



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
ENGENHARIA CIVIL

EDSON RODRIGUES DA SILVA JÚNIOR

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS VEÍCULOS DE PROJETO EM
MICROSSIMULAÇÃO DE TRÁFEGO**

SÃO LUÍS - MA

2024

EDSON RODRIGUES DA SILVA JÚNIOR

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS VEÍCULOS DE PROJETO EM
MICROSSIMULAÇÃO DE TRÁFEGO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso Bacharelado em Engenharia Civil da
Universidade Federal do Maranhão, como requisito para
obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof. Dra. Ana Beatriz Pereira Segadilha
dos Santos.

Coorientador: Prof. Dr. Lyneker Souza de Moura.

São Luís - MA

2024

Ficha Catalográfica

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Júnior, Edson Rodrigues da Silva.

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS VEÍCULOS DE PROJETO EM
MICROSSIMULAÇÃO DE TRÁFEGO / Edson Rodrigues da Silva Júnior. -
2024.

24 p.

Coorientador(a) 1: Lyneker Souza de Moura.

Orientador(a): Ana Beatriz Pereira Segadilha dos Santos.

Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do
Maranhão, São Luís, Ma, 2024.

1. Ucp. 2. Simulação. 3. Tráfego. 4. . 5. . I. Moura, Lyneker Souza de. II. Santos,
Ana Beatriz Pereira Segadilha dos. III. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO

FOLHA DE APROVAÇÃO

EDSON RODRIGUES DA SILVA JÚNIOR

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS VEÍCULOS DE PROJETO EM
MICROSSIMULAÇÃO DE TRÁFEGO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do
Maranhão, como requisito para obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof.º Dra. Ana Beatriz Pereira Segadilha dos Santos
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
Universidade Federal do Maranhão

Prof.º Dr. Lyneker Souza de Moura
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
Universidade Federal de Pernambuco

Prof.º Dr. Solange Da Silva Nunes Boni
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
Universidade Federal do Maranhão

Prof.º Dr. Priscila Maria Sousa Goncalves Luz
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
Universidade Federal do Maranhão

Eu, Edson Rodrigues, dedico este trabalho com sincero agradecimento aos meus pais, Edson e Elizabeth Ramos, e às minhas irmãs, Edssiane Ramos e Eliziane Ramos. Cada palavra de incentivo e gesto de apoio foram cruciais para o meu progresso. Este trabalho é um reflexo da confiança e do carinho que sempre me ofereceram. Sou profundamente grato por sempre acreditarem em mim.

AGRADECIMENTOS

Expresso minha mais profunda gratidão ao Prof. Coorientador Lyneker Souza de Moura, cuja paciência, dedicação e constante incentivo foram absolutamente essenciais para o desenvolvimento desta monografia. Sua disposição para discutir o tema proposto e sua orientação perspicaz foram fundamentais para a realização deste trabalho. Sinto-me imensamente grato por sua orientação generosa e constante apoio.

Meu sincero e profundo agradecimento à Profa. Orientadora Ana Beatriz Pereira Segadilha dos Santos. Sua orientação cuidadosa, disponibilidade e comprometimento foram verdadeiramente inestimáveis e desempenharam um papel crucial na excelência deste trabalho.

Agradeço de coração aos meus familiares pelo apoio incondicional e incentivo contínuo ao longo desta jornada. Finalmente, aos colegas de curso, minha sincera gratidão pela colaboração e pela rica troca de ideias, que foram vitais para o sucesso desta empreitada.

RESUMO

O estudo de tráfego aliado a simulação computacional são poderosas ferramentas para melhorar a operação e circulação viária nas cidades. Os dados de entrada na simulação variam com a técnica empregada, visto que os veículos que compõem os fluxos podem ser implementados de diferentes formas, alterando características de comportamento viário. Este estudo teve como objetivo simular, utilizando o software *Simulation of Urban Mobility* (SUMO), com cenários em uma malha viária existente, verificando a comparação de veículos mistos com diferentes métodos de cálculo de Unidade de Carro de Passeio (UCP), e avaliando as diferenças na simulação para cada método a partir de gráficos. O estudo investigou o impacto da combinação de veículos diversos na dinâmica do tráfego e na infraestrutura viária. Essa abordagem verificou as disparidades entre as configurações, e evidenciou que os veículos mistos se ajustam melhor à realidade. Os resultados indicaram que a escolha do método de cálculo pode impactar de forma significativa a análise de tráfego, afetando a eficácia das decisões no planejamento viário. Os métodos de UCP do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), Instituto Municipal de Mobilidade Urbana (IMMU), ANDRADE, *Highway Capacity Manual* (HCM) e *Australian Road Research Board* (ARRB) se destacaram pela aproximação ao método de veículos mistos.

Palavras-Chave: UCP; Simulação; Tráfego.

ABSTRACT

Traffic studies combined with computational simulation are powerful tools for improving road operation and circulation in cities. The input data in simulations vary depending on the employed technique, as the vehicles that compose traffic flows can be implemented in different ways, altering road behavior characteristics. This study aimed to simulate, using the Simulation of Urban Mobility (SUMO) software, scenarios on an existing road network, comparing mixed vehicles with different methods of calculating Passenger Car Units (PCU), and evaluating the simulation differences for each method through graphs. The study investigated the impact of the combination of various vehicles on traffic dynamics and road infrastructure. This approach examined the disparities between configurations and showed that mixed vehicles align more closely with reality. The results indicated that the choice of calculation method can significantly impact traffic analysis, affecting the effectiveness of decisions in road planning. The PCU methods from the National Department of Transport Infrastructure (DNIT), the Municipal Institute of Urban Mobility (IMMU), ANDRADE, the Highway Capacity Manual (HCM), and the Australian Road Research Board (ARRB) stood out for their approximation to the mixed vehicle method.

Keywords: PCU; Simulation; Traffic.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Foto do local de estudo.....	13
Figura 2 – Mapa com os fluxos do local de estudo.....	14
Figura 3 – Simulação com veículos mistos.....	18

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Comparação dos métodos de UCP e dados in loco do fluxo C.....	19
Gráfico 2 – Comparação dos métodos de UCP e misto no trecho analisado	20

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Fatores de conversão para cada tipo de veículo por método.....	11
Tabela 2 – Média da contagem de veículos mistos do local estudado.....	15
Tabela 3 – Unidades de Carro de Passeio dos fluxos para cada método.....	16
Tabela 4 – Tabela resumo contendo as médias dos tempos de viagem e de tempo perdido...	21

LISTA DE SIGLAS

ARRB - *Australian Road Research Board*

CCG - *Canadian Capacity Guide*

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

HCM - Highway Capacity Manual

IMMU - Instituto Municipal de Mobilidade Urbana

MA - Maranhão (estado brasileiro)

SUMO - *Simulation of Urban Mobility*

UCP - Unidade de Carro de Passeio

SUMÁRIO

1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	10
2. ESTUDO DE CASO.....	13
2.1. LEVANTAMENTO DE DADOS.....	14
2.2. MÉTODOS DE UCP.....	16
3. MICROSIMULAÇÃO DE TRÁFEGO.....	18
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	22
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	23

1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A mobilidade urbana no Brasil enfrenta grandes desafios devido ao aumento de congestionamentos causados pelo crescimento do número de veículos nas vias urbanas, levando a adaptações na infraestrutura viária (Pais, 2022). Segundo o Manual de Estudo do Tráfego do DNIT (2006), intervenções para otimização do tráfego devem considerar fatores como número de veículos, velocidade, interações mútuas e locais propensos a acidentes.

O DNIT define os "veículos de projeto" como referência para os padrões de rodovias e interseções (DNIT, 2006). Para avaliar a capacidade viária, o DNIT recomenda converter esses veículos em Unidade de Carro de Passeio (UCP), expressando um efeito semelhante ao de motocicletas, triciclos motorizados e veículos pesados, no tráfego heterogêneo em termos equivalentes a carros de passeio (Teply e Jones, 1991).

A utilização da UCP em simulações de estudos de tráfego é uma prática amplamente adotada devido a várias razões que visam facilitar a análise e o planejamento do tráfego. O fator de conversão UCP é um importante aliado para uniformizar os diversos tipos de veículos. Esse fator de equivalência representa a medida do impacto que um modo de transporte exerce sobre as variáveis de tráfego, como intervalo, velocidade e densidade, em comparação com um único veículo de passageiros convencional (Shalini e Kumar, 2014).

Quando se trata de uma única abordagem, a vantagem de trabalhar em UCP é que, considerando que o único fator alterado é a composição do tráfego, é possível reverter a conversão. Isso significa que, a partir de levantamentos realizados sob qualquer composição de tráfego em um determinado local, é possível obter o valor em unidades de veículos do fluxo de saturação¹, restabelecendo a relação original entre os diferentes tipos de veículos e o fluxo de carros de passeio (Luna, 2003). Na tabela 1 estão diferentes fatores de conversão de veículos presentes na literatura de cada método abordado.

¹ Taxa máxima de veículos que podem passar por um ponto específico de uma via durante um período de tempo, geralmente medido em veículos por hora. Esse fluxo é alcançado quando a via está operando em sua capacidade máxima, sem interrupções ou congestionamentos (Ashtiani, 2013).

Tabela 1 – Fatores de conversão para cada tipo de veículo por método

MÉTODO	CARRO DE PASSEIO	CAMINHÃO LEVE	CAMINHÃO PESADO	ÔNIBUS	MOTOCICLETA
CCG (1991) ¹	1	1,5	2,5	1,75	0,5
HCM (1991) ¹	1	2	2	2	1
ARRB (1991) ¹	1	2	2	2	1
ANDRADE (1984) ²	1	1,36	2,01	NE: 1,46 SE: 1,72	0,46
S. CARLOS (1994) ³	1	1,4	2,2	1,8	0,4
DNIT (2006) ⁴	1	2	2	1,5	1
IMMU (2022) ⁵	1	2	4	2	0,5
TARKO E TRACZ (2000) ⁶	1	1,6	2,3	1,6	1

*NE = Ônibus de 2 eixos. SE = Ônibus articulado.

Fonte: Adaptado de Teply e Jones (1991)¹, Andrade (1984)², Setti e Barbuto (1994)³, DNIT (2006)⁴, Maia (2022)⁵ e Tarko e Tracz (2000)⁶.

A tabela 1 mostra que vários pesquisadores estudaram as variações nos fatores de equivalência, considerando diferentes condições de tráfego e características locais. Esses estudos resultaram na identificação de vários fatores de equivalência para um mesmo tipo de veículo. O objetivo desses fatores é converter diferentes tipos de veículos em carros de passeio.

Os métodos de cálculo de fluxo de saturação e conversão para UCP variam consideravelmente em função do contexto em que são aplicados. O CCG e o HCM são amplamente utilizados em países desenvolvidos, com foco em interseções sinalizadas. O CCG considera o fluxo de saturação desde o início do verde e ajusta fatores como condições climáticas e interferências externas, enquanto o HCM ignora os primeiros veículos e mede a partir do quarto carro, utilizando fatores de ajuste para veículos pesados. O ARRB, similar ao HCM, exclui os primeiros 10 segundos do ciclo verde, concentrando-se no fluxo estável após o início do movimento dos veículos (Teply e Jones, 1991).

Em comparação, os métodos Andrade (1984) e S. Carlos (1994) se voltam especificamente para a realidade brasileira. O método de Andrade, aplicado em rodovias, incorpora o impacto das ultrapassagens no cálculo da capacidade e adapta a conversão em UCP ao comportamento dos motoristas brasileiros (Andrade, 1984). Enquanto, o S. Carlos foca no tráfego urbano de cidades médias, ajustando os fatores de equivalência para refletir a interferência de semáforos e cruzamentos, além de considerar o impacto de veículos pesados no fluxo (Setti e Barbuto, 1994).

Por outro lado, métodos mais recentes, como o do DNIT (2006), IMMU (2022), e Tarko e Tracz (2000), introduzem novas dimensões. O DNIT adapta sua análise para rodovias brasileiras, considerando fatores como pavimentação e tráfego misto (DNIT, 2006). O IMMU

utiliza tecnologias modernas, como inteligência artificial e sensores, para realizar simulações detalhadas de diferentes cenários de tráfego (Maia, 2022). Por sua vez, o Tarko e Tracz, combinando influências europeias e norte-americanas, destacam-se por enfatizar a segurança e a análise de trechos críticos, ajustando os fatores de conversão em UCP de acordo com o risco de acidentes e a complexidade das vias (Tarko e Tracz, 2000).

Partindo desta perspectiva, os modelos de simulação de tráfego variam conforme a fidelidade com que representam a realidade e replicam o comportamento dos veículos (Brambila, 2008). Hallmann (2011) destaca que o uso de softwares é a melhor maneira de lidar com a complexidade dos sistemas de transporte. A utilização da microssimulação vem sendo bastante difundida nas últimas décadas como ferramenta de análise do desempenho operacional de sistemas de transporte com grande sucesso (Cunto e Saccomano, 2010). A análise da influência dos veículos de projeto na microssimulação de tráfego é essencial para o planejamento urbano e a gestão do tráfego. Essa técnica é uma importante ferramenta que permite avaliar o comportamento individual dos veículos na rede viária, considerando uma variedade de fatores, incluindo as características do trecho viário, tais como: veículo, sinalização, infraestrutura, entre outros (DNIT, 2006).

Dentre os diversos simuladores, o SUMO se destaca como uma solução eficaz para investigar estratégias em um ambiente virtual (Behrisch, 2011). O SUMO é excelente no auxílio do desenvolvimento de soluções para desafios urbanos, oferecendo uma plataforma flexível e gratuita para estudos e experimentos em cenários realistas de tráfego (Behrisch, 2011).

Este estudo tem como objetivo geral analisar o impacto da combinação de diferentes tipos de veículos na dinâmica do tráfego e na infraestrutura viária. Dessa forma, são simulados cenários em uma malha viária utilizando o software SUMO, comparando veículos mistos com diferentes métodos de cálculo de UCP e avaliando, de forma quantitativa, as diferenças de simulação entre os métodos por meio de gráficos.

2. ESTUDO DE CASO

Para o presente trabalho, a escolha das características de entrada do algoritmo, foram utilizados dados obtidos *in loco*. Estes dados são a contagem volumétrica de veículos e seus tipos de acordo com diferentes métodos de conversão, com período de duração da contagem de 1h. O estudo de caso foi utilizado para obter dados reais de um trecho específico. No entanto, poderia ter sido realizado em outro local ou com dados arbitrados. A intenção foi verificar quais dos fatores se ajustam melhor aos veículos mistos em relação à realidade.

A área de estudo compreende a interseção da MA – 201 e a MA – 202 em São Luís – MA, nas coordenadas 2°33'08"S 44°12'47"W. O ponto estratégico não possui semáforos, é caracterizado por conversão livre para esquerda e para a direita da via. É comum nesse trecho viário, caminhões e ônibus circularem durante todo o dia, por se tratar de uma rodovia estadual que interliga a cidade de São Luís com outros municípios. Na figura 1 estão presentes as características do local analisado.

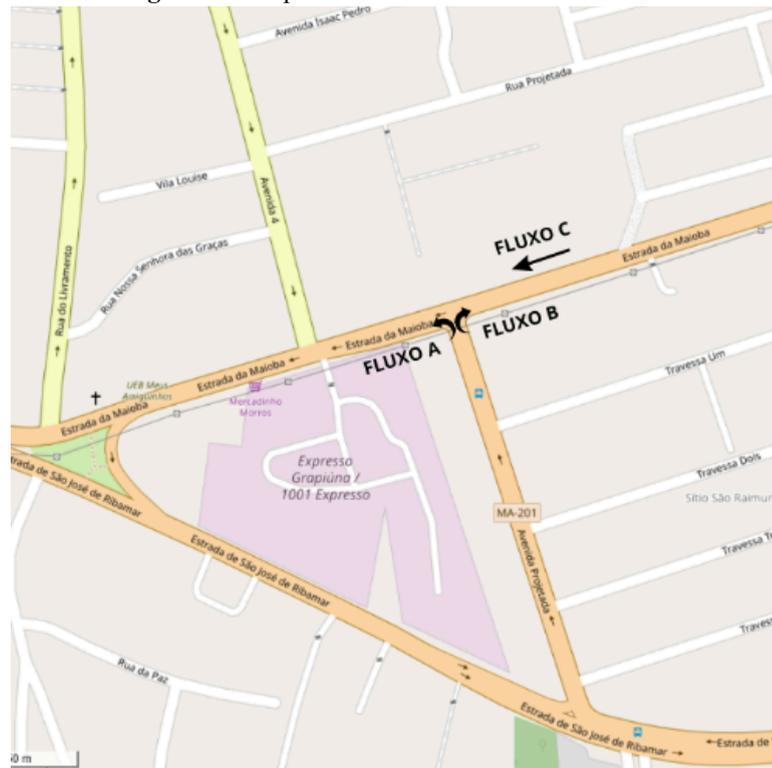
Figura 1 – Foto do local de estudo



Fonte: Autor, 2024.

A interseção permite a distribuição de 3 (três) vias e 3 (três) movimentos, os quais são ilustrados de forma detalhada nos fluxos apresentados na figura 2.

Figura 2 – Mapa com os fluxos do local de estudo



Fonte: Autor, 2024.

As simulações utilizaram como base os valores do tempo de viagem² do fluxo C, uma vez que este apresenta características homogêneas de velocidade para os veículos de passeio ao longo de toda a extensão da MA-202. Em contraste, os fluxos A e B exibem variações nas velocidades dos veículos devido ao comportamento dos condutores nas conversões, tornando-os menos consistentes para análise.

Para o trecho escolhido, foi adotada a extensão de 370 m (fluxo C), em que os veículos devem trafegar com o limite de velocidade de 40 km/h. No SUMO, este valor é convertido para 11,11 m/s. Ao utilizar a extensão adotada e a velocidade limite da via, obtém-se uma duração de viagem de 33,3 s para cada UCP, que se torna o tempo de viagem ideal para as características fornecidas. As larguras das vias compreendem 3,10 m para cada faixa da MA – 201 (Avenida Projetada) e 4,20 m para cada faixa da MA – 202 (Estrada da Maioba).

2.1. LEVANTAMENTO DE DADOS

O levantamento de dados ocorreu “*in loco*” nos dias 23 e 30 de abril de 2024, em duas terças-feiras entre às 18h15 e 19h15. A escolha das terças-feiras foi baseada no fato de que

² Período de tempo durante o qual o veículo percorre um determinado trecho de via, incluindo os tempos de parada (DNIT, 2006).

este é o segundo dia útil da semana, quando normalmente há um maior movimento de veículos, uma vez que as pessoas tendem a frequentar mais esse ponto devido às suas rotinas diárias. Embora pudesse ter sido realizada uma sequência de dias úteis, optou-se por manter o padrão de duas terças-feiras em semanas diferentes, para garantir a consistência no comportamento dos usuários naquele ponto.

A contagem de veículos foi efetuada sem intervalos, durante quatro tempos de 15 minutos, utilizando o aplicativo *Traffic Counter* que auxiliou na coleta do número de veículos mistos durante. Devido à presença de três fluxos distintos no local, foi necessária a participação de três operadores para a contagem simultânea. Além da contagem de veículos, foi realizada a aferição do tempo de viagem *in loco* no trecho de 370 m no fluxo C, utilizando um carro de passeio como referência, com um tempo aferido de 50,04 segundos.

Os dados coletados foram organizados em uma planilha no Excel para análise e controle, permitindo o cálculo da média de veículos que transitavam pelo local nos dois dias de observação. Essa metodologia garantiu uma amostragem representativa do tráfego em cada fluxo (A, B e C). A tabela 2 apresenta a média dos dados obtidos durante os dias de levantamento.

Tabela 2 – Média da contagem de veículos mistos do local estudado

	MOTO	CARRO	ÔNIBUS	CAMINHÃO LEVE	CAMINHÃO PESADO	VANS
FLUXO A	751	726	46	16	11	18
FLUXO B	204	416	10	10	6	7
FLUXO C	401	508	22	13	9	13

Fonte: Autor, 2024.

A tabela 2 apresenta a média da contagem de veículos mistos em três fluxos diferentes (A, B e C) no local estudado, calculada a partir dos dados coletados nos dois dias de levantamento. Observa-se que o fluxo A é o mais movimentado, com a maior quantidade de motos (751) e carros (726), o que indica uma alta densidade de tráfego nesse corredor em comparação aos fluxos B e C. Além disso, o fluxo A também lidera em termos de contagem de ônibus, caminhões leves, caminhões pesados e vans, evidenciando sua importância no contexto viário da área estudada.

Os fluxos B e C apresentam uma quantidade significativamente menor de veículos, com o fluxo C se destacando levemente em relação ao B na contagem de motos e carros. A

presença de ônibus, caminhões leves e pesados, e vans é relativamente uniforme entre esses fluxos, mas em menores quantidades em comparação ao fluxo A.

2.2. MÉTODOS DE UCP

A partir dos dados coletados *in loco* e com as médias para cada fluxo, obteve-se o valor total de UCP para cada método, utilizando os fatores de conversão sugeridos pelos pesquisadores demonstrados na tabela 1. Esses fatores permitem padronizar a contagem de diferentes veículos em uma unidade comum, facilitando a comparação do impacto de cada tipo de veículo no tráfego total. A tabela 3 apresenta os valores convertidos para cada método e seus respectivos fluxos a partir das médias apresentadas na tabela 2.

Tabela 3 – Unidades de Carro de Passeio dos fluxos para cada método

	DNIT	IMMU	S. CARLOS	ANDRADE	HCM/ARRB	CCG	TARKO E TRACZ
UCP – FLUXO A	1622	1307	1201	1224	1659	1276	1628
UCP – FLUXO B	677	596	568	575	686	586	580
UCP – FLUXO C	1002	844	784	796	1023	822	1009

Fonte: Autor, 2024.

A Tabela 3 apresenta os cálculos de UCP para três diferentes fluxos de veículos (A, B e C) utilizando sete métodos distintos: DNIT, IMMU, S. Carlos, Andrade, HCM e ARRB, CCG, e Tarko e Tracz. Cada um desses métodos aplica critérios específicos para calcular o impacto dos veículos no tráfego, resultando em diferentes valores de UCP para os mesmos fluxos. Esses valores permitem uma análise comparativa da carga viária em termos de UCP, uma métrica padronizada que facilita a avaliação do impacto dos diferentes tipos de veículos.

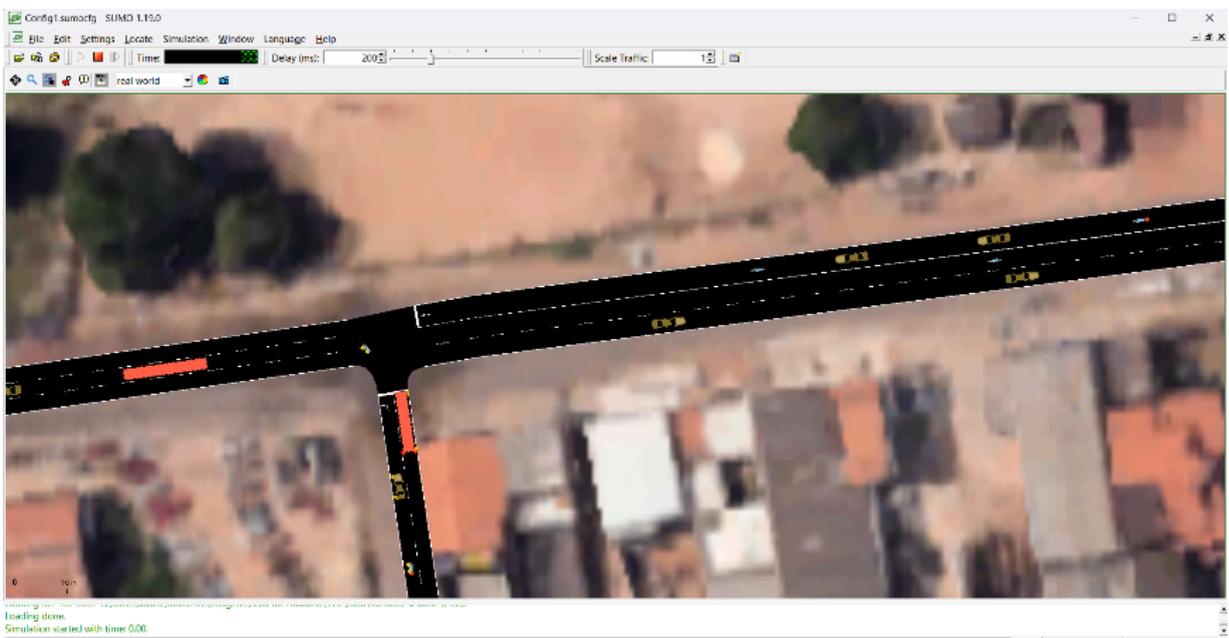
Para o Fluxo A, que apresenta o maior volume de tráfego, os valores de UCP variam significativamente entre os métodos, variando de 1201 (S. Carlos) a 1659 (HCM e ARRB). Isso indica que, independentemente do método utilizado, o fluxo A é o mais congestionado, mas a percepção da severidade desse congestionamento pode variar dependendo do método escolhido. No caso do Fluxo B, os valores de UCP são menores, refletindo um volume de tráfego inferior, com variações de 568 (S. Carlos) a 686 (HCM e ARRB). O Fluxo C, que apresenta um volume intermediário de tráfego, tem UCPs que variam de 784 (S. Carlos) a 1023 (HCM e ARRB), novamente mostrando como diferentes métodos podem influenciar a análise.

Essas variações entre os métodos refletem as diferentes abordagens teóricas e empíricas utilizadas para calcular as UCPs. Métodos como HCM e ARRB tendem a gerar valores mais altos, possivelmente devido a uma consideração mais ampla dos fatores que afetam o tráfego, enquanto o método S. Carlos gera valores mais baixos. A Tabela 3, portanto, destaca a importância de selecionar cuidadosamente o método de cálculo mais adequado para a análise de tráfego, considerando que a escolha do método pode influenciar significativamente a interpretação dos dados e, conseqüentemente, as decisões baseadas neles.

3. MICROSSIMULAÇÃO DE TRÁFEGO

A simulação de tráfego é fundamental para uma análise detalhada da influência dos veículos de projeto na operação da rede viária. Nessa perspectiva, a microsimulação visa identificar os impactos e a precisão do tráfego em cenários urbanos. Consistem na geração de cenários específicos para cada método, incorporando dados para o tempo de viagem e o tempo perdido de forma individualizada para cada veículo. As microsimulações foram feitas a partir do software SUMO com base nos dados obtidos *in loco* e com auxílio dos parâmetros de conversão em UCP. A figura 3 exibe uma das simulações, utilizando veículos mistos.

Figura 3 - Simulação com veículos mistos



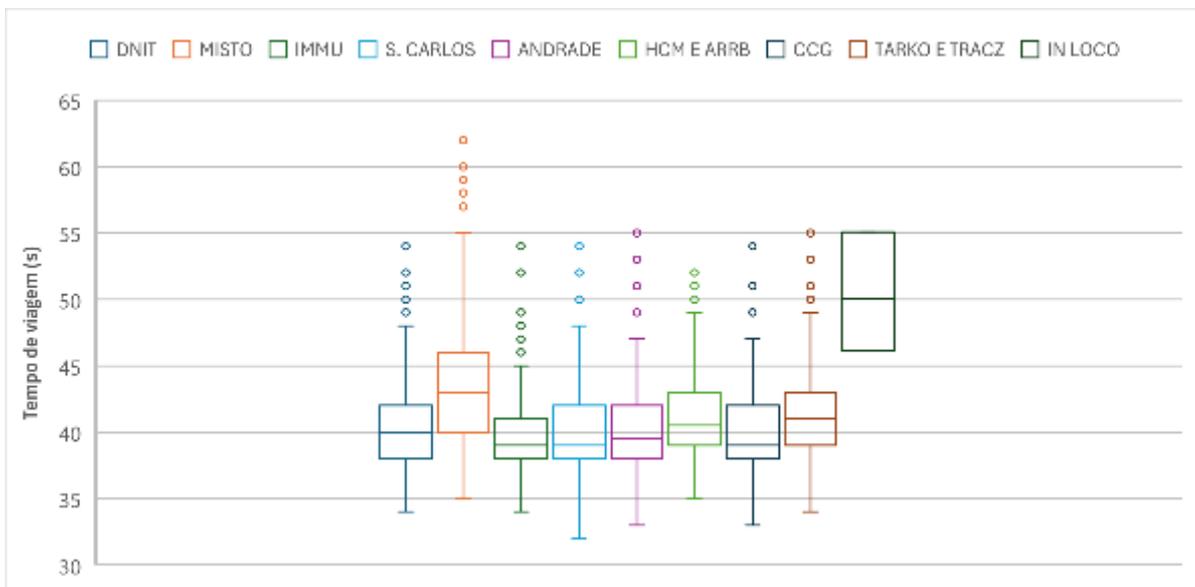
Fonte: Autor, 2024.

Os resultados atingidos foram interpretados de acordo com a duração (tempo de viagem) e o tempo perdido³, conforme cada método de conversão, tomando o modelo de simulação de veículos mistos como parâmetro principal. A simulação mista utiliza a média das contagens nos dois dias de levantamento para cada tipo de veículo. Essa simulação ocorre declarando as características específicas de cada veículo, como tamanho, velocidade, e comportamento no tráfego, permitindo assim que o modelo apresente de forma mais realista a interação entre diferentes tipos de veículos na via.

³ Tempo adicional que um veículo ou pedestre passa devido a fatores como congestionamento, atrasos em cruzamentos, ou semáforos (DNIT, 2006).

Foram realizadas 8 (oito) simulações, uma referente a veículos mistos e as outras sete para cada método de UCP, as quais gerou individualmente o tempo de viagem estimado para cada método e posteriormente, realizado a comparação com os parâmetros do tempo de viagem adquirido *in loco* no fluxo C, 50,04 segundos. Os gráficos foram feitos no software Python comparando os métodos de UCP com os dados *in loco* do fluxo C e misto no trecho analisado. O gráfico 1 estabelece a relação entre os tempos de viagem simulados e o tempo de viagem observado *in loco* no fluxo C.

Gráfico 1 – Comparativo do tempo de viagem entre o métodos misto, UCP e dados *in loco* do fluxo C



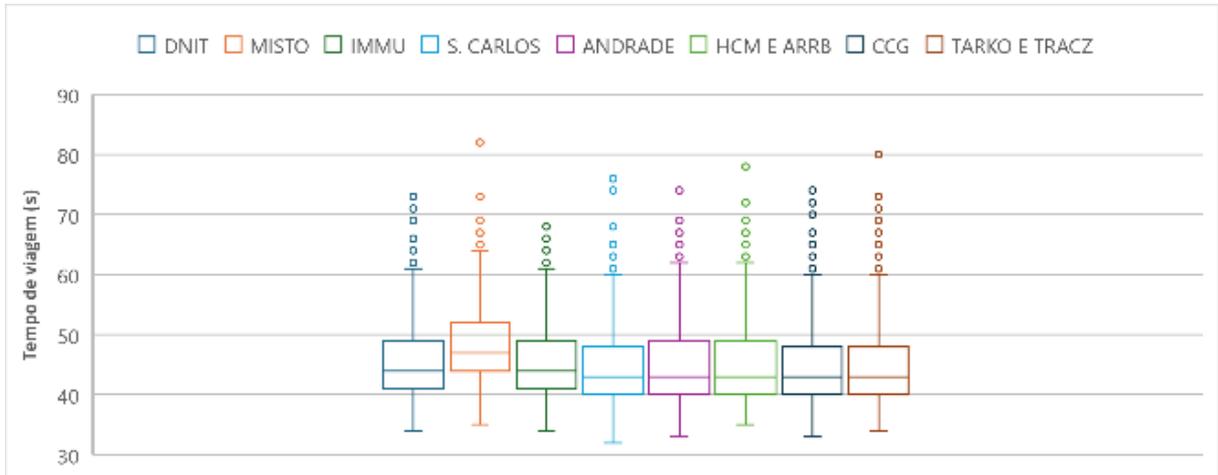
Fonte: Autor, 2024.

O gráfico 1 indica que a duração da viagem na realidade é significativamente mais longa em todos os parâmetros (mediana, quartis e extremos) se comparados com os tempos adquiridos em simulação. Ademais, convém ressaltar que os dados da simulação apresentam grandes *outliers* na amostra, o que pode ser irrelevante para estudos de tráfego ou avaliações de desempenho de sistemas de transportes. Nota-se que o misto, embora ainda longe, é a simulação que mais se aproxima da realidade (50,04s), o que é razoável, visto que demonstra melhor o funcionamento da via. Além disso, é relevante ressaltar que o DNIT (2006), método adotado no Brasil, não teve tanto destaque como Tarko e Tracz (2000), por exemplo, que mais se aproximou do resultado da simulação com veículos de projeto misto.

O gráfico 2 indica a duração da viagem utilizando como parâmetro de comparação o modelo misto. Nota-se um padrão de comportamento entre o tempo de viagem dos métodos UCP entre si, porém os que mais se destacam são o DNIT (2006), IMMU (2022), ANDRADE

(1984) e HCM e ARRB (1991), que foram os que mais se aproximaram do tempo de viagem do veículo de projeto misto (44 s).

Gráfico 2 – Comparativo do tempo de viagem entre os métodos de UCP e misto no trecho analisado



Fonte: Autor, 2024.

É importante ressaltar a consistência dos valores do DNIT (2006) que apresenta pequenos *outliers*. O cenário ideal teria veículos com tempo de viagem de 33,3 s, considerando apenas a distância e a velocidade da via, servindo para fins de comparação a qualquer método ou aferição *in loco*. Contudo, o tempo médio *in loco* tem 16,74 s a mais que o cenário ideal, o que mostra a influência dos elementos do tráfego. Com auxílio da microsimulação, o tempo de viagem mostrou uma diferença de 13,3 s em relação ao cenário ideal para o modelo misto e 6,7 s de diferença para o modelo do DNIT, revelando a complexidade de retratar a dinâmica do tráfego real, com a ausência de importantes elementos não identificados pelo software, como as condições da via, intempéries e imprudência no trânsito.

Em relação ao tempo perdido, o modelo misto apresentou 8,86 s, maior tempo perdido em relação aos demais modelos que variaram entre 5,3 s (S. Carlos, 1994) e 6,49 s (Tarko e Tracz, 2006), reafirmando o modelo misto como o cenário de maior proximidade da realidade, pois o tempo perdido seria a diferença entre o tempo de viagem *in loco* (50,04) e o tempo de viagem ideal (33,3 s), totalizando um tempo perdido de 16,74 s.

Com base nos resultados dos fatores de conversão, constatou-se nas simulações que o aumento do número de UCP aproxima a média do tempo de viagem do tempo observado *in loco*. Assim, foram definidos os maiores valores de conversão para cada tipo de veículo: 3 para caminhões e ônibus, e 2 para vans, tomando como referência o valor de 4 estipulado para

carretas pelo IMMUM (2022), já que foi um dos métodos de destaque nas simulações e que apresenta o maior fator de conversão para veículos pesados. Utilizando esses fatores, obteve-se um tempo de viagem de 42 segundos e um tempo perdido de 6,87 segundos, valores que se aproximam dos resultados do cenário misto (mais representativo da realidade). A tabela 4 exibe um resumo com as médias dos tempos de viagem e de tempo perdido no fluxo C para cada método abordado.

Tabela 4 – Tabela resumo contendo as médias dos tempos de viagem e de tempo perdido

FLUXO C		
MÉTODO	TEMPO DE VIAGEM (s)	TEMPO PERDIDO (s)
DNIT	40,50	6,21
MISTO	43,50	8,86
IMMU	39,80	5,50
S CARLOS	39,90	5,30
ANDRADE	39,90	5,54
HCM E ARRB	41,00	6,32
CCG	39,80	5,46
TARKO E TRACZ	41,00	6,49
FATOR SUGERIDO	42,00	6,87
<i>IN LOCO</i>	50,04	16,74

Fonte: Autor, 2024.

A tabela 4 revela que os tempos de viagem tiveram variação entre 39,80 e 43,50 segundos, com o modelo de veículos mistos apresentando o maior tempo (43,50 s) e o método IMMUM, o menor (39,80 s). O tempo perdido foi mais elevado no modelo misto (8,86 s) e menor no método S. Carlos (5,30 s). O método DNIT registrou um tempo de viagem de 40,50 s e um tempo perdido de 6,21 s, enquanto os dados coletados *in loco* evidenciaram o maior tempo de viagem (50,04 s) e o maior tempo perdido (16,74 s), refletindo a influência direta das condições reais de tráfego.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise da influência dos veículos de projeto em microssimulação de tráfego, utilizando o software SUMO, evidenciou a imprescindibilidade de considerar a heterogeneidade veicular ao planejar melhorias na infraestrutura viária. Os resultados demonstraram que o método de veículos mistos se mostrou o mais próximo, porém ainda distante da realidade, refletindo a complexidade do estudo de tráfego. O método do DNIT, amplamente adotado no Brasil, pouco se aproximou da realidade em relação ao fluxo C, apresentando o quarto tempo mais próximo do cenário real, o que sugere sua falha em representar as condições das vias brasileiras. Ainda assim, o DNIT foi o que apresentou consistência nos seus dados em relação a simulação de todo o trecho estudado, apresentando poucas variações. Outros métodos se destacaram entre si, indicando uma consistência nas abordagens, embora sem demonstrar grandes resultados em relação a realidade da via analisada.

A microssimulação de tráfego se revelou uma ferramenta indispensável para o estudo e planejamento de intervenções viárias, possibilitando análises detalhadas e acuradas. Este estudo proporcionou um entendimento mais aprofundado sobre a influência dos veículos de projeto nas simulações de tráfego, sugerindo que métodos combinados e simulações mistas oferecem resultados mais robustos e próximos à realidade e exibiram a necessidade de se considerar outros fatores além de comprimento, velocidade e sinalização das vias, por exemplo. A continuidade desta linha de pesquisa é essencial para aprimorar as estratégias de gestão viária e elevar a qualidade de vida nas áreas urbanas, celebrando, assim, a engenhosidade da engenharia de tráfego em prol do desenvolvimento urbano.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, J. P (1984). **Unidades de Carro de Passeio**. In Anais do VIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes. Recife: ANPET, v. I, p. 347-358.
- ASHTIANI, M. (2013). *Fundamentals of Traffic Engineering (3rd ed.)*. Institute of Transportation Engineers.
- BRAMBILA, L. M. (2008). **Simulação microscópica distribuída de tráfego**. Dissertação (Pós-graduação em Engenharia Elétrica). Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.
- BEHRISCH, M., et al. SUMO. (2011). *Simulation of Urban MObility: An Overview*. Institute of Transportation Systems, German Aerospace Center. Rutherfordstr. 2, 12489 Berlin, Germany.
- CUNTO, Flávio J. C.; SACCOMANNO, Frank F. “Modelo para avaliação do desempenho da segurança viária através da simulação microscópica”. Transportes Volume XVIII, 2010. Disponível em: <<https://www.revistatransportes.org.br/anpet/article/download/446/353/1556>>. Acesso em: 19 set. 2023.
- DNIT (2006). **Manual de estudos de tráfego**. Rio de Janeiro: Diretoria de Planejamento e Pesquisa.
- HALLMANN, H. V. (2011). **Comparação entre Softwares Simuladores de Trânsito**. Monografia (Graduação do curso de Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS.
- LUNA, MARCELO DOS SANTOS DE. Sobre o Fluxo de Saturação: Conceituação, Aplicação, Determinação e Variação. Fortaleza. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2003.
- MAIA, M. da S. (2022). **Análise dos fatores de equivalência para veículos de carga em um corredor urbano de Manaus**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil). Universidade Federal do Amazonas, Manaus.
- PAIS, F. V. (2022). **Avaliação de Desempenho de Tráfego Urbano Usando Simulação: Estudo de Caso em Maceió/AL**. Dissertação (mestrado em informática). Instituto de Computação, Universidade Federal de Alagoas. Maceió.
- SETTI, J. R. A.; L. S. Barbuto (1994). **Caracterização do Tráfego em Interseções SemafORIZADAS de Cidades de Porte Médio**. In Anais do VIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes. Recife: ANPET, v. 1. p.361 - 372.
- SHALINI, Kanakabandi; KUMAR, Brind. Estimation of the Passenger Car Equivalent: A Review. International Journal Of Emerging Technology And Advanced Engineering. Varanasi, p. 1-6. 6 jun. 2014. Disponível em:

<<https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.640.7007&rep=rep1&type=pdf>>.
Acesso em: 02 nov. 2023.

TEPLY, S; A. M. Jones (1991). *Saturation Flow: Do We Speak the Same Language?*.
Transportation Research Record 1320, p. 144-153.