Fluxo de Saturação Ajustado, realizou-se a soma dos fluxos calculados individualmente, em cada cruzamento semafórico, como apresentado na TABELA 2.

TABELA 2 – FLUXO DE SATURAÇÃO PAR CADA CRUZAMENTO

CRUZAMENTO	VIA	AVENIDA/RUA	FLUXO DE SATURAÇÃO
1	Direita	Visconde de Guarapuava	3915,86
1	Esquerda	Visconde de Guarapuava	4056,75
1	-	Dr. Faivre	901,23
2	-	Francisco Torres	Considerado o aumento de veículos.
3	Direita	Visconde de Guarapuava	4169,33
3	Esquerda	Visconde de Guarapuava	4290,35
3	Direita	Mariano Torres	1593,01
3	Esquerda	Mariano Torres	2799,73
4	Direita	Visconde de Guarapuava	4204,33
4	Esquerda	Visconde de Guarapuava	4001,99
4	-	Tibagi	3167,02
5	Direita	Visconde de Guarapuava	3846,35
5	Esquerda	Visconde de Guarapuava	4190,65
5	-	Conselheiro Laurindo	4085,33
6	Direita	Visconde de Guarapuava	4109,83
6	Esquerda	Visconde de Guarapuava	4218,16
6	-	João Negrão	4085,33
7	Direita	Visconde de Guarapuava	4373,87
7	Esquerda	Visconde de Guarapuava	4369,31
7	-	Travessia da Lapa	Destinada apenas a ônibus
8	Direita	Visconde de Guarapuava	4056,54
8	Esquerda	Visconde de Guarapuava	4228,74
8	-	Barão do Rio Branco	2517,02
9	Direita	Visconde de Guarapuava	4087,81
9	Esquerda	Visconde de Guarapuava	4301,53
9	-	Lourenço Pinto	3743,25
10	Direita	Visconde de Guarapuava	4227,78
10	Esquerda	Visconde de Guarapuava	4252,82
10	-	Marechal Floriano Peixoto	2751,91

FONTE: O autor (2023).

3.2.1.3 Cálculo da Duração da Fase do Sinal

Para tal cálculo, utilizou-se a Equação 18, com a aplicação dos dados de tempo dos semáforos coletados na pesquisa. Os dados semafóricos são apresentados na TABELA 3 e os resultados obtidos são apresentados na TABELA 4.

TABELA 3 – TEMPO SEMAFÓRICO

Via	Avenida/Rua	Verde(s)	Amarelo(s)	Vermelho (s)
Direita	Visconde de Guarapuava	42	4	44
Esquerda	Visconde de Guarapuava	42	4	44
-	Dr. Faivre	40	4	46
-	Francisco Torres	--	--	--
Direita	Visconde de Guarapuava	26	4	60
Esquerda	Visconde de Guarapuava	26	4	60
Direita	Mariano Torres	34	4	50
Esquerda	Mariano Torres	34	4	50
Direita	Visconde de Guarapuava	35	4	50
Esquerda	Visconde de Guarapuava	35	4	50
-	Tibagi	25	4	60
Direita	Visconde de Guarapuava	45	4	40
Esquerda	Visconde de Guarapuava	45	4	40
-	Conselheiro Laurindo	32	4	53
Direita	Visconde de Guarapuava	48	4	45
Esquerda	Visconde de Guarapuava	48	4	45
-	João Negrão	27	4	67
Direita	Visconde de Guarapuava	48	4	38
Esquerda	Visconde de Guarapuava	48	4	38
-	Travessia da Lapa	56	4	29
Direita	Visconde de Guarapuava	55	4	30
Esquerda	Visconde de Guarapuava	55	4	30
-	Barão do Rio Branco	21	4	63
Direita	Visconde de Guarapuava	54	4	30
Esquerda	Visconde de Guarapuava	54	4	30
-	Lourenço Pinto	21	4	64
Direita	Visconde de Guarapuava	35	4	50
Esquerda	Visconde de Guarapuava	35	4	50
-	Marechal Floriano Peixoto	25	4	59

FONTE: O autor (2023).

Como indicado pelo manual HCM (TRB, 2010), o valor adotado como referência para o tempo perdido na inicialização foi de 2 segundos para todos os ciclos. Contudo, a quarta coluna da TABELA 4 apresenta o valor médio do tempo perdido, em 25% de hora, na coleta em campo.

TABELA 4 – RESULTADO DO CÁLCULO DE DURAÇÃO DA FASE DO SINAL EM CADA APROXIMAÇÃO

Aproximação	Via	Avenida/Rua	l_l	l_l recomendado	g_s	g_e	γ	R_c	D_p
1	Direita	Visconde de Guarapuava	2,8	2	42	42	4	2	92
1	Esquerda	Visconde de Guarapuava	2,7	2	42	42	4	2	92
1	-	Dr. Faivre	1,9	2	19	40	4	2	67
2	-	Francisco Torres	--	--	--	--	--	--	--
3	Direita	Visconde de Guarapuava	2,1	2	26	26	4	0	58
3	Esquerda	Visconde de Guarapuava	2,3	2	26	26	4	0	58
3	Direita	Mariano Torres	2,2	2	26	34	4	0	66
3	Esquerda	Mariano Torres	2,3	2	27	34	4	0	67
4	Direita	Visconde de Guarapuava	3,1	2	35	35	4	2	78
4	Esquerda	Visconde de Guarapuava	2,9	2	35	35	4	2	78
4	-	Tibagi	2,5	2	15	25	4	2	48
5	Direita	Visconde de Guarapuava	2,9	2	14	45	4	2	67
5	Esquerda	Visconde de Guarapuava	2,4	2	14	45	4	2	67
5	-	Conselheiro Laurindo	3,2	2	18	32	4	2	58
6	Direita	Visconde de Guarapuava	2,5	2	31	48	4	2	87
6	Esquerda	Visconde de Guarapuava	2,6	2	30	48	4	2	86
6	-	João Negrão	2,3	2	19	27	4	2	54
7	Direita	Visconde de Guarapuava	2,6	2	17	48	4	1	72
7	Esquerda	Visconde de Guarapuava	2,4	2	17	48	4	1	72
7	-	Travessia da Lapa	1	2	8	56	4	4	74
8	Direita	Visconde de Guarapuava	2,9	2	14	55	4	2	77
8	Esquerda	Visconde de Guarapuava	2,8	2	11	55	4	2	74
8	-	Barão do Rio Branco	3,1	2	9	21	4	2	38
9	Direita	Visconde de Guarapuava	2,8	2	17	54	4	2	79
9	Esquerda	Visconde de Guarapuava	2,6	2	10	54	4	1	71
9	-	Lourenço Pinto	3,6	2	11	21	4	2	40
10	Direita	Visconde de Guarapuava	2,3	2	15	35	4	1	57
10	Esquerda	Visconde de Guarapuava	2,4	2	16	35	4	2	59
10	-	Marechal Floriano Peixoto	1,9	2	13	25	4	1	45

FONTE: O autor (2023).

3.2.1.4 Cálculo da Capacidade e do Volume pela Capacidade

Para o cálculo da capacidade, aplicou-se a Equação 19, uma vez que as conversões à esquerda não atrapalhariam o fluxo do trânsito nas vias compartilhadas e, para encontrar a relação volume por capacidade, adotou-se a Equação 20. Os resultados dessas operações estão descritos na TABELA 5.

TABELA 5 – RESULTADO DO CÁLCULO DE DURAÇÃO DA FASE DO SINAL EM CADA APROXIMAÇÃO

Aproximação	Via	Avenida/Rua	Fluxo de veículos de passeio (em VP/h)	Fluxo de Saturação Ajustado S (em VP/h)	Tempo de Verde Efetivo g (em s)	Duração do Ciclo C (em s)	Capacidade c (em VP/h)	Relação Volume por Capacidade X (VP/h)
1	Direita	Visconde de Guarapuava	1240	3915,86	43,2	90	5638,84	0,2199
	Esquerda	Visconde de Guarapuava	640	4056,75	43,3	90	5855,24	0,1093
	-	Dr. Faivre	1440	901,23	42,1	90	1264,73	1,1386
2	-	Francisco Torres	Considerado o aumento de veículos.	Considerado o aumento de veículos.				
3	Direita	Visconde de Guarapuava	960	4169,33	27,9	90	3877,48	0,2476
	Esquerda	Visconde de Guarapuava	480	4290,35	27,7	90	3961,42	0,1212
	Direita	Mariano Torres	1280	1593,01	35,8	88	1296,13	0,9876
	Esquerda	Mariano Torres	1360	2799,73	35,7	88	3407,40	0,3991
4	Direita	Visconde de Guarapuava	1200	4204,33	35,9	89	5087,71	0,2359
	Esquerda	Visconde de Guarapuava	1480	4001,99	36,1	89	4869,84	0,3040
	-	Tibagi	1320	3167,02	26,5	89	2828,97	0,4666
5	Direita	Visconde de Guarapuava	1720	3846,35	46,1	89	5976,97	0,2878
	Esquerda	Visconde de Guarapuava	1920	4190,65	46,6	89	6582,62	0,2917
	-	Conselheiro Laurindo	1400	4085,33	32,8	89	4516,81	0,3099

Aproximação	Via	Avenida/Rua	Fluxo de veículos de passeio (em VP/h)	Fluxo de Saturação Ajustado S (em VP/h)	Tempo de Verde Efetivo g (em s)	Duração do Ciclo C (em s)	Capacidade c (em VP/h)	Relação Volume por Capacidade X (VP/h)
6	Direita	Visconde de Guarapuava	2120	4109,83	49,5	97	6291,85	0,3369
	Esquerda	Visconde de Guarapuava	2400	4218,16	49,4	97	6444,65	0,3724
	-	João Negrão	1560	4085,33	28,7	98	4785,67	0,3260
7	Direita	Visconde de Guarapuava	2360	4373,87	49,4	90	7202,30	0,3277
	Esquerda	Visconde de Guarapuava	1880	4369,31	49,6	90	7223,92	0,2602
	-	Travessia da Lapa	--	Via exclusiva	59	89	--	--
8	Direita	Visconde de Guarapuava	1720	4056,54	56,1	89	7670,96	0,2242
	Esquerda	Visconde de Guarapuava	1640	4228,74	56,2	89	8010,85	0,2047
	-	Barão do Rio Branco	200	2517,02	21,9	88	1252,79	0,1596
9	Direita	Visconde de Guarapuava	2400	4087,81	55,2	88	7692,52	0,3120
	Esquerda	Visconde de Guarapuava	1680	4301,53	55,4	88	8124,03	0,2068
	-	Lourenço Pinto	120	3743,25	21,4	89	900,06	0,1333
10	Direita	Visconde de Guarapuava	1400	4227,78	36,7	89	5230,10	0,2677
	Esquerda	Visconde de Guarapuava	1680	4252,82	36,6	89	5246,743	0,3202
	-	Marechal Floriano Peixoto	920	2751,91	27,1	88	1694,93	0,5428

FONTE: O autor (2023).

3.2.1.5 Cálculo do Atraso e Classificação do LOS

Para a realização do cálculo do atraso em cada conjunto de faixas das aproximações em estudo, aplicou-se a Equação 26, juntamente com os dados observados em campo, obtendo os resultados apresentados na TABELA 6.

Na mesma tabela, classificou-se o LOS segundo o tempo de atraso obtido com a equação.

TABELA 6 – CÁLCULO DO ATRASO E CLASSIFICAÇÃO DO LOS

Aproximação	Via	Avenida/Rua	d1	d2	d3	d	LOS
1	Direita	Visconde de Guarapuava	13,6	6,2	2,8	22,6	C
	Esquerda	Visconde de Guarapuava	12,8	5,8	2,7	21,3	C
	-	Dr. Faivre	24,0	2,1	1,9	28,0	C
2	-	Francisco Torres	--	--	--	--	--
3	Direita	Visconde de Guarapuava	23,2	7,2	2,1	32,5	C
	Esquerda	Visconde de Guarapuava	22,4	6,9	2,3	31,6	C
	Direita	Mariano Torres	25,9	2,3	2,2	30,4	C
	Esquerda	Mariano Torres	18,5	2,1	2,3	22,9	C
4	Direita	Visconde de Guarapuava	17,5	4,8	3,1	25,4	C
	Esquerda	Visconde de Guarapuava	17,9	6,1	2,9	26,9	C
	-	Tibagi	25,5	2,3	2,5	30,3	C
5	Direita	Visconde de Guarapuava	12,2	5,1	2,9	20,2	C
	Esquerda	Visconde de Guarapuava	11,9	5,2	2,4	19,5	B
	-	Conselheiro Laurindo	20,0	1,2	3,2	24,4	C
6	Direita	Visconde de Guarapuava	14,0	4,1	2,5	20,6	C
	Esquerda	Visconde de Guarapuava	14,4	4,4	2,6	21,4	C
	-	João Negrão	27,1	2,6	2,3	32,0	C

Aproximação	Via	Avenida/Rua	d1	d2	d3	d	LOS
7	Direita	Visconde de Guarapuava	11,2	2,3	2,6	16,1	B
	Esquerda	Visconde de Guarapuava	10,6	1,9	2,4	14,9	B
	-	Travessia da Lapa	---	1	1	--	--
8	Direita	Visconde de Guarapuava	7,1	4,1	2,9	14,1	B
	Esquerda	Visconde de Guarapuava	6,9	3,2	2,8	12,9	B
	-	Barão do Rio Branco	25,9	2,3	3,1	31,3	C
9	Direita	Visconde de Guarapuava	7,6	3,8	2,8	14,2	B
	Esquerda	Visconde de Guarapuava	6,9	2,7	2,6	12,2	B
	-	Lourenço Pinto	26,5	2	3,6	32,1	C
10	Direita	Visconde de Guarapuava	17,3	5,2	2,3	24,8	C
	Esquerda	Visconde de Guarapuava	17,8	2,9	2,4	23,1	C
	-	Marechal Floriano Peixoto	25,3	1,8	1,9	29,0	C

FONTE: O autor (2023).

3.2.1.6 Interpretação dos Resultados Obtidos

A partir dos cálculos descritos anteriormente, pode-se realizar a interpretação dos resultados baseando-se na classificação *LOS (Level of Service)* e na relação volume/capacidade.

Entretanto, como descrito pelo manual HCM (TRB, 2010), o pesquisador deve ter cautela ao observar e interpretar os resultados obtidos, visto que *LOS* pode ser dito aceitável ou não, observando-se o local de estudo. Outro resultado fundamental de ser interpretado com cuidado e atenção é a relação volume/capacidade dado que, mesmo abaixo de 1 pode-se apresentar deslocamentos críticos dentro de um ciclo

Na via direita da Avenida Visconde de Guarapuava, constatou-se que, até o cruzamento C, o *LOS* foi classificado como “C” por apresentar um atraso entre 20s e 35s. Mesmo com a relação volume/capacidade abaixo de 1, identificou-se pontos críticos principalmente na faixa da direita, uma vez que as conversões à direita, o aumento do fluxo por conta do cruzamento 2, as paradas de ônibus bem como infrações dos motoristas geraram atrasos superiores nessa via. Contudo, a partir do

cruzamento 7, o fluxo da via manifesta-se de maneira aceitável até o cruzamento 9. Já no cruzamento 10, identificou-se um fluxo inaceitável por conta (novamente) das infrações dos motoristas e alto fluxo na Avenida Marechal Floriano Peixoto.

Na via esquerda da Avenida Visconde de Guarapuava, a classificação do LOS obteve resultados semelhantes à via direita. Todavia, o cruzamento 5 apresentou nível de serviço (LOS) “B”, com um tempo de atraso muito próximo ao classificado como “C”. Por não possuir paradas de ônibus, constatou-se que as faixas da esquerda e central detinham os fluxos mais intensos em virtude do aumento do fluxo nos cruzamentos com as ruas Dr. Faivre, Mariano Torres (via esquerda) e João Negrão. A partir do cruzamento 7, a via apresenta fluxo aceitável, voltando a mostrar lentidão no cruzamento 10. Contudo, observa-se que o tempo de atraso total presente no trecho em estudo apresentou-se próximo a 635 segundos (ou aproximadamente 10,5 min).

Vale ressaltar que, no período em estudo, o fluxo de pedestres e ciclistas (mesmo baixo) teve um impacto significativo no fluxo das duas vias por conta de semáforos para pedestres que são acionados manualmente. Esse impacto foi observado em maior escala no cruzamento com a Rua Mariano Torres visto que, ao ser acionado, o tempo de entreverdes é reduzido drasticamente. Isso gera uma segurança maior para o pedestre e ciclista, mas usado demasiadamente, impacta negativamente no fluxo da via.

Visto isso, baseando-se nos conceitos do manual HCM (TRB, 2010) apresentados anteriormente e com o auxílio do *software* Aimsun, desenvolveu-se testes com diferentes cenários no que tange ao dimensionamento semaforico do trecho em estudo. Esses testes e resultados serão apresentados a seguir.

3.3 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Para a análise de um novo dimensionamento semafórico, foram realizadas sete simulações utilizando o *software* Aimsun Next versão 22.0.1. A primeira, contudo, trata-se da validação do modelo implementado no *software*, no qual os resultados estão apresentados na TABELA 7 juntamente com os demais.

Contudo, observou-se que, ao alterar tempos de ciclo semafórico, a partir de quatro cruzamentos, pouco se altera em relação ao tempo de atraso, parâmetro esse empregue na classificação do *LOS* explicitado anteriormente.

3.3.1 Cenários

Para a geração do cenário, optou-se por alterar o tempo semafórico dos cruzamentos que apresentavam maior fluxo de veículos (visualmente), conforme orientações do manual HCM 2010. Além disso, adotou-se como um dos padrões de cenários as alterações em *yellow box* dos cruzamentos pois, na simulação do *software Aimsun*, tratar-se de um comportamento semelhante à instalação de radares semafóricos.

A seguir, serão apresentadas as descrições e parâmetros aplicados no modelo e os respectivos cenários.

3.3.1.1 Modelagem e Validação do Modelo

A modelagem foi realizada no *software* Aimsun Next versão 22.0.1, baseada no mapa importado pelo próprio software do *Open Street Map*. Após a importação fez-se necessário corrigir as vias e cruzamentos do trecho da pesquisa (quantidade de faixas, inclinação, sentido, cruzamentos semafóricos e não semafóricos). A fim de facilitar o uso do programa, optou-se por retirar do modelo as construções que apresentava.

Para a validação do modelo foram selecionados parâmetros básicos da via como dia da semana, clima, metodologia, estação e evento, todos utilizados conforme os dias de coletas de dados. Além disso, os dados coletados em campo se fizeram presentes na aba “principal”, onde foi inserido a porcentagem de movimento e o fluxo de movimento de cada aproximação. Para este trabalho, utilizou-se **dia da semana**

como quarta-feira, **clima** chuvoso, **metodologia** editada pelo usuário, **estação** primavera e **evento** como nenhum evento (parâmetros presentes no período da coleta de dados).

Para deferir a validação do modelo formulado no *software*, observou-se o tempo de atraso e o fluxo de entrada de veículos (QUADRO 5).

QUADRO 5 – RESULTADOS PARA VALIDAÇÃO DO MODELO

	Resultados em Campo	Resultados Aimsun	GAP(%)
Fluxo de Entrada de Veículos (veíc/h)	38520	38526	-0,016
Tempo de Atraso (s/km)	634,7	632,9	0,284

FONTE: O autor (2023).

Por apresentar um GAP negativo de 0,016% no fluxo de entrada de veículos e de 0,284% no tempo de atraso em relação aos resultados obtidos com os cálculos através do manual HCM (TRB, 2010), validou-se o modelo no *software*.

3.3.1.2 Cenário 1

No primeiro cenário após a validação do modelo realizou-se o redimensionamento semafórico na Rua Mariano Torres e Avenida Visconde de Guarapuava (cruzamento 3) e retirou-se todas as *yellows boxes* do trecho, uma vez que esse tipo de sinalização impede o motorista de parar entre os cruzamentos, sujeitando-o a multas. A alteração realizada no tempo semafórico não alterou o tempo de ciclo, apenas redistribuiu o tempo já existente (GRÁFICO 2).

GRÁFICO 2 – REDIMENSIONAMENTO DO TEMPO SEMAFÓRICO DO CRUZAMENTO 3 (EM SEGUNDOS)

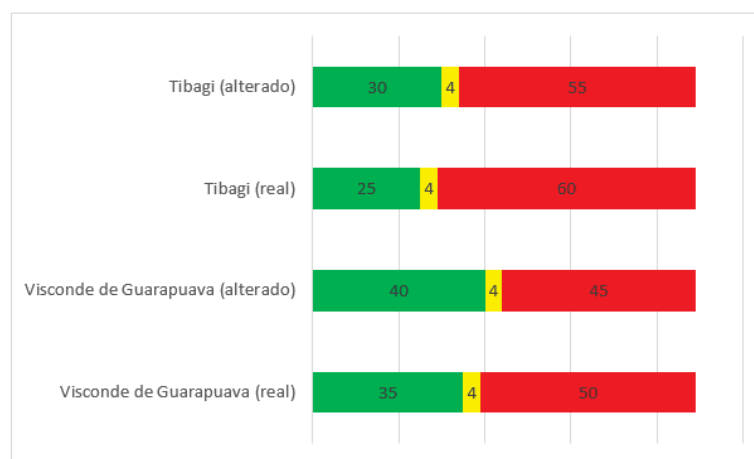


FONTE: O autor (2023).

3.3.1.3 Cenário 2

Para o cenário 2, utilizou-se o redimensionamento semafórico no cruzamento 3 e no cruzamento 4 (GRÁFICO 3), também retirando os *yellow boxes* do trecho todo da pesquisa.

GRÁFICO 3 – REDIMENSIONAMENTO DO TEMPO SEMAFÓRICO DO CRUZAMENTO 4 (EM SEGUNDOS)



FONTE: O autor (2023).

3.3.1.4 Cenário 3

No cenário três, optou-se por verificar o impacto de inserir *yellow box* em todos os cruzamentos do trecho em estudo a fim de observar se, com mudança de

comportamento dos motoristas, o tempo de atraso da viagem poderia ser reduzido, sem realizar alteração no tempo e ciclo semafórico.

Partindo do pressuposto da mudança de comportamento por parte dos motoristas ao se inserir o *yellow box*, os cenários quatro, cinco e seis fizeram uso desta sinalização em todos os cruzamentos.

3.3.1.5 Cenário 4

Já no cenário 4, fez-se o uso do *yellow box* em todos os cruzamentos e o mesmo redimensionamento no tempo semafórico do cenário 1, apenas do cruzamento três (Rua Mariano Torres), apresentado no GRÁFICO 2.

3.3.1.6 Cenário 5

No cenário 5, adotou-se a alteração no tempo semafórico apresentado no cenário 1 e 4 para o cruzamento três e, além disso, redimensionou-se o tempo semafórico do cruzamento 10 (Avenida Marechal Floriano Peixoto), conforme GRÁFICO 4.

GRÁFICO 4 – REDIMENSIONAMENTO DO TEMPO SEMAFÓRICO DO CRUZAMENTO 10 (EM SEGUNDOS)



FONTE: O autor (2023).

3.3.1.7 Cenário 6

Para o último cenário em estudo, realizou-se alteração no tempo semafórico do cruzamento 3 (GRÁFICO 2), cruzamento 4 (GRÁFICO 3) e cruzamento 10 (GRÁFICO 4), além da utilização do *yellow box* em todos os cruzamentos em estudo.

3.3.2 Resultados Obtidos

Após a microsimulação dos seis cenários descritos anteriormente, observou-se que o dimensionamento do tempo semafórico pode gerar grande impacto no tempo de atraso total do trecho em estudo. Os resultados obtidos estão descritos na TABELA 7.

TABELA 7 – RESULTADOS OBTIDOS ATRAVÉS DE MICROSIMULAÇÃO

	Fluxo de Entrada de Veículos (veíc/h)	Tempo de Atraso (s/km)
Resultados em Campo	38520	634,7
Resultados Validação do Modelo	38526	632,9
Cenário 1	41050	531,74
Cenário 2	40364	563,05
Cenário 3	33916	271,78
Cenário 4	50824	239,34
Cenário 5	52008	329,44
Cenário 6	52242	377,98

FONTE: O autor (2023).

Na simulação do cenário 1, mesmo com a retirada de *yellow box*, redimensionando o tempo semafórico para um verde efetivo maior, já se observou uma diminuição de 15,9% no tempo de atraso total. Contudo, nas mesmas condições, redimensionando os cruzamentos 3 e 4 (cenário 2), o tempo de atraso resultou em um valor apenas 11% menor que o resultado do modelo. A partir do cenário 3, optou-se pela inserção do *yellow box* em todos os cruzamentos em estudo, apresentando diminuições significativas no tempo de atraso.

Contudo, o cenário 3, o qual foi inserido apenas o *yellow box* em todos os cruzamentos, sem alterar o tempo semafórico, obteve-se um resultado de tempo de atraso 57,1% menor, mas com fluxo de entrada de veículos 12% menor do que o modelo.

Já o resultado obtido no cenário, com uso do *yellow box* e redimensionamento da Rua Mariano Torres, resultou no menor tempo de atraso entre os cenários aplicados na pesquisa.

Todavia, os cenários 5 e 6 mostraram-se mais promissores para possível implementação uma vez que, no cenário 5, o tempo de atraso reduziu 47,9% e o fluxo de entrada de veículos aumentou 35% e, no cenário 6, atingiu-se um aumento de 35,6% no fluxo de entrada de veículos e uma redução de 40,3% no tempo de atraso total.

4 CONCLUSÕES

O congestionamento nas grades capitais continua sendo um problema para o poder público mesmo com planejamentos constantes na área, demandando investimento e pesquisas. Mesmo com os Planos Diretores, a cidade de Curitiba padece de melhorias, pesquisa e, principalmente, dados atualizados relativo ao transporte urbano.

Verificou-se, diante da presente dissertação, a importância de se explorar problematizações diferentes das usuais presentes nas bibliografias de Programação Linear, trazendo o Problema do Fluxo Máximo como forma de modelagem para problemas envolvendo o fluxo de trânsito e não apenas em problemas de fluxo de mercadorias e líquidos, por exemplo.

A coleta de dados referente ao fluxo do trânsito através de vídeos mostrou-se eficiente devido ao número elevado de veículos que trafegam na região e assim, através das filmagens posteriormente, retirou-se todos os parâmetros necessários para a pesquisa de forma fidedigna. No entanto, para as medições referentes aos dados geométricos da via, identificou-se maior complexidade devido ao intenso fluxo de veículos.

Durante a coleta de dados, analisou-se duas formas de comportamento por parte dos motoristas: ao não observar a câmera utilizada nas gravações, motoristas infringiram várias vezes as sinalizações de trânsito, dados esses descartados para os cálculos da pesquisa, bloqueando cruzamentos e seguindo o fluxo do trânsito mesmo com a sinalização vermelha do semáforo. Já ao verificar a presença da câmera, os condutores reduziram as infrações (no tempo observado) em 78%.

Partindo deste pressuposto, a intenção de se utilizar na simulação o *yellow box* nos cenários da simulação, para que motoristas não descumpram as leis de trânsito estabelecidas no Código de Trânsito Brasileiro quanto à cruzamentos semaforicos, seria a implementação de radares semaforicos, uma vez que as infrações no cruzamento da Rua Mariano Torres (a qual possui este modelo de radar) não foram registradas nos dois perfis comportamentais descritos anteriormente.

Outro fator observado durante a coleta de dados que gera certo impacto no tempo semaforico é o comportamento de pedestre e ambulantes na região que, na maior parte do tempo investigado, acionaram o botão de fechamento para o fluxo dos

veículos de maneira exacerbada (sem a real necessidade de travessia), reduzindo o tempo de entretornos de alguns cruzamentos apresentados na pesquisa.

Após o cálculo do atraso em cada conjunto de faixas das aproximações, a classificação de *LOS* “C” encontrada no cruzamento 3 (Avenida Visconde de Guarapuava com a Rua Mariano Torres) surpreendeu de forma positiva dado que, segundo o fluxo observado na coleta de dados, ao que tudo indicava, este cruzamento apresentaria *LOS* entre “D” e “E”.

Ao se utilizar o *software* Aimsun, observou-se facilidade ao realizar a modelagem no sistema, haja visto que estão disponíveis tutoriais em vídeos e escritos (em inglês) no próprio site do *software*, além de exercícios para auxiliar na aprendizagem da modelagem. A categoria de licença disponibilizada para estudantes perdura por um ano, sendo necessário solicitar renovação mensalmente. Ademais, esta licença possui limitações básicas como não processar vias com mais de 200 km (total de faixas) e/ou 100 nós bem como não salvar modelos desenvolvidos.

Há também a licença para estudante de programa de pós-graduação *stricto sensu* que pode ser solicitada diretamente ao suporte do *software* preenchendo informações no site do *software*. Contudo, foi solicitado uma licença de estudante de pós-graduação *stricto sensu* para a presente pesquisa a sete meses, entretanto, sem retorno por parte do suporte técnico do *software* até o momento.

Com os resultados obtidos através da microssimulação do *software* Aimsun, contemplou-se que, para o trecho e período em estudo da Avenida Visconde de Guarapuava, a implementação de radares semafóricos (representado por *yellow box* na simulação) e o redimensionamento no tempo semafórico na Av. Marechal Floriano Peixoto e na Rua Mariano Torres poderá resultar em um ganho para os motoristas que trafegam pela região.

4.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O problema do tráfego e congestionamento na cidade de Curitiba necessita ser estudado frequentemente. Tanto pelas alterações implementadas na geometria das vias (comprimento de faixas e sentido de ruas, por exemplo) quanto pelas mudanças de comportamento entre os condutores. Contudo, com o avanço da tecnologia na questão de identificação e contagem do fluxo por câmeras de trânsito (a qual a cidade de Curitiba já possui em alguns pontos), os dados necessitam estar ao alcance dos

pesquisadores para que se possa desenvolver novos projetos para auxiliar o fluxo na cidade e gerar melhorias na vida da população.

Dentre esses projetos, pode-se citar:

- Desenvolver a simulação de tráfego implementando o cenário 5 (mais promissor desta pesquisa) juntamente com trecho maior da Rua Mariano Torres, para que se estude o impacto que esta mudança do tempo semafórico pode causar em maior escala;
- Verificar, com a microsimulação, outros trechos de congestionamentos na cidade de Curitiba.
- Analisar a viabilidade econômica da implantação de novos radares semafóricos no trecho descrito na pesquisa e o efeito na conduta de motoristas, ciclistas e pedestres;
- Pesquisar o impacto econômico na vida de pessoas que dependem do tempo semafórico para vender seus produtos nos semáforos da Avenida Visconde de Guarapuava.

REFERÊNCIAS

AIMSUN, **About Aimsun**. Disponível em: <<https://www.aimsun.com/about-aimsun/>>. Acesso em: 05 set. 2022.

AI AND DIGITAL SOLUTIONS. *Yunex Traffic*, 2022. Disponível em: <<https://www.yunextraffic.com/portfolio/ai-and-digital-solutions/>>. Acesso em: 22 nov. 2022.

ARAÚJO, D. R. C. **Comparação das Simulações de Tráfego dos ModeLOS SATURN e DRACULA**. 2003. 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

BELFIORE, P.; FÁVERO, L. P. **Pesquisa Operacional - Para Cursos de Engenharia**. São Paulo - SP: Grupo GEN, 2012. E-book. ISBN 9788595155626. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595155626/>>. Acesso em: 23 nov. 2022.

BENEDET, R., *et al.* **O Desafio da Mobilidade Urbana**. Câmara dos Deputados, Centro de Estudos e Debates Estratégicos, Consultoria Legislativa. Brasília: Câmara dos Deputados, 2015.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidência da República, 1988. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocompilado.htm>. Acesso em: 6 dez. 2022.

BRASIL. Ministério das Cidades. **PlanMob**. Secretaria Nacional de Transportes e da Mobilidade Urbana – SeMob. 2015. Disponível em: <<http://planodiretor.mprs.mp.br/arquivos/planmob.pdf>>. Acesso em: 12 out. 2022.

CARVALHO, C. H. R. MOBILIDADE URBANA: AVANÇOS, DESAFIOS E PERSPECTIVAS. In: COSTA, M. A. GOVERNO FEDERAL. INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **O Estatuto da Cidade e a Habitat III: Um Balanço de Quinze Anos Da Política Urbana no Brasil e a Nova Agenda Urbana**. Brasília: IPEA, 2016.

CNDL. Confederação Nacional de Dirigentes Lojistas. Mobilidade Urbana 2022. 2022. Disponível em: <<https://materiais.cndl.org.br/pesquisa-mobilidade-urbana-no-brasil-2022-bloco-1#rd-form-joq3m2m5>>. Acesso em: 27 dez. 2022.

COSTA, G. D. F. **Pesquisa Operacional Aplicada e Simulação**. Londrina: Editora Saraiva, 2021. E-book. ISBN 9786559031214. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786559031214/>>. Acesso em: 11 nov. 2022.

CURITIBA. AVENIDA VISCONDE DE GUARAPUAVA E WESCELAU BRAZ TERÃO MOTOCAIXAS. **Servidor Curitiba**, 2020. Disponível em: <<https://servidor.curitiba.pr.gov.br/noticias/avenidas-visconde-de-guarapuava-e-wescelau-braz-terao-motocaixas/56745>>. Acesso em: 20 de nov. 2022.

CURITIBA. Decreto nº 510, 30 de junho de 1978. **Permite Os Usos Comerciais E De Prestação De Serviço Em Imóveis Com Testada Para A Av. Visconde De Guarapuava**. Diário Oficial do Município, 1978. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/a1/pr/c/curitiba/decreto/1978/51/510/decreto-n-510-1978-permite-os-usos-comerciais-e-de-prestacao-de-servicos-em-imoveis-com-testada-para-a-av-visconde-de-guarapuava>>. Acesso em: 19 de nov. 2022.

CURITIBA. HISTÓRIA. **Plano Diretor**, 2023. Disponível em: <<https://www.curitiba.pr.gov.br/conteudo/historia/1615>>. Acesso em: 20 de abr. 2023.

CURITIBA. PROJETO DE SEMÁFAROS INTELIGENTES DE CURITIBA GANHA PRÊMIO INTERNACIONAL. **Notícias Curitiba**, 2015. Disponível em: <<https://www.curitiba.pr.gov.br/noticias/projeto-de-semaforos-inteligentes-de-curitiba-ganha-premio-internacional/38227>>. Acesso em: 20 de nov. 2022.

CURITIBA. ZONEAMENTO. **Plano Diretor**, 2023. Disponível em: <<https://www.curitiba.pr.gov.br/conteudo/historico/2763>>. Acesso em: 27 de mai. 2023.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO (DENATRAN). **Manual de Sinalização de Trânsito Volume V – Sinalização Semafórica**. Brasília: Conselho Nacional de Trânsito (Contran), 2014. Disponível em: <https://bdm.ufpa.br:8443/jspui/bitstream/prefix/401/1/TCC_DimensionamentoSemaforoCruzamento.pdf>. Acesso em: 08 dez. 2022.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO (DENATRAN). **Manual Brasileiro de Sinalização Volume IV – Sinalização Horizontal**. 1. ed. Brasília: Conselho Nacional de Trânsito (Contran), 2007. Disponível em: <<https://central3.to.gov.br/arquivo/297183/>>. Acesso em: 13 maio 2023.

GEHL, J. **Cidades para Pessoas**. 2ª ed. São Paulo: Perspectiva, 2013.

GOLDBARG, M.; GOLDBARG, M. **Grafos: Conceitos, Algoritmos e Aplicações**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012. E-book. ISBN 9788595155756. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595155756/>>. Acesso em: 01 dez. 2022.

Google Maps. Início da Avenida Visconde de Guarapuava. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/@-25.4313166,-49.2548048,241m/data=!3m1!1e3>>. Acesso em: 15 dez. 2022.

Google Maps. Final da Avenida Visconde de Guarapuava. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/@-25.4467625,-49.2932643,159m/data=!3m1!1e3>>. Acesso em: 15 dez. 2022.

Google Maps. Trecho Selecionado para Estudo da Pesquisa. Disponível em: < <https://www.google.com.br/maps/@-25.4352088,-49.2641591,617m/data=!3m1!1e3> >. Acesso em: 15 dez. 2022.

Google Maps. Aproximações do Cruzamento 1. Disponível em: < <https://www.google.com.br/maps/@-25.433225,-49.2591753,166m/data=!3m1!1e3> >. Acesso em: 15 dez. 2022.

Google Maps. Aproximações do Cruzamento 2. Disponível em: < <https://www.google.com.br/maps/@-25.4334756,-49.260185,114m/data=!3m1!1e3> >. Acesso em: 15 dez. 2022.

Google Maps. Aproximações dos Cruzamentos 3 e 4. Disponível em: < <https://www.google.com.br/maps/@-25.4339474,-49.2613919,95m/data=!3m1!1e3> >. Acesso em: 15 dez. 2022.

Google Maps. Aproximações dos Cruzamentos 5, 6 e 7. Disponível em: < <https://www.google.com.br/maps/@-25.4351024,-49.264448,201m/data=!3m1!1e3> >. Acesso em: 15 dez. 2022.

Google Maps. Aproximações dos Cruzamentos 8 e 9. Disponível em: < <https://www.google.com.br/maps/@-25.4362168,-49.2670772,137m/data=!3m1!1e3> >. Acesso em: 15 dez. 2022.

Google Maps. Aproximações dos Cruzamentos 10. Disponível em: < <https://www.google.com.br/maps/@-25.4368675,-49.2687947,92m/data=!3m1!1e3> >. Acesso em: 15 dez. 2022.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Introdução à Pesquisa Operacional**. Porto Alegre- RS: Grupo A, 2013. E-book. ISBN 9788580551198. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788580551198/>>. Acesso em: 12 nov. 2022.

IPPUC. LINHA DO TEMPO PLANEJAMENTO URBANO, 2023. Disponível em: < <https://ippuc.org.br/linha-do-tempo-planejamento-urbano> >. Acesso em: 17 de jun. 2023.

LICZBINSKI, C. R. **Modelo De Informações Para O Gerenciamento Das Atividades Das Pequenas Indústrias De Produtos Alimentares Do Rio Grande Do Sul**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

MOREIRA, D. A. **Pesquisa Operacional: Curso Introdutório**. 2ª ed. São Paulo: Cengage Learning Brasil, 2018. E-book. ISBN 9788522128068. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788522128068/>>. Acesso em: 06 nov. 2022.

NOBRE, A. P. O. **Mobilidade Urbana: Políticas e Técnicas**. São Paulo: Annablume, 1995.

OLIVEIRA, M. **A Trajetória do Discurso Ambiental em Curitiba (1960 – 200)**. Revista de Sociologia e Política, Curitiba, 16, p. 97-106, jun. 2001. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rsocp/a/YNktDMZ9PfVMjyYq6myszb/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 06 de dez. 2022.

PARAVISI, M. ; MUSSE S. R. ; BICHO A. de L. . **Modelagem e Simulação do Tráfego de Veículos e Controle Semafórico em um Ambiente Virtual**. In: VETOR, 2006, Rio Grande. VETOR, 2006.

PEREIRA, A. S., *et al.* **Metodologia da Pesquisa Científica**. 1ª ed. Santa Maria: UFSM, NTE, 2018.

SANTOS. C. Z. **Estudo De Tráfego Da Br-101 No Trecho Sul Do Estado Do Rio De Janeiro Por Meio Do Método Do Highway Capacity Manual 2010**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina., Florianópolis.

SILVA, F. N. Mobilidade urbana: os desafios do futuro. **Dossiê: Mobilidade Urbana Nas Metrópoles Contemporâneas**. Cad. Metrop. Vol. 15, n.30, p. 377-388, dez 2013. SILVA, E. M., *et al.* **Pesquisa Operacional** - Para os Cursos de Administração e Engenharia, 5ª edição. São Paulo: Atlas, 2017. E-book. ISBN 9788597013559. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788597013559/>>. Acesso em: 18 nov. 2022.

SILVEIRA, C. A., *et al.* Qualidade de Vida na Visão dos Condutores de Veículos: um Estudo do Trânsito de Santa Maria – Rs. In: **Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia** – IX SEGeT, 2012. Disponível em: <<https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos12/681651.pdf>>. Acesso em: 29 nov. 2022

SOUSA, V. C. *et al.* **Modelos Para Obtenção Da Capacidade E Do Nível De Serviço Em Rotatórias Urbanas**. 33º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte da ANTEP. 2019, Balneário Camboriú, p. 3893 – 3904. Disponível em: <https://www.anpet.org.br/anais/documentos/2019/Tráfego%20Urbano%20e%20Rodoviário/Tráfego%20Urbano%20II/3_702_AC.pdf>. Acesso em: 26 nov. 2022.

TRB - TRANSPORTATION RESEARCH BOARD . **Highway Capacity Manual**. Washington, D.C., 2010.

YUNEX TRAFFIC. Mundys, 2022. Disponível em: <<https://www.mundys.com/en/yunex-traffic>>. Acesso em: 04 dez. 2022.

APÊNDICE 1 – CÁLCULOS TAXA DE FLUXO DE SATURAÇÃO AJUSTADA – CRUZAMENTO 1

Pista Direita

Aproximação 1 - Av Visconde - Faixa direita

Fator de Ajuste a ser calculado	Variáveis	Valores para Aproximação	Resultado do Fator Calculado
$f_w =$	W	2,6	0,888888889
$f_{HV} =$	PHV	1,03	0,989805008
	ET	2	
$f_g =$	Pg(%)	14,61	0,92695
$f_p =$	N	0	1
	Nm	0	
$f_{bb} =$	N	3	0,961333333
	Nb	4	
$f_a =$		0,9 ou 1	0,9
$f_{LU} =$	Vg		1
	Vg1		
	N		
$f_{LT} =$	PLT	0	1
$f_{RT} =$	PRT	1,38	0,793
$f_{Lpb} =$	-	-	1
$f_{Rpb} =$	-	-	1
S0			1900

S =	1063,155358
-----	-------------

Aproximação 1 - Av Visconde - Faixa central

Fator de Ajuste a ser calculado	Variáveis	Valores para Aproximação	Resultado do Fator Calculado
$f_w =$	W	2,6	0,888888889
$f_{HV} =$	PHV	1,03	0,989805008
	ET	2	
$f_g =$	Pg(%)	12,3	0,9385
$f_p =$	N	0	1
	Nm	0	
$f_{bb} =$	N	0	1
	Nb	0	
$f_a =$		0,9 ou 1	0,9
$f_{LU} =$	Vg		1
	Vg1		
	N		
$f_{LT} =$	PLT	0	1
$f_{RT} =$	PRT	0	1
$f_{Lpb} =$	-	-	1
$f_{Rpb} =$	-	-	1
S0			1900

S =	1411,976641
-----	-------------

Aproximação 1 - Av Visconde - Faixa esquerda

Fator de Ajuste a ser calculado	Variáveis	Valores para Aproximação	Resultado do Fator Calculado
$f_w =$	W	2,6	0,888888889
$f_{HV} =$	PHV	1,03	0,989805008
	ET	2	
$f_g =$	Pg(%)	8,46	0,9577
$f_p =$	N	0	1
	Nm	0	
$f_{bb} =$	N	0	1
	Nb	0	
$f_a =$		0,9 ou 1	0,9
$f_{LU} =$	Vg		1
	Vg1		
	N		
$f_{LT} =$	PLT	0	1
$f_{RT} =$	PRT	0	1
$f_{Lpb} =$	-	-	1
$f_{Rpb} =$	-	-	1
S0			1900

S =	1440,86311
-----	------------

Aproximação 2 - Dr. Faivre - Faixa esquerda (somente virar para esquerda)

Fator de Ajuste a ser calculado	Variáveis	Valores para Aproximação	Resultado do Fator Calculado
$f_w =$	W	2,75	0,905555556
$f_{HV} =$	PHV	25,88	0,794407372
	ET	2	
$f_g =$	Pg(%)	8,57	0,95715
$f_p =$	N	2	0,5
	Nm	180	
$f_{bb} =$	N	0	1
	Nb	0	
$f_a =$		0,9 ou 1	0,9
$f_{LU} =$	Vg		1
	Vg1		
	N		
$f_{LT} =$	PLT	0,6154	0,97014853
$f_{RT} =$	PRT	0	1
$f_{Lpb} =$	-	-	1
$f_{Rpb} =$	-	-	1
S0			1900

S =	571,140179
-----	------------

Pista Direita

Aproximação 1 - Av Visconde - Faixa direita

Fator de Ajuste a ser calculado	Variáveis	Valores para Aproximação	Resultado do Fator Calculado
$f_w =$	W	2,6	0,888888889
$f_{HV} =$	PHV	1,03	0,989805008
	ET	2	
$f_g =$	Pg(%)	14,61	0,92695
$f_p =$	N	0	1
	Nm	0	
$f_{bb} =$	N	3	0,961333333
	Nb	4	
$f_a =$		0,9 ou 1	0,9
$f_{LU} =$	Vg		1
	Vg1		
	N		
$f_{LT} =$	PLT	0	1
$f_{RT} =$	PRT	1,38	0,793
$f_{Lpb} =$	-	-	1
$f_{Rpb} =$	-	-	1
S0			1900

S =	1063,155358
-----	-------------

Aproximação 2 - Dr. Faivre - Faixa direita (reto ou virar para esquerda na faixa direita da visconde)

Fator de Ajuste a ser calculado	Variáveis	Valores para Aproximação	Resultado do Fator Calculado
$f_w =$	W	2,75	0,905555556
$f_{HV} =$	PHV	25,88	0,794407372
	ET	2	
$f_g =$	Pg(%)	8,33	0,95835
$f_p =$	N	1	0,28
	Nm	124	
$f_{bb} =$	N	0	1
	Nb	0	
$f_a =$		0,9 ou 1	0,9
$f_{LU} =$	Vg		1
	Vg1		
	N		
$f_{LT} =$	PLT	0	1
$f_{RT} =$	PRT	0	1
$f_{Lpb} =$	-	-	1
$f_{Rpb} =$	-	-	1
S0			1900

S =	330,0932579
-----	-------------

Pista Esquerda

Aproximação 3 - Av Visconde - pista direita (somente reto)

Fator de Ajuste a ser calculado	Variáveis	Valores para Aproximação	Resultado do Fator Calculado
$f_w =$	W	2,6	0,888888889
$f_{HV} =$	PHV	6	0,943396226
	ET	2	
$f_g =$	Pg(%)	8,33	0,95835
$f_p =$	N	0	1
	Nm	0	
$f_{bb} =$	N	0	1
	Nb	0	
$f_a =$		0,9 ou 1	0,9
$f_{LU} =$	Vg		1
	Vg1		
	N		
$f_{LT} =$	PLT	0	1
$f_{RT} =$	PRT	0	1
$f_{Lpb} =$	-	-	1
$f_{Rpb} =$	-	-	1
S0			1900

S =	1374,237736
-----	-------------

Aproximação 3 - Av Visconde - pista central (somente reto)

Fator de Ajuste a ser calculado	Variáveis	Valores para Aproximação	Resultado do Fator Calculado
$f_w =$	W	2,6	0,888888889
$f_{HV} =$	PHV	6	0,943396226
	ET	2	
$f_g =$	Pg(%)	11,9	0,9405
$f_p =$	N	0	1
	Nm	0	
$f_{bb} =$	N	0	1
	Nb	0	
$f_a =$		0,9 ou 1	0,9
$f_{LU} =$	Vg		1
	Vg1		
	N		
$f_{LT} =$	PLT	0	1
$f_{RT} =$	PRT	0	1
$f_{Lpb} =$	-	-	1
$f_{Rpb} =$	-	-	1
S0			1900

S =	1348,641509
-----	-------------

Aproximação 3 - Av Visconde - pista esquerda (somente reto)

Fator de Ajuste a ser calculado	Variáveis	Valores para Aproximação	Resultado do Fator Calculado
$f_w =$	W	2,6	0,888888889
$f_{HV} =$	PHV	6	0,943396226
	ET	2	
$f_g =$	Pg(%)	13,96	0,9302
$f_p =$	N	0	1
	Nm	0	
$f_{bb} =$	N	0	1
	Nb	0	
$f_a =$		0,9 ou 1	0,9
$f_{LU} =$	Vg		1
	Vg1		
	N		
$f_{LT} =$	PLT	0	1
$f_{RT} =$	PRT	0	1
$f_{Lpb} =$	-	-	1
$f_{Rpb} =$	-	-	1
S0			1900

S =	1333,871698
-----	-------------

Aproximação 3 - Av Visconde - pista central (somente reto)

Fator de Ajuste a ser calculado	Variáveis	Valores para Aproximação	Resultado do Fator Calculado
$f_w =$	W	2,6	0,888888889
$f_{HV} =$	PHV	6	0,943396226
	ET	2	
$f_g =$	Pg(%)	11,9	0,9405
$f_p =$	N	0	1
	Nm	0	
$f_{bb} =$	N	0	1
	Nb	0	
$f_a =$		0,9 ou 1	0,9
$f_{LU} =$	Vg		1
	Vg1		
	N		
$f_{LT} =$	PLT	0	1
$f_{RT} =$	PRT	0	1
$f_{Lpb} =$	-	-	1
$f_{Rpb} =$	-	-	1
S0			1900

S =	1348,641509
-----	-------------

APÊNDICE 2 – TELA DO SOFTWARE AIMSUN NEXT 22.0.1 REALIZANDO A SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 6

