



Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas - Departamento de Engenharia Civil
Curso de Graduação em Engenharia Civil



Lídia Teixeira Cypriano

ANÁLISE DE INTERSEÇÕES RODOVIÁRIAS A PARTIR DE MICROSSIMULAÇÃO DE TRÁFEGO

Ouro Preto
2024

Lídia Teixeira Cypriano

Análise de interseções rodoviárias a partir de microsimulação de tráfego

Projeto Final de Curso apresentado como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Engenheiro Civil na Universidade Federal de Ouro Preto.

Área de concentração: Engenharia de Transportes

Orientadora: Prof^a. M.Sc. Daniela Antunes Lessa – UFOP

Co-orientadora: Prof^a. M.Sc. Marcela Paula Grobério – UFOP

Ouro Preto

2024

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

C994a Cypriano, Lidia Teixeira.

Análise de interseções rodoviárias a partir de microssimulação de tráfego. [manuscrito] / Lidia Teixeira Cypriano. - 2024.
53 f.: il.: color., gráf., tab., mapa.

Orientadora: Profa. Ma. Daniela Antunes Lessa.

Coorientadora: Profa. Ma. Marcela Paula Grobério.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto.
Escola de Minas. Graduação em Engenharia Civil .

1. Gerenciamento de níveis de serviço. 2. Rodovias - Interferências e interseções. 3. Simulação (Computadores) - Microssimulação. 4. Engenharia de tráfego. I. Lessa, Daniela Antunes. II. Grobério, Marcela Paula. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU 624

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716



FOLHA DE APROVAÇÃO

Lídia Teixeira Cypriano

Análise de interseções rodoviárias a partir de microssimulação de tráfego

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Civil

Aprovada em 16 de fevereiro de 2024

Membros da banca

Prof^ª. Dr^ª. Daniela Antunes Lessa - Orientadora (Universidade Federal de Ouro Preto)
Prof^ª. M^ª. Marcela Paula Grobério - Coorientadora - (Universidade Federal de Ouro Preto)
Eng^ª. Ana Luiza Estanislau - (Strata Engenharia)
Prof. Dr. Felipe de Campos Loch - (Universidade Federal de Ouro Preto)

Daniela Antunes Lessa, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 21/02/2024



Documento assinado eletronicamente por **Daniela Antunes Lessa, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 21/02/2024, às 12:19, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0669019** e o código CRC **13025A21**.

*Dedico este trabalho à minha família,
em especial ao meu avô Antônio Teixeira Cypriano,
por ser minha inspiração profissional.
À minha mãe Andréa, ao meu pai Luciano,
à minha irmã Lília e à minha sobrinha Luísa
por todo amor, carinho, apoio, incentivos e sacrifícios.
Amo vocês profundamente.*

Agradecimentos

Gostaria de expressar minha gratidão de forma especial à minha orientadora, Daniela Antunes Lessa, e à minha coorientadora, Marcela Paula Grobério, por aceitarem me orientar neste trabalho. Agradeço-lhes pela paciência, motivação, apoio, oportunidades, ensinamentos e pela persistência, elementos essenciais para o desenvolvimento deste estudo.

Um agradecimento sincero vai para o meu núcleo familiar, que foi meu porto seguro ao longo desses anos, tornando possível minha jornada acadêmica. À minha mãe Andréa dos Reis Teixeira, meu pai, Luciano Paula Cypriano, e minha irmã, Lília Teixeira Cypriano, expresso minha gratidão pelo apoio constante e pela paciência.

À minha sobrinha, Luísa Cypriano Borges, que colore este mundo com seu sorriso cativante e sua alegria contagiante, agradeço por ser uma fonte de motivação para buscar sempre o melhor de mim.

Ao corpo docente da Escola de Minas, em especial do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Ouro Preto, sou grata pela formação acadêmica de qualidade que recebi. Aos meus amigos de faculdade, que estiveram ao meu lado durante toda essa trajetória e contribuíram significativamente para o meu crescimento acadêmico e pessoal, meu sincero obrigada.

Lídia Teixeira Cypriano. Análise de Interseções Rodoviárias a Partir de Microssimulação de Tráfego. 2024. 53. Projeto Final de Curso (Engenharia Civil) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Minas Gerais, 2024.

RESUMO

Os estudos de interseções rodoviárias desempenham um papel crucial na segurança viária e no planejamento urbano. O layout e o funcionamento dessas interseções têm um impacto significativo no crescimento sustentável das cidades, na melhoria do Nível de Serviço e na tomada de decisões por parte dos planejadores de tráfego e das autoridades responsáveis pela infraestrutura viária. O presente trabalho aborda análises de Estudo de Tráfego aplicadas a uma interseção em nível e outra em desnível, utilizando microssimulação computacional por meio do *software TransModeler*. O objetivo das simulações é investigar as condições de tráfego dessas interseções e realizar análises de Nível de Serviço para identificar a necessidade de ampliação da capacidade ou melhorias na geometria das vias. Quatro cenários foram simulados para cada interseção, abrangendo a condição atual e projeções de 10, 20 e 30 anos, com base em dados de volume de tráfego obtidos por contagens volumétricas e projeções do crescimento vegetativo do tráfego. Os resultados destacam níveis de serviço mais desafiadores para a interseção em nível, em que o cenário de 30 anos futuros revela Nível de Serviço D, o que representa uma situação em que o tráfego começa a ficar instável. Em contraste, a interseção em níveis diferentes, no cenário de 30 anos, apresenta um Nível de Serviço C, indicando a presença significativa de veículos na corrente principal, mas com formação de retenções de duração. Essas análises reforçam a validação do uso de simuladores de tráfego como ferramentas facilitadoras em estudos de tráfego, permitindo a criação de cenários para análises detalhadas das condições de tráfego em diversas situações multimodais. Além disso, esses resultados permitem concluir que as interseções em níveis diferentes demonstram uma capacidade viária superior em comparação com as interseções em nível.

Palavras-chaves: Nível de Serviço, interseção, microssimulação, estudo de tráfego.

Lídia Teixeira Cypriano. **Analysis of road intersections through traffic microsimulation**. 2024. 53. Undergraduate Final Project (Civil Engineering) – School of Mines, Federal University of Ouro Preto, Ouro Preto, Minas Gerais, Brazil, 2024.

ABSTRACT

Road intersection studies play a crucial role in road safety and urban planning. The layout and operation of these intersections have a significant impact on the sustainable growth of cities, improvement of the Level of Service, and decision-making by traffic planners and authorities responsible for road infrastructure. This study addresses Traffic Study analyses applied to both at-grade and grade-separated intersections, using computational microsimulation through the TransModeler software. The simulations aim to investigate the traffic conditions of these intersections and conduct Level of Service analyses to identify the need for capacity expansion or improvements in road geometry. Four scenarios were simulated for each intersection, covering the current condition and projections for 10, 20, and 30 years, based on traffic volume data obtained from volumetric counts and projections of traffic growth. The results highlight more challenging levels of service for the at-grade intersection, where the scenario for 30 years in the future reveals Level of Service D, representing a situation where the traffic begins to become unstable. In contrast, the grade-separated intersection, in the 30-year scenario, exhibits a Level of Service C, indicating a significant presence of vehicles in the main flow but with retention formation of duration. These analyses reinforce the validation of using traffic simulators as facilitating tools in traffic studies, enabling the creation of scenarios for detailed analyses of traffic conditions in various multimodal situations. Furthermore, these results allow us to conclude that grade-separated intersections demonstrate superior road capacity compared to at-grade intersections.

Keywords: Level of Service, intersection, microsimulation, traffic study.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Malha Rodoviária Brasileira (CNT, 2023)	5
Figura 2 - Distribuição percentual da extensão de rodovias federais pavimentadas por região	5
Figura 3 – Níveis de Serviço em rodovias.	10
Figura 4 - Interseção do Tipo Gota	17
Figura 5 - Interseção do Tipo Canalizada	17
Figura 6 – Interseção do Tipo Rótula (Rotatória)	17
Figura 7 - Interseção do Tipo Rótula Vazada	17
Figura 8 - Interseção do Tipo Trombeta.....	19
Figura 9 - Interseção do Tipo Diamante.....	19
Figura 10 - Interseção do Tipo Trevo Completo.....	19
Figura 11 - Interseção do Tipo Trevo Parcial.....	19
Figura 12 - Fluxograma do Processo para Iniciar uma Simulação no <i>Transmodeler</i>	24
.....	24
Figura 13 - Dispositivo 1	25
Figura 14 - Dispositivo 2	26
Figura 15 - Interface inicial do <i>software TransModeler</i>	28
Figura 16 - Segmento Crítico do Dispositivo 1.....	30
Figura 17 - Segmento Crítico do Dispositivo 2.....	31
Figura 18 - Relação entre Volume de Tráfego e Velocidade Média.....	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação do Estado Geral de Conservação das Rodovias Brasileiras.....	6
Tabela 2 - Limites para determinação do Nível de Serviço em rodovias de múltiplas faixas.....	14
Tabela 3 - Parâmetros para determinação do Nível de Serviço em rodovias de pista simples.....	15
Tabela 4 - Limites para determinação do Nível de Serviço em rodovias de pista simples.....	15
Tabela 5 - Métodos de estimativa dos parâmetros do cálculo do Nível de Serviço	15
Tabela 6 - Nível de Serviço em Interseções não Sinalizadas	32
Tabela 7 - Relatório de Nível de Serviço para o Cenário Atual 2023.....	33
Tabela 8 - Nível de Serviço para os Cenários de projeção nos anos 2034, 2044 e 2054	35
Tabela 9 - Velocidade Média para os Cenários no ano de 2023, 2034, 2044 e 2054	36

LISTA DE SIGLAS

CNT	Confederação Nacional do Transporte
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
<i>et al</i>	E outros
HCM	<i>Highway Capacity Manual</i>
LOS	<i>Level of Services</i>
NS	Nível de Serviço
SNV	Sistema Nacional de Viação
VMDA	Volume Médio Diário Anual

SUMÁRIO

1	Introdução	1
1.1	Objetivo	1
1.1.1	Objetivos Específicos	2
1.2	Justificativa	2
2	Revisão Bibliográfica.....	4
2.1	Panorama das rodovias brasileiras e a importância do estudo de tráfego.....	4
2.2	Nível de Serviço em Rodovias e Interseções	8
2.3	Interseções em rodovias não semaforizadas	16
2.3.1	Simulação de Tráfego.....	19
2.4	Estudos Acadêmicos que Empregaram Simulação de Tráfego.....	21
3	Metodologia.....	23
3.1	Descrição da Área de Estudo	24
3.2	Parâmetros de Entrada.....	26
3.3	Microsimulação – <i>Software TransModeler</i>	27
3.3.1	Simulação para os Cenários 1, 2, 3 e 4.....	29
4	Resultados	32
5	Conclusão	38
5.1	Sugestões para trabalhos futuros	39
	REFERÊNCIAS	40

1 INTRODUÇÃO

A infraestrutura brasileira de transporte desempenha um papel crucial no crescimento do país, sendo o modo rodoviário responsável por movimentar cerca de 65% das cargas e 95% dos passageiros no território nacional. Nesse contexto, a decisão estratégica de investir na infraestrutura rodoviária não apenas reflete impactos econômicos, mas também gera benefícios sociais significativos (CNT, 2023).

Por meio dos estudos de tráfego é possível conhecer o número de veículos que circula por uma via em um determinado período, suas velocidades, suas ações mútuas, os locais onde seus condutores desejam estacioná-los, os locais onde se concentram os acidentes de trânsito, entre outros aspectos. Esses estudos ainda permitem a determinação quantitativa da capacidade das vias e, em consequência, o estabelecimento dos meios construtivos necessários à melhoria da circulação ou das características de seu projeto (DNIT, 2006).

As interseções constituem elementos de descontinuidade em qualquer rede viária e representam situações críticas que devem ser tratadas de forma especial. O projeto de interseção deverá assegurar circulação ordenada dos veículos e manter o Nível de Serviço da rodovia, garantindo a segurança nas áreas em que as suas correntes de tráfego sofrem a interferência de outras correntes, internas ou externas (DNIT, 2005).

Demarchi (2000) destaca que o Nível de Serviço é uma medida da qualidade das condições operacionais de uma rodovia, com o intuito de representar a percepção dos usuários sobre diversos aspectos, como velocidade e tempo de deslocamento, facilidade de manobra, interrupções no tráfego, segurança, conforto e conveniência.

Assim, este trabalho propõe uma análise de interseções rodoviárias utilizando ferramentas computacionais de microssimulação de tráfego. Serão verificadas as condições operacionais de tráfego fundamentadas no método de Nível de Serviço, tanto para o cenário atual quanto para projeções de volumes para 10, 20 e 30 anos. A intenção é realizar uma comparação entre os diferentes tipos de interseções estudadas e avaliar a eficácia dos softwares de simulação de tráfego.

1.1 Objetivo

O objetivo do presente trabalho é estudar interseções rodoviárias a partir de microssimulação de tráfego.

1.1.1 Objetivos Específicos

- Identificar a necessidade de ampliações de capacidade e aprimoramentos nas interseções rodoviárias com o intuito de melhorar a segurança viária.
- Comparar os desempenhos de interseções em nível com interseções em níveis diferentes.
- Estudar e descrever as principais características do simulador *TransModeler*.

1.2 Justificativa

De acordo com informações do último relatório de Segurança Rodoviária da Organização Mundial de Saúde (OMS, 2023), aproximadamente 1,19 milhões de pessoas perdem a vida anualmente, que corresponde a uma taxa de 15 óbitos por 100.000 habitantes. Nesse sentido, o estudo de interseções rodoviárias é de grande relevância, uma vez que são locais onde acontecem os principais conflitos entre veículos, pedestres e, por vezes, ciclistas (ALVES e MELLO, 2021; COSTA, 2010).

Ferraz et al. (2012) destaca que os principais problemas relacionados às interseções que contribuem para a ocorrência de acidentes incluem: visibilidade comprometida para os veículos que se aproximam de um cruzamento com uma via preferencial, devido à geometria inadequada ou à presença de obstáculos próximos à via, como construções, árvores, vegetação alta, postes, propagandas comerciais e abrigos de ônibus; ausência de pistas de aceleração/desaceleração direta em vias de alta velocidade; condições que propiciam o desenvolvimento de velocidades excessivas nas aproximações; sinalização deficiente; operação inadequada; cruzamento de vias com alto volume de movimentos de conversão à esquerda não protegidos; tempos de semáforos inadequados; ausência de fase exclusiva para a travessia de pedestres; presença de rotatórias vazadas, entre outros.

Ainda, segundo o mesmo autor, o objetivo da Engenharia no trânsito é fazer com que o deslocamento de veículos e pedestres seja realizado de maneira racional, isto é, com segurança, rapidez/fluidez e comodidade. Enquanto a Engenharia Viária trata do projeto, construção e manutenção da infraestrutura viária, contemplando a parte física (*hardware*) do sistema de transporte, a Engenharia de Tráfego engloba a operação do trânsito, a sinalização de trânsito e a gestão da segurança viária, o que

corresponde ao programa operacional (*software*) do sistema de movimentação de veículos e pedestres (FERRAZ et al., 2012).

Nesse sentido, o estudo das interseções rodoviárias é de grande importância uma vez representa um papel relevante na segurança viária e prevenção de acidentes, na otimização do fluxo de tráfego e no fomento à mobilidade urbana sustentável, contribuindo, portanto para o desenvolvimento ordenado das áreas urbanas e para a melhoria qualidade de vida da população.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

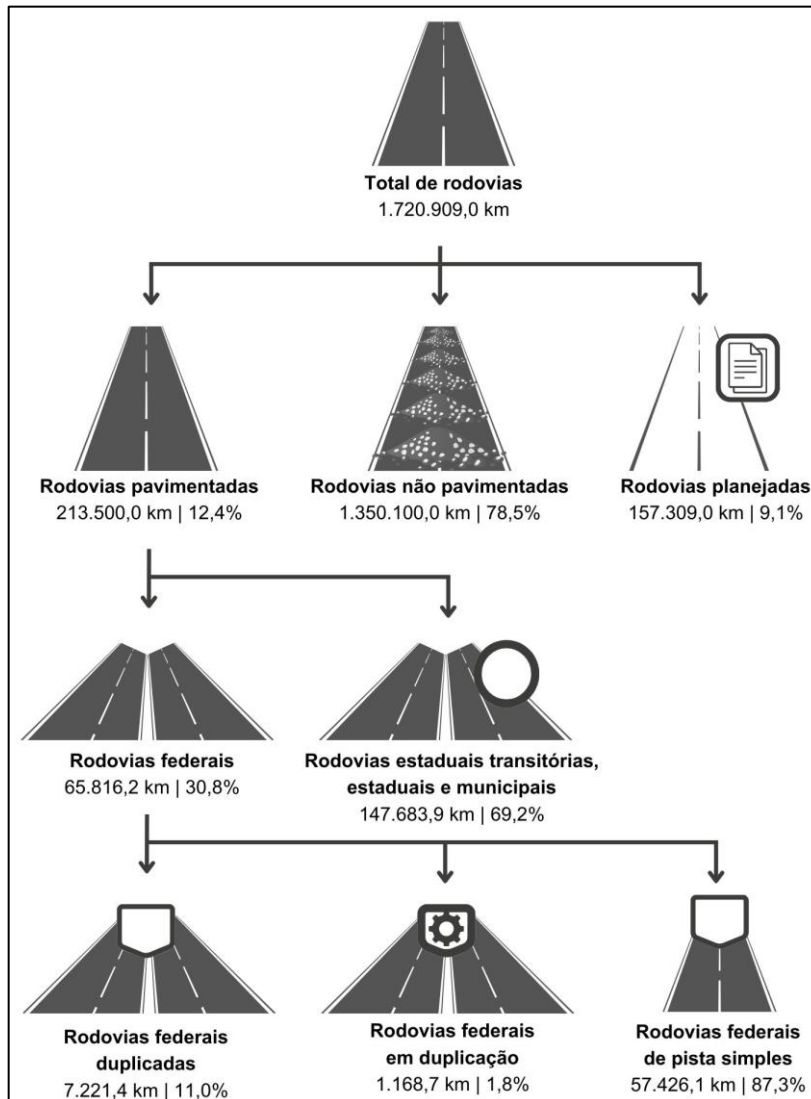
2.1 Panorama das rodovias brasileiras e a importância do estudo de tráfego

Conforme a 26ª edição da Pesquisa CNT de Rodovias 2023 (CNT, 2023), conduzida pela Confederação Nacional do Transporte (CNT), a infraestrutura brasileira desempenha um papel crucial no crescimento do país, sendo o setor de transporte responsável por impactar diretamente o desenvolvimento socioeconômico nacional. A referida pesquisa evidencia a imperativa necessidade de investimentos destinados à reconstrução, restauração e manutenção das rodovias. Segundo os estudos realizados, constatou-se que o Brasil ainda apresenta uma malha rodoviária de baixa qualidade, evidenciando a ausência de investimentos adequados na infraestrutura de transporte ao longo das últimas décadas.

De acordo com os dados disponibilizados pelo Sistema Nacional de Viação (SNV, 2023), a extensão da malha rodoviária brasileira atinge 1,7 milhão de quilômetros, dos quais apenas 12,4% são revestidos por pavimentação, totalizando 213,5 mil quilômetros. É relevante destacar, ademais, a considerável extensão de vias não pavimentadas, que representa cerca de 1,4 milhão de quilômetros, correspondendo a 78,5% do total da malha. A Figura 1 ilustra a distribuição completa da malha, categorizando-a de acordo com o tipo de superfície e jurisdição.

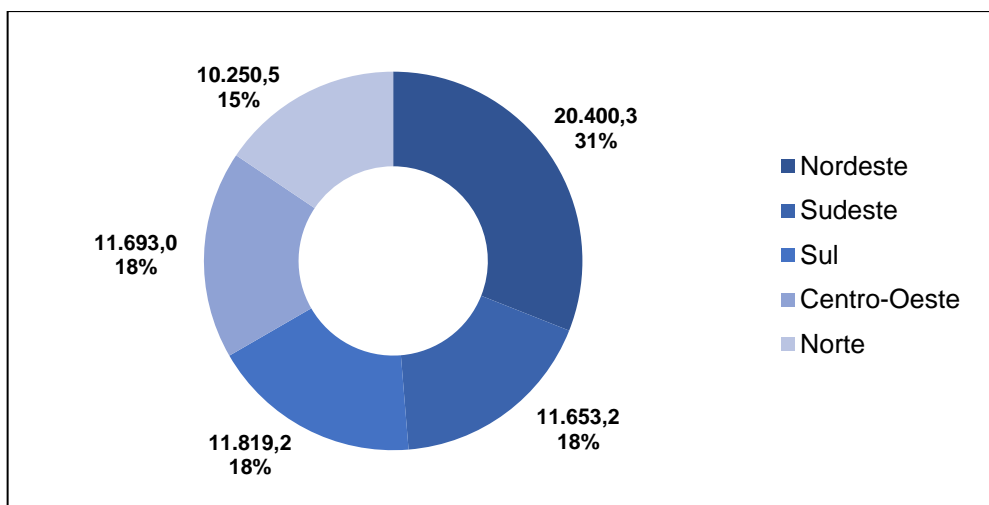
Segundo informações do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2023), há disparidades na distribuição da malha rodoviária pavimentada federal entre as distintas regiões do Brasil, conforme evidenciado pela Figura 2. Destaca-se que a região Nordeste detém a maior extensão, compreendendo 20,4 mil quilômetros (31,0%). Em contraste, as regiões Sudeste, Sul e Centro-Oeste apresentam números semelhantes, variando entre 11,7 e 11,8 mil quilômetros. Por sua vez, a região Norte possui a menor extensão, totalizando 10,3 mil quilômetros (15,6%), conforme apresentado no gráfico da Figura 2.

Figura 1 - Malha Rodoviária Brasileira (CNT, 2023)



Fonte: Adaptado de DNIT (2023) e Ministério da Infraestrutura (2020).

Figura 2 - Distribuição percentual da extensão de rodovias federais pavimentadas por região



Fonte: Adaptado de CNT, com dados do DNIT (2023).

Além das questões relacionadas à oferta e distribuição, a infraestrutura rodoviária brasileira apresenta, em termos geral, sérias deficiências quanto ao seu estado de conservação (CNT, 2023). De acordo com a Pesquisa CNT de Rodovias 2023, apenas 32,5% dos trechos avaliados encontram-se em condições ótimas (7,9%) ou boas (24,6%). Problemas foram identificados em grande parte da extensão avaliada, representando 67,5% do total, classificados como regulares, ruins ou péssimos. A Tabela 1 fornece detalhes dessas classificações.

Tabela 1 - Classificação do Estado Geral de Conservação das Rodovias Brasileiras

ESTADO GERAL	EXTENSÃO TOTAL	
	km	%
Ótimo	8.849	7,9
Bom	27.463	24,6
Regular	46.124	41,4
Ruim	22.585	20,3
Péssimo	6.481	5,8
Total	111.502	100,0

Fonte: Adaptado de CNT (2023).

De acordo com CNT (2023), as rodovias bem projetadas e sujeitas à manutenção contínua desempenham um papel crucial na asseguuração da segurança e eficiência do transporte. Essa condição propicia o acesso eficaz de produtos aos seus destinos, facilita o acesso dos cidadãos a serviços essenciais e impulsiona o crescimento por meio de iniciativas governamentais. Portanto, a decisão estratégica de investir na infraestrutura rodoviária resulta em benefícios sociais e econômicos significativos. Para alcançar tal êxito, é essencial realizar um planejamento eficiente, respaldado por estudos de tráfego, visando a construção e manutenção adequada da infraestrutura rodoviária (CNT, 2023).

Nesse sentido, os estudos de tráfego, inseridos no contexto da engenharia de transportes, emergem como uma disciplina de significativa importância no entendimento e aprimoramento do sistema viário. Essa área não apenas propicia uma compreensão profunda do comportamento dos usuários da via, mas também se destaca por seu papel crucial na adaptação das infraestruturas viárias às demandas dinâmicas do tráfego.

De acordo com o Manual de Estudos de Tráfego (DNIT, 2006), o objetivo dos estudos de tráfego é obter, a partir de métodos sistemáticos de coleta, dados relativos aos cinco elementos fundamentais do tráfego (i.e., motorista, pedestre, veículo, via e meio ambiente) e seu inter-relacionamento. Dessa forma, por meio dessas análises, torna-se possível identificar pontos críticos e propor soluções para aprimorar a fluidez e a segurança nas vias

O Manual de Estudo de Tráfego (DNIT, 2006), tem como objetivo oferecer diretrizes, procedimentos e critérios técnicos para o estudo de tráfego em rodovias. Servindo como um guia técnico fundamental para profissionais que trabalham na área de planejamento, projeto, operação e gestão do tráfego rodoviário para garantir que as rodovias sejam projetadas, operadas e gerenciadas de maneira eficiente, segura e adequada às demandas de tráfego atuais e futuras. Nele, são definidas as variáveis necessárias para o desenvolvimento do diagnóstico e planejamento do tráfego rodoviário, sendo as principais apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 – Principais variáveis dos Estudos de Tráfego Rodoviário

VARIÁVEL	DESCRIÇÃO
Volume de Tráfego	Quantidade de veículos que atravessam uma seção de uma via ou uma faixa específica durante um intervalo de tempo.
Fator Horário de Pico (FHP)	O volume de tráfego durante a hora de pico do período analisado, dividido pelo quádruplo do volume registrado durante o período de quinze minutos da Hora de Pico com maior fluxo de tráfego.
Volume Horário de Projeto (VHP)	Fluxo de veículos (quantidade de veículos por hora) que o projeto da via em questão deve suportar, garantindo condições adequadas de segurança e conforto.
Volume Médio Diário (VMD)	Média diária de veículos que trafega por uma seção ou trecho de uma rodovia ao longo de um período determinado. Na ausência de especificação sobre o período considerado, presume-se que se refere a um ano.
Capacidade	Limite máximo de veículos que pode transitar por uma seção específica de uma faixa ou pista durante um intervalo de tempo definido, considerando as condições reais predominantes na via e no tráfego.

Fonte: DNIT (2006).

Os conceitos de volume de tráfego, capacidade viária e níveis de serviço estão intrinsecamente interligados, desempenhando um papel essencial na compreensão e

gestão eficaz do sistema de transporte. O volume de tráfego, que representa a quantidade de veículos em uma via, desempenha um papel determinante na pressão exercida sobre a capacidade viária. O Volume Horário de Projeto (VHP) considerado, corresponde à quinquagésima hora, expresso em unidades de carro de passeio por hora (UPC/h). O Fator Horário de Pico (FHP) é fundamentado nos dados padrão fornecidos pelo DNIT (2006), que são de 0,88 para rodovias em zonas rurais e 0,92 para zonas urbanas.

A determinação da capacidade, conforme estabelecido pelo Manual de Estudos de Tráfego (DNIT, 2006), tem como objetivo quantificar o seu grau de suficiência para acomodar os volumes de trânsito existentes e previstos, permitindo a análise técnica e econômica de medidas que asseguram o escoamento destes em condições aceitáveis.

2.2 Nível de Serviço em Rodovias e Interseções

Segundo Demarchi (2000), o Nível de Serviço (NS) é uma medida da qualidade das condições operacionais da rodovia, buscando refletir a percepção dos usuários em relação a vários fatores, tais como velocidade e tempo de viagem, liberdade de manobras, interrupções do tráfego, segurança, conforto e conveniência. O mesmo Nível de Serviço é mantido até que um volume máximo, denominado volume de serviço, seja atingido. À medida que o volume de tráfego se aproxima ou excede a capacidade viária, os níveis de serviço começam a degradar, resultando em atrasos, redução da velocidade média e menor eficiência operacional. Essa interconexão destaca a importância de estratégias de gerenciamento de tráfego e investimentos em infraestrutura para otimizar a capacidade viária, e, por conseguinte, aprimorar os níveis de serviço, assegurando um sistema de transporte funcional e eficiente (DNIT, 2006).

Por sua vez, o *Highway Capacity Manual* (HCM) define Nível de Serviço, conhecido em inglês como *Level of Service* (LOS), como uma estratificação quantitativa de uma ou mais medidas de desempenho que representam a qualidade de serviço (TRB, 2010). Esses Nível de Serviço são categorizados em seis níveis, designados pelas letras A, B, C, D, E e F, em que A representa um nível menos congestionado, de fluxo livre, enquanto F indica o nível mais congestionado, caracterizado por um fluxo forçado ou com interrupções.

Por definição, a capacidade é o fluxo máximo horário de veículos que se estima passar por uma seção de uma rodovia, durante um período, segundo determinadas condições existentes desta e do tráfego. No sentido geral, segundo DNER (1999, p. 34), o termo considera relações entre “as condições e as características da rodovia, a composição de tráfego e os padrões de fluxo, assim como o grau relativo de congestionamento em vários níveis de volume de tráfego, desde os muito leves até o que igualam a capacidade da via”. Sendo esta, a máxima taxa de fluxo de serviço para o Nível de Serviço E (DNIT, 2006). A Figura 3 fornece uma representação prática destes. O Manual de Projeto de Interseções (DNIT, 2005) enfatiza que os Níveis de Serviço são determinados pelos tempos médios de espera na interseção. O Quadro 2 apresenta qualitativamente as definições de cada nível.

Figura 3 – Níveis de Serviço em rodovias.



Fonte: TRB (2010).

Quadro 2 - Descrição dos Níveis de Serviço em Interseções.

NS	DESCRIÇÃO
A	A maioria dos veículos da corrente de tráfego pode atravessar a interseção livremente, com praticamente nenhum atraso.
B	A capacidade de deslocamento dos veículos da corrente secundária é impactada pelo fluxo prioritário. Os tempos de espera são mínimos.
C	Os motoristas da corrente secundária precisam lidar com um grande volume de veículos da corrente principal. Os tempos de espera são perceptíveis, com início de formação de retenções de veículos, porém sem grande extensão ou duração.
D	A maioria dos motoristas da corrente secundária é forçada a efetuar paradas frequentes, resultando em perda de tempo perceptível. Para alguns veículos, os tempos de espera podem ser elevados. Embora ocorram retenções de veículos, elas tendem a diminuir, mantendo o fluxo de tráfego estável.
E	Retenções de veículos se formam e não diminuem enquanto os volumes de tráfego permanecerem constantes. Os tempos de espera se tornam consideravelmente longos. Pequenos aumentos nas interações entre veículos podem provocar colapso do tráfego. A capacidade máxima é atingida.
F	O número de veículos que chegam à interseção em um intervalo de tempo prolongado excede a capacidade. Longas filas de veículos se formam, com tempos de espera elevados. Essa situação só é aliviada com uma redução significativa dos volumes de tráfego. A interseção está saturada.

Fonte: DNIT (2005).

Diversos fatores interferem na capacidade e no Nível de Serviço das rodovias. A geometria da estrada, controle de sinalização e semáforos, densidade de veículos, comportamento do condutor, intervenções urbanísticas e acessibilidade, segurança viária e condições climáticas são determinantes nesse contexto. Alguns procedimentos são utilizados para a determinação da capacidade, sendo estes baseados em tabulações e representações para um conjunto de condições padronizadas, denominadas “condições ideais” que devem ser ajustadas em função das condições reais da via (DNER, 1999). As condições ideais de fluxo contínuo são, segundo DNER (1999):

- Larguras de faixa de tráfego maior ou igual a 1,80 metros;
- Afastamento mínimo lateral de obstrução de obstáculos das faixas de tráfego maior ou igual a 1,80 metros;
- Velocidade de projeto maior ou igual a 115 km/h;

- Somente veículos de passeio na corrente de tráfego;
- Terreno plano.

De forma mais detalhada, a velocidade de fluxo livre (Vfl) representa a velocidade alcançada pelos veículos em condições ideais de tráfego, sem quaisquer restrições. Essa pode ser obtida por meio de coleta em campo ou estimada, considerando a velocidade base de fluxo livre e ajustes para largura de faixa, acostamento, densidades de acessos e, no caso de multivias, do tipo de separador central (DNIT, 2006). Ainda, de acordo com o DNIT (2006), a velocidade base de fluxo livre é aquela esperada dependendo dos alinhamentos horizontais e verticais da rodovia (velocidade de projeto), se larguras padrões de faixa de rolamento e de acostamento fossem utilizados e a densidade de acessos fosse nula.

Segundo o DNIT (2006), as larguras dos acostamentos e das faixas de rolamento são essenciais para calcular a velocidade de fluxo livre, sendo determinadas conforme o levantamento da configuração existente e do perfil transversal planejada para as futuras intervenções. As densidades de acessos por quilômetro também são utilizadas no cálculo da velocidade de fluxo livre (Vfl), sendo definidas conforme a situação atual em cada trecho.

Por fim, o HCM (2010) divide os terrenos em plano, ondulado e montanhoso, embora não forneça diretrizes precisas para essa classificação.

- Terreno plano: qualquer combinação de alinhamentos horizontais e verticais que permitam que veículos pesados mantenham a velocidade que carros de passeio;
- Terreno ondulado: qualquer combinação de alinhamentos horizontais e verticais que causem uma queda substancial na velocidade do veículo pesado abaixo daquelas dos carros de passeio;
- Terreno montanhoso: qualquer combinação de alinhamentos horizontais e verticais que causem ao veículo pesado operar na velocidade de arrasto, definida como aquela mantida por um veículo pesado em rampas de maior porcentagem e de grande extensão.

Ressalta-se que tais características supracitadas podem variar conforme a classificação técnica da via. Para fins de projetos, o DNER (1999) agrupa as rodovias em cinco classes, numeradas de 0 a IV, correspondendo os menores números às

características mais robustas. Em um extremo (Classe 0), situam-se as rodovias de nível mais elevadas, com pista dupla, interseções em desnível e controle total de acesso de veículos e pedestres. No outro extremo (Classe IV-B), tem-se as estradas vicinais. Nota-se que o principal parâmetro considerado na classificação técnica ou de projeto é a projeção do Volume Médio Diário do 10º ano após sua abertura. Tais classificações estão detalhadas no Quadro 3.

Quadro 3 – Classificação técnica das rodovias.

CLASSE		CARACTERÍSTICAS	CRITÉRIOS
0		Via expressa Controle total de acessos	Decisão Administrativa
I	A	Pista Dupla Controle parcial de acessos	Os volumes de tráfego previstos ocasionarem níveis de serviço em rodovia de pista simples aos níveis C ou D
	B	Pista Simples Controle parcial de acessos	Volume Horário de Projeto (VMH) > 200 Volume Médio Diário (VMD) > 1.400
II		Pista Simples	VMD – 700 a 1.400 veículos
III		Pista Simples	VMD – 300 a 700 veículos
IV	A	Pista Simples	VMD – 50 a 300 veículos
	B	Pista Simples	VMD < 50 veículos

Fonte: Adaptado de DNER (1999).

Outra classificação utilizada é a do HCM (2010), que agrupa as rodovias de pista simples em três categorias:

- Classe I: rodovias onde os motoristas esperam viajar com velocidades relativamente altas. Conectam rotas principais entre cidades, principais conectores de grandes polos geradores de tráfego, rotas principais de ligação entre estados. Essas ligações servem principalmente para viagens de longa distância.
- Classe II: rodovias onde os motoristas não necessariamente esperam viajar em altas velocidades. Servem acessos para rodovias de Classe I, rotas recreacionais (e não sendo arteriais principais). Passam também por terrenos acidentados (onde operações a altas velocidades seriam impossíveis).

- Classe III: rodovias servindo áreas moderadamente desenvolvidas. Podem ser porções de rodovias de Classe I ou Classe II que passam por pequenas cidades ou áreas recreacionais desenvolvidas.

Por fim, no que tange aos métodos de O HCM (2010) fornece diferentes métodos para analisar os NS em rodovias, considerando tanto as de pista simples quanto as de pista dupla. Para as rodovias de pista dupla, são apresentadas duas metodologias distintas: autoestradas (*freeways*) e convencionais de múltiplas faixas (*multilanes*). As principais diferenças entre essas abordagens residem nos aspectos de velocidade, presença de separador físico e controle de acesso à rodovia.

No contexto das rodovias em pista dupla, a determinação do NS envolve a utilização do parâmetro de desempenho denominado densidade da corrente de tráfego, expresso em ucp/km/pista. Os limites de densidade associados a cada NS para rodovias de múltiplas faixas estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Limites para determinação do Nível de Serviço em rodovias de múltiplas faixas.

NS	Vfl (km/h)	DENSIDADE (ucp/km/pista)
A	Todas	> 0 - 7
B	Todas	> 7 - 11
C	Todas	> 11 - 16
D	Todas	> 16 - 22
E	96	> 22 - 24
	88	> 22 - 25
	80	> 22 - 27
	72	> 22 - 28
F	Excede à Capacidade	-

Fonte: Adaptado de HCM (2010).

Para rodovias de pista simples, a determinação do NS envolve a consideração de diversos parâmetros de desempenho, os quais variam de acordo com a classe da rodovia. Esses parâmetros incluem a velocidade operacional média (ATS), o percentual de tempo em que os usuários trafegam em pelotão (PTSF) e a porcentagem de tempo em que os veículos percorrem o trecho em velocidade de fluxo livre (PFFS). A Tabela 3 e a Tabela 4 apresentam os parâmetros considerados por cada classe de rodovia, assim como os limites estabelecidos para cada parâmetro conforme o NS. A Tabela 5 oferece um resumo abrangente de todos os dados de entrada necessários para a obtenção desses parâmetros, indicando a forma de obtenção e fornecendo algumas recomendações.

Tabela 3 - Parâmetros para determinação do Nível de Serviço em rodovias de pista simples.

CLASSE	CRITÉRIOS	MEDIDAS
Classe I	Velocidade e Conforto	ATS e PTSF
Classe II	Conforto	PTSF
Classe III	Velocidade próxima da velocidade limite	PPFS

Fonte: Adaptado de HCM (2010).

Tabela 4 - Limites para determinação do Nível de Serviço em rodovias de pista simples.

NS	CLASSE I		CLASSE II	CLASSE III
	ATS (km/h)	PTSF (%)	PTSF (%)	PPFS (%)
A	> 88	≤ 35	≤ 40	> 91,7
B	> 80 - 88	> 35 - 50	> 40 - 55	> 83,3 - 91,7
C	> 72 - 80	> 50 - 65	> 55 - 70	> 75,0 - 83,3
D	> 64 - 72	> 65 - 80	> 70 - 85	> 66,7 - 75,0
E	≤ 64	> 80	> 85	≤ 66,7

Fonte: Adaptado de HCM (2010).

Tabela 5 - Métodos de estimativa dos parâmetros do cálculo do Nível de Serviço

DADOS GEOMÉTRICOS		
Dados Requeridos	Fontes Potenciais	Valor Padrão Sugerido
Classe (I, II ou III)	Características da via	Deve ser determinado
Largura da pista (m)	Inventário, foto aérea	3,6 m
Acostamento (m)	Inventário, foto aérea	1,8 m
Densidade de acessos	Dados de campo, foto aérea	3/km (I e II) ou 6/km (III)
Tipo de Terreno	Julgamento do analista	Deve ser determinado
Percentual de zonas de não ultrapassagem	Inventário, foto aérea	Plano 20%, Ondulado 40%, Montanhoso 80%
Velocidade de Fluxo Livre	Medições diretas, estimativas	FFS = Limite de velocidade + 16km/h
Dist. de ultrapassagem	Inventário, foto aérea	Deve ser determinado
Demanda por hora	Dado de campo, modelos	Deve ser determinado
Duração da análise	Dado de campo, modelos	Deve ser determinado
Fator Hora Pico	Dado de Campo	0,88 Rural e 0,92 Urbano
Percentual de veículos pesados	Dado de Campo	0,06

Fonte: Adaptado, HCM (2010).

2.3 Interseções em rodovias não semaforizadas

O Manual de Projeto de Interseções (DNIT, 2005) define interseção como a área em que duas ou mais vias se unem ou se cruzam, abrangendo todo o espaço destinado a facilitar os movimentos dos veículos que por ela circulam. Essas interseções são categorizadas em duas classificações amplas, dependendo dos planos nos quais ocorrem os movimentos: interseções em nível e interseções em níveis diferentes. Nota-se que este trabalho focará exclusivamente nas interseções não semaforizadas.

De acordo com Demarchi e Setti (1997), que analisam o impacto de veículos pesados na capacidade e no Nível de Serviço de interseções rodoviárias não semaforizadas, mencionam que as interseções em nível não semaforizadas são elementos geométricos cuja função é promover o cruzamento entre duas rodovias de pista simples. Segundo o DNIT (2005), as interseções em nível podem ser definidas em função do número de ramos que apresentam, das soluções adotadas e do controle de sinalização implantado:

- Quanto ao número de ramos:
 - Interseção de três ramos ou “T”.
 - Interseção de quatro ramos.
 - Interseção de ramos múltiplos.
- Em função da solução adotada:
 - Mínima: solução sem nenhum controle especial, aplicável normalmente onde o volume horário total (dois sentidos) da via principal for inferior a 300 uvp/ e o da via secundária for inferior a 50 uvp/h.
 - Gota: solução que adota uma ilha direcional do tipo “gota” na via secundária com a função de disciplinar os movimentos de giro à esquerda, como mostrado na Figura 4.
 - Canalizada: solução em que os movimentos do tráfego têm suas trajetórias definidas pela sinalização horizontal, por ilhas e outros meios, com o objetivo de minimizar os seus conflitos, ilustrada na Figura 5.
 - Rótula (rotatória): solução em que o tráfego se move no sentido anti-horário ao redor de uma ilha central, conforme a Figura 6.

- Rótula vazada: solução em que as correntes diretas da via principal atravessam uma ilha central, em torno da qual as demais correntes circulam no sentido anti-horário, ilustrado na Figura 7.

Figura 4 - Interseção do Tipo Gota



Figura 5 - Interseção do Tipo Canalizada



Figura 6 – Interseção do Tipo Rótula (Rotatória)



Figura 7 - Interseção do Tipo Rótula Vazada



Fonte: DNIT (2005).

- Em função do controle de sinalização:
 - Sem sinalização semafórica (luminosa): típica de zonas rurais onde o fluxo é controlado por sinalização horizontal e vertical.
 - Com sinalização semafórica (luminosa): típica de zonas urbanas onde o fluxo é controlado por semáforo.

De acordo com Oliveira et al. (2015), o tipo de interseção rótula vazada, comparado aos demais tipos, apresenta maior índice de acidentes (colisões laterais), principalmente onde há intensidade no tráfego de veículos lentos que executam

manobras com fluxo de conversão à esquerda, pois atravessam perpendicularmente ambos os sentidos do fluxo principal da rodovia.

Oliveira et al. (2015) enfatiza a necessidade de evitar esse tipo de interseção, destacando outro fato que aumenta o risco de acidentes: as características físicas. Mesmo não apresentando restrições de visibilidade, o segmento da rodovia em topografia plana, com ângulos e raios horizontais generosos, contribui significativamente para o aumento da velocidade, o que aumenta o risco de acidentes.

As interseções em níveis diferentes, de acordo com o DNIT (2005), podem ser classificadas em dois tipos básicos. O primeiro é o cruzamento em níveis diferentes sem ramos, caracterizado pela ausência de trocas de fluxos de tráfego entre as rodovias que se interceptam. Em outras palavras, esse cruzamento em desnível não apresenta ramos de conexão. O segundo tipo é a interconexão, que vai além do cruzamento em desnível ao incluir ramos que direcionam os veículos de uma via para outra. Segundo o DNIT (2005), os dois tipos básicos de classificação das interseções em níveis diferentes ainda possuem subdivisões:

- Quanto ao cruzamento em níveis diferentes sem ramos:
 - Passagem superior: quando a rodovia principal passar sobre a via secundária.
 - Passagem inferior: quando a rodovia principal passar sob a via secundária.
- Quanto a interconexão:
 - Interconexão em “T” ou “Y”: o aspecto geral do projeto faz com que seja designada por “T” ou “Y”. Quando uma das correntes de tráfego de um ramo executar giro próximo de 270° a interconexão é designada por “trombeta”, a Figura 8 ilustra a interconexão com três ramos citada.
 - Diamante: interconexão em que a via principal apresenta, para cada sentido, uma saída à direita antes do cruzamento e uma entrada à direita após o mesmo. As conexões na via secundária são interseções em nível ilustrado na Figura 9.
 - Trevo completo: interconexão em que, nos quatro quadrantes, os movimentos de conversão à esquerda são feitos por laços (loops) e à direita por conexões externas aos laços, conforme a Figura 10.

- Trevo parcial: interconexão formada pela eliminação de um ou mais ramos de um trevo completo, apresentado pelo menos um ramo em laço, mostrada na Figura 11.

Figura 8 - Interseção do Tipo Trombeta



Figura 9 - Interseção do Tipo Diamante

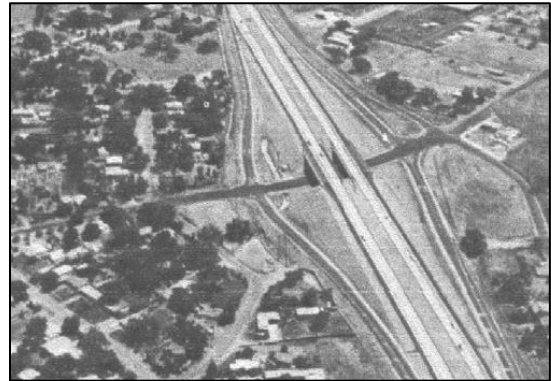


Figura 10 - Interseção do Tipo Trevo Completo

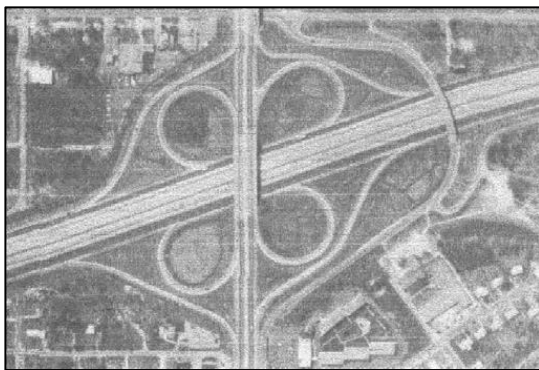
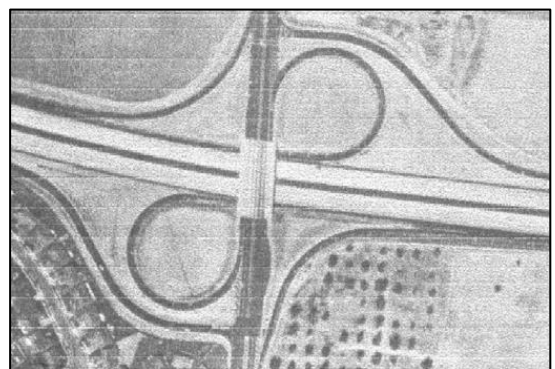


Figura 11 - Interseção do Tipo Trevo Parcial



Fonte: DNIT (2005).

2.3.1 Simulação de Tráfego

De acordo com Coelho (2009), a simulação de tráfego representa uma ferramenta de análise que auxilia os profissionais de transportes no planejamento, projeto, operação, manutenção e aprimoramento de sistemas viários e sistemas de sinalização semafórica. Os simuladores de tráfego são programas computacionais que buscam reproduzir uma situação real por meio de modelos para analisar suas características operacionais.

Segundo Miyagi (2006), a ampla disponibilidade de ferramentas de simulação, o contínuo aumento na capacidade computacional e os progressos nas metodologias de simulação consolidaram essa técnica como uma das mais utilizadas e aceitas em

tarefas de análise e desenvolvimento de sistemas. Miyagi (2006) ainda destaca diversas finalidades para as quais a simulação pode ser particularmente útil:

- Examinar as interações internas de um sistema complexo ou de um subsistema dentro de um sistema abrangente.
- Implementar modificações nas informações, na organização e no ambiente do sistema para avaliar seus impactos.
- Testar novos projetos ou procedimentos antes da implementação, proporcionando uma preparação para possíveis cenários.
- Identificar as variáveis mais cruciais de um sistema e compreender suas interações por meio da análise dos sinais de entrada e das saídas resultantes.
- Validar soluções analíticas, utilizando a simulação como uma ferramenta de confirmação.
- Aumentar o entendimento sobre o modelo de simulação e aprimorar o processo de desenvolvimento do modelo para aperfeiçoar do sistema.

Os modelos de fluxo de tráfego podem ser classificados como determinísticos ou estocásticos, subdividindo-se ainda em abordagens macroscópicas ou microscópicas, dependendo do nível de detalhamento e abrangência da simulação. De acordo com Portugal (2005), na abordagem macroscópica, o fluxo de tráfego é concebido como um fluido, e a individualidade dos veículos e usuários é desprezada. Este tipo de escala é mais aplicado no planejamento de grandes áreas, com foco em decisões de longo prazo e com baixo nível de detalhamento. Por outro lado, na abordagem microscópica, busca-se tratar cada veículo e usuário de forma individualizada, detalhando melhor o comportamento do sistema. Devido ao seu alto nível de detalhes, essa abordagem geralmente é aplicada em áreas mais restritas, como interseções específicas (PORTUGAL, 2005).

No mercado, há uma variedade de *softwares* de simulação, cada um com suas características distintas. Conforme apontado pelo Manual de Capacidade e Qualidade de Serviço em Transporte Público (TRB, 2000), a seleção de um *software* de simulação deve considerar alguns critérios listados na Quadro 4.

Quadro 4 - Critérios Para a Seleção de Software de Simulação

CRITÉRIOS	DESCRIÇÃO
Dimensões da Rede	Muitos softwares apresentam restrições ao tamanho da rede de simulação.
Representação da Rede	Refere-se à capacidade do modelo em representar geometricamente a rede.
Representação de Tráfego	Modelos microscópicos têm a capacidade de simular movimentos sofisticados dos veículos, permitindo uma análise detalhada do tráfego, ao passo que os modelos macroscópicos não oferecem tal nível de detalhe.
Operação de Tráfego	O modelo deve ser capaz de simular operações de tráfego, como rampas, restrições e canalizações de tráfego, operações de transporte público, atividades de estacionamento, entre outras.
Controle de tráfego	Para interseções urbanas, é necessário incluir semáforos, controle de velocidade, entre outros.
<i>Output</i> do modelo	Deve-se avaliar se a forma de apresentar os resultados do modelo é adequada aos objetivos do estudo.

Fonte: TRB (2000).

2.4 Estudos Acadêmicos que Empregaram Simulação de Tráfego

A dissertação elaborada por Ortolani (2003) realiza uma avaliação do desempenho operacional do tráfego de veículos em três tipos de dispositivos rodoviários em nível. Essa avaliação utiliza a capacidade como critério para os diversos níveis de serviço, incluindo uma análise comparativa entre eles. A análise de desempenho fundamenta-se nos resultados fornecidos pelo simulador *Integration*.

Os três dispositivos estudados por Ortolani (2003) compreendem: semi-rotatória com prioridade para os veículos da via principal, rotatória com prioridade para os veículos da via principal e rotatória com prioridade para os veículos da via circular. Por meio desse estudo, foi possível validar a eficácia e a consistência dos resultados gerados pelo simulador *Integration* em modelos específicos de interseções simples não semaforizadas.

Ortolani (2003) realiza análises com base nos valores relativos ao atraso crítico e ao atraso global, o que na maioria dos casos estudados não apresentam diferenças significativas. Para qualquer critério adotado, segundo Ortolani (2003), as análises realizadas apresentam os seguintes aspectos genéricos:

- Exceto para fluxos muito baixos na via principal e movimento sem conversões, a rotatória com prioridade para a via circular apresenta

desempenho superior às demais. Para fluxos altos na via principal, a diferença de desempenho é extremamente grande.

- Exceto para fluxos baixos na via principal e movimento sem conversões, a rotatória com prioridade para a via principal apresenta desempenho superior ao da semi-rotatória com prioridade para a via principal. Para fluxos altos na via principal, a diferença de desempenho é bastante significativa.
- Como na maioria dos casos reais, os fluxos na via principal nos horários de pico são relativamente altos e os movimentos de conversão são significativos, o desempenho da rotatória com prioridade para a via principal é superior aos das demais; e o desempenho da rotatória com prioridade para a via principal superior ao da semi-rotatória com prioridade para a via principal.

No Trabalho de Conclusão de Curso elaborado por Silva e Pinto (2017) é realizada uma análise de Engenharia de Tráfego em uma interseção rodoviária na cidade de Tucuruí-PA, utilizando os *softwares Synchro e SimTraffic*. As simulações permitiram obter os dados importantes da interseção em suas condições atuais, além de avaliar seu comportamento em cenários alternativos projetando a frota para 5 (cinco), 10 e 15 anos no futuro, com a aplicação de diferentes estratégias de controle semafórico.

Nos resultados das simulações conduzidas por Silva e Pinto (2017), a interseção apresentou, nas condições atuais, o Nível de Serviço D, indicando problemas iniciais. Nos cenários projetados para 10 e 15 anos, os níveis atingiram a classificação F, evidenciando congestionamentos elevados e disfuncionalidade da interseção. O trabalho também explorou cenários otimizados pelo *software*, como a proibição de conversões à esquerda nas abordagens norte e sul da interseção, resultando em melhorias no Nível de Serviço.

Ambos os estudos acadêmicos apresentaram evidências de que a utilização de simuladores de tráfego se configura como ferramenta altamente vantajosa no processo de avaliação de alternativas operacionais em interseções ou dispositivos viários. A realização de microssimulações de tráfego proporciona diversos benefícios, como a identificação de áreas problemáticas em uma rede de transporte, a avaliação de alterações na infraestrutura rodoviária, o suporte à tomada de decisões e à análise de alternativas, a previsão de demanda futura, entre outros.

3 METODOLOGIA

É importante destacar que este trabalho constitui um estudo de caso fundamentado em um projeto real de estudo de tráfego de uma rodovia existente. Os dados utilizados foram disponibilizados por uma empresa de Engenharia de Infraestrutura Rodoviária. No entanto, é relevante ressaltar que, por questões contratuais, não será divulgado o nome da empresa responsável pelos levantamentos de dados e pelo projeto de estudo de tráfego, assim como o nome e localização da rodovia objeto de análise.

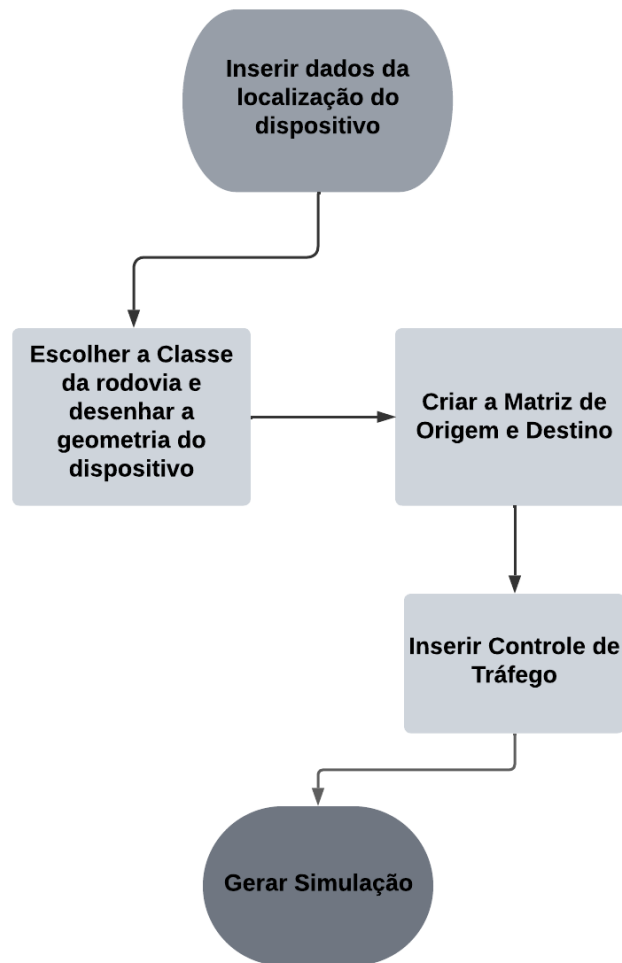
A metodologia descrita neste capítulo tem como objetivo estudar interseções através de microssimulação de tráfego, além de identificar a necessidade de ampliações de capacidade e aprimoramentos nas interseções rodoviárias. Para tanto, são analisadas as condições operacionais do tráfego, fundamentadas no conceito de Nível de Serviço, que considera medidas de desempenho como velocidade, tempo de viagem, liberdade de manobras, interrupções de tráfego, entre outras, buscando refletir a percepção do usuário em relação ao funcionamento das vias.

O método mais amplamente utilizado para quantificar o Nível de Serviço é o apresentado pelo *Highway Capacity Manual* (HCM). Diversos países adotam esse método e o adaptam às suas condições locais. No contexto brasileiro, o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) recomenda, no Manual de Estudos de Tráfego, a utilização do HCM.

Cabe destacar que o *software TransModeler* é compatível com os métodos de análise de capacidade e Nível de Serviço apresentados no HCM 6ª Edição. Assim, após a inserção da geometria da interseção e seus respectivos dados de tráfego para cada cenário analisado, o próprio *software* é capaz de realizar os cálculos com base no HCM e gerar relatórios de atraso por pista, comprimento da fila e Nível de Serviço.

A interface do *software* é intuitiva e de fácil compreensão, facilitando a execução de todos os processos da simulação. A Figura 12, são destacados os principais passos para inserção dos parâmetros de entrada.

Figura 12 - Fluxograma do Processo para Iniciar uma Simulação no *Transmodeler*



Fonte: do Autor.

3.1 Descrição da Área de Estudo

Este estudo fez uma escolha intencional ao selecionar duas interseções entre as seis analisadas pelo projeto base. Essas interseções foram especificamente escolhidas pelo autor devido aos seus elevados fluxos de veículos em comparação com as demais, proporcionando, assim, uma análise mais aprofundada de suas capacidades e níveis de serviço correspondentes. No Quadro 5, encontram-se listados os nomes atribuídos a essas interseções.

Quadro 5 - Nomenclatura Atribuída às Interseções Estudadas

Nome	Classificação	Tipo de interseção
Dispositivo 1	Em nível com três ramos	Rótula vazada
Dispositivo 2	Em nível diferente com quatro ramos	Trevo completo

Fonte: do Autor.

É relevante salientar que, no que se refere ao controle de sinalização, nenhuma das interseções em questão dispõe de sinalização semafórica (luminosa); assim, o fluxo é regulado por meio de sinalização horizontal e vertical. Para proporcionar uma compreensão visual mais clara acerca das classificações e tipos das interseções abordadas neste estudo, a Figura 13 e Figura 14 apresentam ilustrações da localização de cada dispositivo, utilizando imagens de satélite.

Figura 13 - Dispositivo 1



Fonte: Google Earth.

Figura 14 - Dispositivo 2



Fonte: Google Earth.

3.2 Parâmetros de Entrada

Para empregar o método de cálculo do Nível de Serviço, é fundamental dispor de dados de entrada relativos à infraestrutura da via e à demanda de tráfego, incluindo:

- Tipo de pista (simples ou múltiplas faixas);
- Classe da rodovia;
- Largura das faixas de rolamento;
- Largura dos acostamentos;
- Densidades de acessos;
- Velocidade de fluxo livre (FFS);
- Tipo da região (urbana ou rural);
- Tipo de terreno (plano, ondulado ou montanhoso);
- Porcentagem de zonas de ultrapassagem proibidas (em pista simples);
- Volume Diário Médio Anual (VMDA);
- Distribuição direcional de tráfego;

- Fator da hora de projeto (k);
- Fator de Hora Pico (FHP).

3.3 Microssimulação – *Software TransModeler*

O *software* escolhido para realizar as análises neste estudo foi o *TransModeler*, desenvolvido pela empresa *Caliper Corporation* nos Estados Unidos da América (EUA). Trata-se de um *software* pago, contudo, destaca-se por sua presença de recursos avançados, incluindo suporte para Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS), e sua linguagem de abordagem para cálculos e geração de relatórios é baseada no HCM 6ª Edição (CALIPER CORPORATION, 2023).

Em relação a dimensão da rede, o *TransModeler* opera no modo híbrido, permitindo a realização de modelos tanto macroscópicos quanto microscópicos. Quanto à representação geométrica, o *software* oferece representações em 2 ou 3 dimensões, destacando-se por seu elevado nível de detalhamento na escala microscópica (CALIPER CORPORATION, 2023).

De acordo com a *Caliper Corporation* (2023), no que diz respeito à representação do tráfego, o *TransModeler* possibilita uma variedade de simulações, abrangendo desde redes urbanas até autoestradas/rodovias mistas, sendo aplicável a áreas geográficas específicas, como centro urbanos, corredores rodoviários, circuitos e redes circulares. No critério operação de tráfego, o *software* permite análises multimodais, atendendo o tráfego privado, transporte público (ônibus e ferrovias), semáforos, estacionamento, pedágios e outras variáveis de um sistema de transporte.

Segundo *Caliper Corporation* (2023), em relação ao controle de tráfego, o *TransModeler* oferece a possibilidade de controle semaforico para intervalos pré-determinados, assim como o uso de semáforos atuados. Além disso, permite análises do uso de velocidade variável no sistema, incorporação de mensagens eletrônicas e implementações de restrições de tráfego.

No que se refere ao *output* do modelo, o *TransModeler* apresenta resultados abrangentes, como a visualização precisa das filas formadas, os níveis de serviço, mapas de fluxo/refluxo e monitoramento detalhado do transporte público dentro da simulação. O *software* gera relatórios e resultados em formatos diversos, incluindo gráficos, histogramas, mapas temáticos e análises estatísticas (CALIPER CORPORATION, 2023).

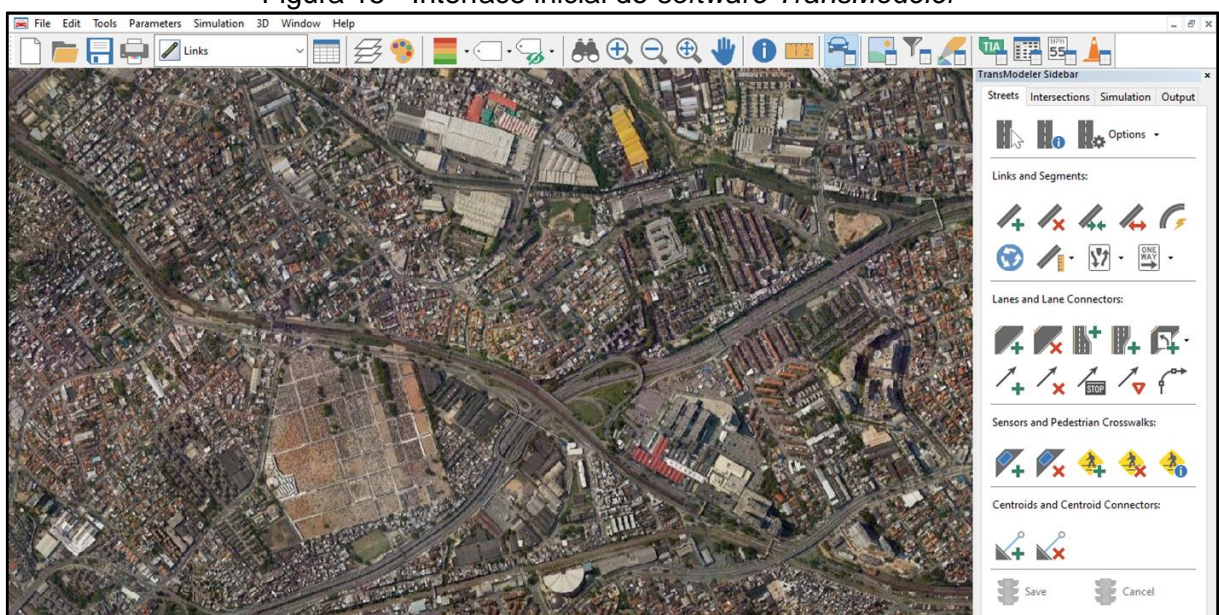
Para avaliar o tempo de atraso dos veículos e da formação de filas nas interseções, levando em consideração a infraestrutura viária existente e o tráfego atual, foram conduzidas simulações por meio do *software* de microssimulações de tráfego *TransModeler*. Dessa forma, tornou-se possível examinar o comportamento individual de cada veículo no sistema viário abordado, permitindo a identificação de gargalos existentes e a análise do potencial formação de filas nos locais estudados.

Os cenários avaliados e comparados abrangem os seguintes anos: 2023, 2033, 2043 e 2053. Essa análise contempla as contagens de tráfego realizadas para a ano de 2023 e as projeções para os anos subsequentes. Essa abordagem temporal permite não apenas uma compreensão do estado atual do sistema viário, mas também uma visão prospectiva dos possíveis desafios e cenários futuros.

Para iniciar a simulação, é necessário inserir os dados de localização do dispositivo estudado, abrangendo a latitude, longitude, cidade, país e o tipo de mapa desejado para a simulação. Neste estudo, optou-se pelo mapa do Google Satélite, uma escolha que permite uma melhor representação visual do mundo real devido aos gráficos de imagem. A

Figura 15 exemplifica a interface inicial do *software*, utilizando o tipo de mapa Google Satélite nas simulações.

Figura 15 - Interface inicial do *software TransModeler*



Fonte: Google Earth.


Antes de elaborar a geometria do dispositivo, é necessário escolher a classe da rodovia, nesse caso, a classe I que para inserir no *software* seleciona-se a opção

categorizada como Rodovia Rural. Utilizando as ferramentas disponíveis, foi possível desenhar com precisão o traçado das interseções. O passo subsequente envolve a criação da Matriz de Origem e Destino, baseada no fluxograma dos movimentos realizados pelos veículos. Os valores do VMDA foram convertidos em unidades de carro de passeio por hora, utilizando os dados obtidos por meio da contagem volumétrica classificatória. É necessário ajustar as configurações dos veículos, considerando apenas veículos de passeio após a conversão da unidade do VMDA. O *TransModeler* oferece a opção de selecionar o comportamento dos motoristas, permitindo uma simulação fiel à realidade observada em campo. Nos dispositivos analisados, foi implementado o Controle de Tráfego, incluindo placas de “Dê a Preferência” nas vias secundárias que se conectam à via principal.

3.3.1 Simulação para os Cenários 1, 2, 3 e 4


O Cenário 1 consiste na avaliação dos dados referentes ao ano de 2023, representando a condição atual dos dispositivos. O Quadro 6 e o Quadro 7 exibem as imagens dos dispositivos 1 e 2, respectivamente, com suas seções (ou ramos) numeradas e os movimentos gerados por cada seção, incluindo os volumes de tráfego correspondentes. Os valores apresentados estão expressos em unidades de carro de passeio por hora (UCP/h).

Quadro 6 - Fluxo de veículos por movimento no Dispositivo 1

DISPOSITIVO 1	MOVIMENTOS		
	1 → 1	1 → 3	1 → 5
	23	542	210
	3 → 1	3 → 3	3 → 5
	554	21	32
	5 → 1	5 → 3	5 → 5
	190	52	6

Fonte: Empresa de Engenharia de Infraestrutura Rodoviária.

Quadro 7 - Fluxo de veículos por movimento no Dispositivo 2

DISPOSITIVO 2	MOVIMENTOS			
	1 → 1	1 → 3	1 → 5	1 → 7
	15	418	37	911
	3 → 1	3 → 3	3 → 5	3 → 7
	363	6	85	142
	5 → 1	5 → 3	5 → 5	5 → 7
	183	20	2	23
	7 → 1	7 → 3	7 → 5	7 → 7
	688	105	16	11

Fonte: Empresa de Engenharia de Infraestrutura Rodoviária.

Após seguir o procedimento descrito na seção 3.4, identificaram-se segmentos críticos em cada dispositivo, sendo designada uma letra específica para cada segmento na geometria dos dispositivos. No caso do dispositivo 1, o segmento crítico foi denominado pela letra F, enquanto no dispositivo 2, foi representado pela letra O. A Figura 16 e Figura 17 ilustram os segmentos críticos de cada dispositivo.

Figura 16 - Segmento Crítico do Dispositivo 1



Fonte: Empresa de Engenharia de Infraestrutura Rodoviária.

Figura 17 - Segmento Crítico do Dispositivo 2



Fonte: Empresa de Engenharia de Infraestrutura Rodoviária.

Para facilitar a compreensão de todos os quatro cenários simulados, o Quadro 8 resume todas as informações relevantes. É importante destacar que, para os cenários 2, 3 e 4, foram executados todos os procedimentos descritos anteriormente para o cenário 1.

Quadro 8 - Resumo dos Cenários utilizados nas simulações

CENÁRIO	DESCRIÇÃO	OBSERVAÇÃO
1	Atual	Inserção dos dados para a Matriz Origem e Destino com o VMDA de 2023.
2	Projeção para 10 anos no futuro	Inserção dos dados para a Matriz Origem e Destino, onde os volumes de tráfego foram ajustados para refletir as projeções de tráfego do VMDA de 2023 para o ano de 2034.
3	Projeção para 20 anos no futuro	Inserção dos dados para a Matriz Origem e Destino, onde os volumes de tráfego foram ajustados para refletir as projeções de tráfego do VMDA de 2023 para o ano de 2044.
4	Projeção para 30 anos no futuro	Inserção dos dados para a Matriz Origem e Destino, onde os volumes de tráfego foram ajustados para refletir as projeções de tráfego do VMDA de 2023 para o ano de 2054.

Fonte: Do Autor.

4 RESULTADOS

O *TransModeler* calcula o atraso de controle conforme as definições do HCM, abrangendo a avaliação do atraso total, tempo de parada e número de paradas. O *software* inicia a medição do atraso de controle de um veículo no momento em que ele inicia a frenagem para se unir ao final de uma fila formada em um cruzamento sinalizado, cruzamento não sinalizado ou rotatória. O relatório de Nível de Serviço dos dispositivos analisados, é com base no Atraso Médio de Controle (s/veíc.), apresentado na Tabela 6, sendo esse parâmetro crucial para a determinação do Nível de Serviço final.

Tabela 6 - Nível de Serviço em Interseções não Sinalizadas

Nível de Serviço	Atraso Médio de Controle (s/veíc.)
A	< 10
B	< 10 - 15
C	< 15 - 25
D	< 25 - 35
E	< 35 - 50
F	> 50

Fonte: Empresa de Engenharia de Infraestrutura Rodoviária.

O atraso de controle refere-se essencialmente ao tempo necessário para que o tráfego não prioritário entre na interseção, uma vez que, teoricamente, o fluxo principal não sofre retardamento devido à interseção. O comprimento de brechas representa os intervalos de tempo disponíveis para o fluxo secundário realizar manobras e entrar na interseção.

À medida que o comprimento médio das brechas diminui com o aumento do fluxo principal, o atraso médio do tráfego não prioritário tende a aumentar. O tempo necessário para completar a manobra depende de diversos fatores, como o tipo de manobra, as características físicas da interseção (como raio de giro e distância de visibilidade) e a velocidade de aproximação do tráfego não prioritário. Isso aumenta a probabilidade de os usuários assumirem riscos, como realizar manobras em momentos críticos, o que pode ter sérias implicações para a segurança do tráfego.

Na Tabela 7, são apresentados os resultados do relatório de Nível de Serviço gerados pelo *software* para o cenário atual, correspondente ao ano de 2023, de cada

dispositivo analisado. É apresentado o número de veículos total advindo do fluxograma apresentado no item 3.3.1, que é resultado do cálculo do VMDA para o ano de 2023, bem como o atraso de controle total em unidade de horas, onde o Dispositivo 2 apresenta o maior atraso com 7,5 horas e também o maior número de veículos com 2.471 veículos.

Apesar do Dispositivo 2 apresentar o maior atraso total e maior número de veículos, o seu atraso médio de controle em unidades de segundos por veículos (seg/veíc) é menor do que o Dispositivo 1. Isso é explicado devido ao seu alto fluxo de veículos que, apesar de possuir o maior atraso total, distribui esse atraso entre todos os veículos inseridos na interseção do tipo trevo completo, que possui uma maior dinâmica que facilita nas manobras realizadas pelos condutores do fluxo secundário. Conforme DNIT (2005), o trevo completo é uma interconexão que possui quatro quadrantes, onde os movimentos de conversão à esquerda são feitos por laços (loops) e à direita por conexões externas aos laços.

De acordo com o atraso médio de controle, é possível concluir o nível de serviço utilizando a Tabela 6. Para o Dispositivo 1, o valor foi de 16,4 seg/veíc, indicando um NS C, o que implica que os motoristas do fluxo secundário precisam lidar com um grande volume de veículos da corrente principal. Já para o Dispositivo 2, o atraso médio foi 10,9 seg/veíc, indicando um NS B.

Além disso, são indicados o comprimento médio da fila formada no segmento crítico de cada dispositivo, resultantes dos movimentos não prioritários. O Dispositivo 2 registrou o maior comprimento médio de fila, com 5,6 metros, em comparação com os 3,4 metros do Dispositivo 1. Isso justifica o NS C atribuído ao Dispositivo 1, caracterizado pelo início da formação de retenções de veículos, porém sem grande extensão ou duração.

Tabela 7 - Relatório de Nível de Serviço para o Cenário Atual 2023.

Dispositivo	Nº de veículos	Atraso de Controle Total (h)	Atraso Médio de Controle (seg/veíc.)	NS	Comp. médio da fila (m)	Tipo de Controle
1	1.319	6,0	16,4	C	3,4	Rotatória vazada
2	2.471	7,5	10,9	B	5,6	Trevo completo

Fonte: Do Autor, com dados de Empresa de Engenharia de Infraestrutura Rodoviária.

A Tabela 8 expõe os resultados do relatório de Nível de Serviço gerado pelo *TransModeler* para os cenários de projeção para os anos de 2034, 2044 e 2054. Os valores utilizados para o número de veículos foram os valores para a matriz Origem-Destino projetados para os anos futuros, fornecidos pela Empresa de Engenharia de Infraestrutura Rodoviária.

O Dispositivo 1 apresentou os menores valores para o atraso de controle total em todos os cenários analisados, variando de 8,8 horas a 11,2 horas, em comparação com o Dispositivo 2 que apresentou valores de 9,5 horas a 17,3 horas. Por outro lado, para o atraso médio total, o Dispositivo 1 registrou os maiores valores em todos os cenários em comparação com Dispositivo 2, resultando em níveis de serviço mais altos para o Dispositivo 1.

Para o Dispositivo 1, os níveis de serviço foram classificados como NS C para o ano de projeção 2034 e NS D para os anos de projeção 2044 e 2054. Isso indica que a maioria dos motoristas do fluxo secundário são forçados a efetuar paradas frequentes, resultando em perda de tempo perceptível.

Já o Dispositivo 2 registrou NS B para os anos de projeção 2034 e 2044, sugerindo que a capacidade de deslocamento dos veículos da corrente secundária é impactada pelo fluxo prioritário, mas os tempos de espera são mínimos. Para o ano de projeção 2054, apresentou um NS C.

Tabela 8 - Nível de Serviço para os Cenários de projeção nos anos 2034, 2044 e 2054

ANO DE PROJEÇÃO 2034					
Dispositivo	Nº de veículos	Atraso de Controle Total (h)	Atraso Médio de Controle (seg/veíc.)	NS	Tipo de Controle
1	1.434	8,8	22,1	C	Rotatória vazada
2	3.078	9,5	11,1	B	Trevo completo
ANO DE PROJEÇÃO 2044					
Dispositivo	Nº de veículos	Atraso de Controle Total (h)	Atraso Médio de Controle (seg/veíc.)	NS	Tipo de Controle
1	1.509	10,6	25,3	D	Rotatória vazada
2	3.510	12,1	12,4	B	Trevo completo
ANO DE PROJEÇÃO 2054					
Dispositivo	Nº de veículos	Atraso de Controle Total (h)	Atraso Médio de Controle (seg/veíc.)	NS	Tipo de Controle
1	1.548	11,2	26,0	D	Rotatória vazada
2	3.832	17,3	16,3	C	Trevo completo

Fonte: Do Autor, com dados de Empresa de Engenharia de Infraestrutura Rodoviária.

Os relatórios gerados fornecem outras informações para além das necessárias para o Nível de Serviço, como a velocidade média em quilômetros por hora (km/h) que os veículos praticam na interseção durante a simulação. A Tabela 9 apresenta as velocidades médias para cada cenário. Observa-se que, à medida que avançam os anos de projeção futura, a velocidade diminui, ao passo que os níveis de serviço se deterioram. Esses resultados sugerem uma relação entre a redução da velocidade e a possível formação de retenções de veículos nas interseções. Quanto maiores as retenções, mais extensas são as filas, o que conseqüentemente impacta negativamente o nível de serviço.

Tabela 9 - Velocidade Média para os Cenários no ano de 2023, 2034, 2044 e 2054

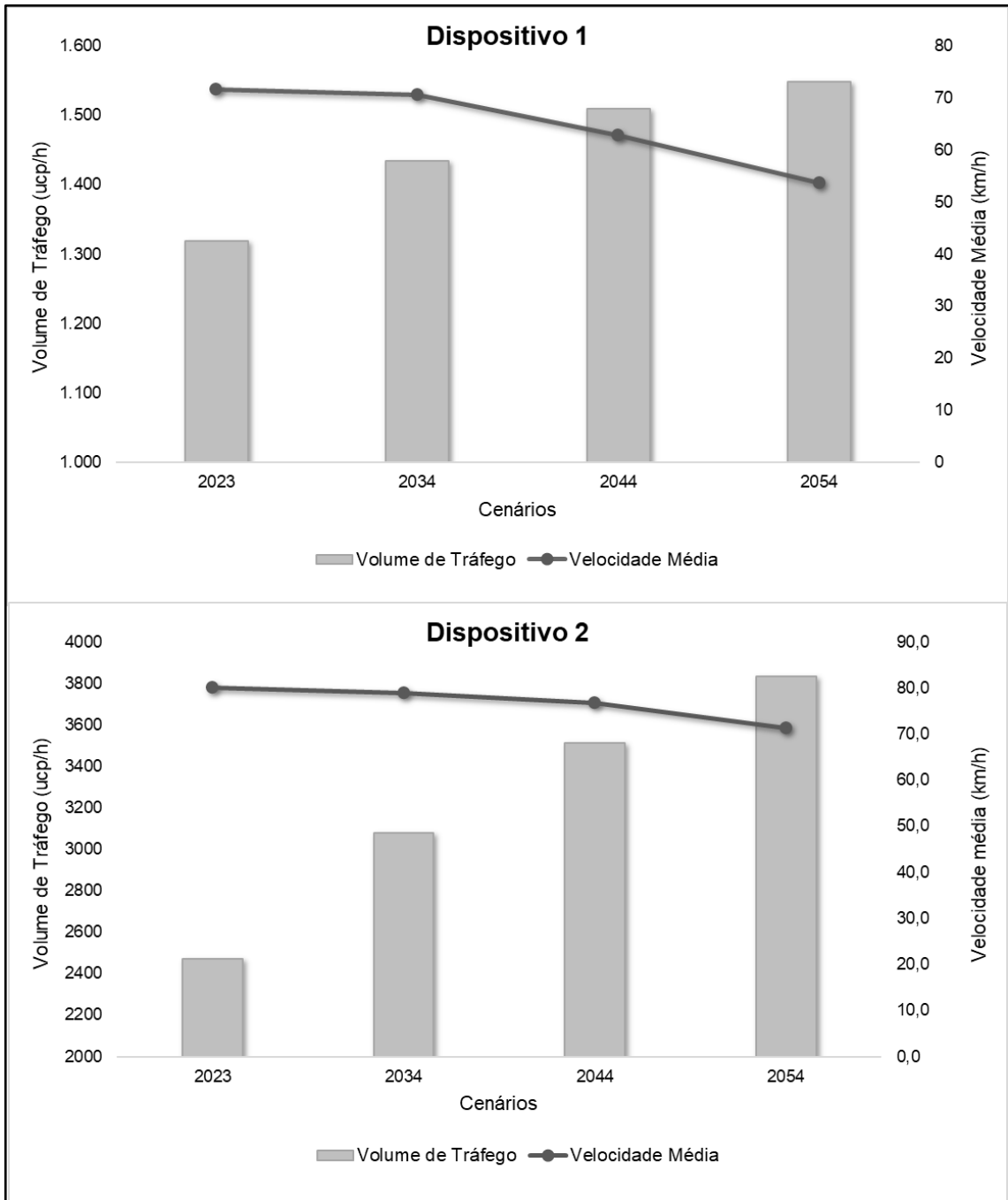
VELOCIDADE MÉDIA (km/h)				
Dispositivo	Cenários			
	2023	2034	2044	2054
1	71,6	70,6	62,8	53,6
2	80,0	78,8	76,8	71,2

Fonte: Do Autor, com dados de Empresa de Engenharia de Infraestrutura Rodoviária.

Além disso, conforme discutido anteriormente, os resultados estão condizentes com as conclusões da literatura, como mencionado por Demarchi (2000): À medida que o volume de tráfego se aproxima ou excede a capacidade viária, os níveis de serviço começam a degradar, resultando em atrasos, redução da velocidade média e menor eficiência operacional.

Embora o software adote uma abordagem conservadora em sua análise, levando a níveis de serviço relativamente elevados para interseções com volume de tráfego não tão intenso, observa-se que, à medida que o volume de tráfego aumenta em cada cenário analisado para cada dispositivo, aproxima-se ou excede a capacidade da interseção, resultando na degradação dos níveis de serviço e na redução da velocidade média. A Figura 18 ilustra uma relação inversamente proporcional entre o volume de tráfego e a velocidade média para os dispositivos 1 e 2, respectivamente.

Figura 18 - Relação entre Volume de Tráfego e Velocidade Média



Fonte: Do Autor, com dados de Empresa de Engenharia de Infraestrutura Rodoviária.

Ademais, é importante considerar que a situação simulada não representa necessariamente eventos que ocorrem diariamente ao longo de todos os dias, 24 horas por dia, durante o ano inteiro.

5 CONCLUSÃO

O estudo apresentado concentrou-se na simulação das condições de tráfego em duas interseções, enfatizando a metodologia de níveis de serviço e valores de atraso médio, ambos abordados pelo HCM 2010 e determinados pelo *software* de microsimulações *TransModeler*. Os resultados obtidos nas simulações revelaram que, no cenário atual, o Dispositivo 1 apresenta um Nível de Serviço C, indicando uma movimentação de veículo estável. No entanto, a velocidade e a capacidade de realizar manobras são condicionadas pelo restante do tráfego. Por outro lado, o Dispositivo 2 exibe um Nível de Serviço B, representando uma situação estável onde não ocorrem mudanças bruscas na velocidade, embora esta seja gradualmente condicionada por outros veículos. Os condutores conseguem manter velocidades de serviço razoáveis, optando geralmente pela faixa de tráfego em que circulam.

Além do cenário padrão, o programa simulou três cenários adicionais com projeções de tráfego para o futuro. Para o Dispositivo 1, o Nível de Serviço permaneceu inalterado em comparação com o cenário atual no Cenário 2, mas nos Cenários 3 e 4, houve uma deterioração do Nível de Serviço de C para D, devido ao aumento do número de veículos resultante da projeção do VMDA. Isso indica uma situação em que o tráfego começa a ficar instável. Em relação ao Dispositivo 2, o Nível de Serviço manteve-se semelhante ao do cenário atual nos Cenários 2 e 3, mas no Cenário 4, houve uma degradação no Nível de Serviço de B para C. Observa-se que as interseções em níveis diferentes, como no caso do Dispositivo 2, apresentam uma capacidade viária superior às interseções em nível, como indicado pelo Dispositivo 1.

Portanto, fica evidente que o uso de simuladores de tráfego é fundamental para analisar as condições de tráfego, possibilitando o diagnóstico mais ágil das demandas por ampliação de capacidade e melhorias nas vias rodoviárias. Segundo o Manual de Projeto de Interseções (DNIT, 2005), o Nível de Serviço de cada ramo da interseção e da rótula como um todo devem ser no máximo D, para as rodovias secundárias pode-se admitir até o nível E e, se não se atender essas condições deve-se optar por outra solução. A análise de outras medidas de Engenharia de Tráfego é indispensável para a proposição de um novo projeto que melhore o Nível de Serviço.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

- Avaliar uma nova configuração geométrica do tipo rótula para o Dispositivo 1, com o objetivo de aumentar sua capacidade e, conseqüentemente, melhorar seu Nível de Serviço.
- Comparar os resultados do Dispositivo 1 entre a configuração geométrica atual (rótula vazada) e uma nova configuração (rótula).
- Realizar análises comparativas dos resultados para ambos os dispositivos utilizando outros *softwares* de microsimulação.

REFERÊNCIAS

ALVES, Eliezero F. R.; MELLO, Miguel Â. D. S. Estudo Rodoviário da interseção localizada no entroncamento da Rodovia SC 355 km 47 + 630 e o acesso ao loteamento Luiz Domingos. **IGNIS Arquitetura e Urbanismo Engenharias e Tecnologia de Informação**, Videira, v. 10, n. 01, 2021. Disponível em: <https://periodicos.uniarp.edu.br/index.php/ignis/article/view/2704>.

CALIPER CORPORATION. TransModeler - Traffic Simulation Software. **Caliper**, 2023. Disponível em: <https://www.caliper.com/transmodeler/default.htm>. Acesso em: 2023.

CNT. **Pesquisa CNT de Rodovias 2023**. Confederação Nacional do Transporte. Brasília. 2023.

COELHO, Eduardo C. **Avaliação dos Níveis de Congestionamento em Vias Arteriais com a Utilização da Micro-Simulação**. Universidade do Rio de Janeiro - UFRJ. Rio de Janeiro. 2009.

COSTA, João B. D. **Mini rotatórias: Contribuições na Redução de Conflitos em Interseções Urbanas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco. Recife. 2010.

DEMARCHI, Sergio H. **Influência dos veículos pesados na capacidade e nível de serviço de rodovias de pista dupla**. Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos. São Paulo. 2000.

DEMARCHI, Sergio H.; SETTI, José Reynaldo. Determinação da Capacidade e Nível de Serviço em Interseções Rodoviárias Através de Simulação. **Transportes**, 5, n. 2, 24 abr. 1997. Disponível em: <https://www.revistatransportes.org.br/anpet/article/view/280>.

DNIT. **Manual de Projeto de Interseções**. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. Rio de Janeiro, p. 528. 2005. (Publicação IPR-718).

DNIT. **Manual de Estudos de Tráfego**. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, p. 384. 2006.

FERRAZ, Antônio C. P.". *et al.* **Segurança Viária**. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, p. 325. 2012.

MIYAGI, Paulo E. **Introdução a Simulação Discreta**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2006.

OLIVEIRA, Gideão M. D. *et al.* **PROJETO GEOMÉTRICO DE INTERSEÇÃO EM RÓTULA: Estudo de caso do entroncamento da ES-010 com a ES-257.** Faculdade Capixaba da Serra. Serra, p. 80. 2015.

OMS. **Global status report on road safety 2023.** Organização Mundial de Saúde, OMS. [S.l.]. 2023.

ORTOLANI, Giseli A. **Comparação do Desempenho de Dispositivos de Interseções Rodoviárias em Nível Utilizando o Simulador Integration.** Universidade de São Paulo - USP. São Carlos, p. 113. 2003.

PORTUGAL, Licínio D. S. **Simulação de Tráfego: conceitos e técnicas de modelagem.** 1ª. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2005.

SILVA, Romerson S.; PINTO, Welton T. **Análise de uma Interseção Rodoviária por meio de Simulação de Tráfego: Estudo de Caso da Interseção Tancredo Neves x Sete de Setembro em Tucuruí-PA.** Universidade Federal do Pará. Tucuruí, p. 114. 2017.

SNV. **Sistema Nacional de Viação.** Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. [S.l.]. 2011 a 2023.

TRB. **Transit Capacity and Quality of Service Manual (TCQSM).** 3ª. ed. [S.l.]: Transportation Research Board, 2000.

TRB. **Highway Capacity Manual - HCM 2010.** Transportation Research Board. [S.l.], p. 1155. 2010.