



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO  
CENTRO DE CIÊNCIAS DE BALSAS  
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**ISLOWRRANE MENESES DA SILVA**

**ANÁLISE DO FLUXO VIÁRIO DA AVENIDA CONTORNO, EM BALSAS/MA, POR  
SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL NO ANYLOGIC**

**BALSAS  
2026**

ISLOWRRANE MENESES DA SILVA

**ANÁLISE DO FLUXO VIÁRIO DA AVENIDA CONTORNO, EM BALSAS/MA, POR  
SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL NO ANYLOGIC**

Trabalho de Contextualização e Integração Curricular apresentado ao Bacharelado Engenharia Civil da Universidade Federal do Maranhão, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Beserra Costa

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

Silva, Islowrrane Meneses da.

ANÁLISE DO FLUXO VIÁRIO DA AVENIDA CONTORNO, EM  
BALSAS/MA, POR SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL NO ANYLOGIC /  
Islowrrane Meneses da Silva. - 2026.

73 p.

Orientador(a): Daniel Beserra Costa.

Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do  
Maranhão, Ufma, 2026.

1. Mobilidade Urbana. 2. Anylogic. 3. Simulação  
Cruzamento Viário. I. Costa, Daniel Beserra. II. Título.

ISLOWRRANE MENESES DA SILVA

ANÁLISE DO FLUXO VIÁRIO DA AVENIDA CONTORNO, EM BALSAS/MA, POR  
SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL NO ANYLOGIC

Trabalho de conclusão de curso na modalidade Monografia, submetido à Coordenação de Engenharia Civil da Universidade Federal do Maranhão como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em 21 de Janeiro de 2026.

**Banca Examinadora**

---

Prof. Dr. Daniel Beserra Costa

---

Profa. Dra. Carla Caroline Alves Carvalho

---

Eng. Leandro Pereira da Silva

## RESUMO

A mobilidade urbana segura e eficiente tem se tornado um desafio crescente para as cidades brasileiras, especialmente em municípios de médio porte, como Balsas (MA). O presente estudo analisou o gerenciamento e a otimização do tráfego na Avenida Contorno, no trecho compreendido entre os cruzamentos com a Rua Luis Gomes e a Rua Coronel Silva Neto, por meio de simulações realizadas no software AnyLogic. O objetivo principal foi diagnosticar deficiências operacionais e propor intervenções capazes de melhorar o fluxo veicular. Para tanto, foram coletados dados de tráfego em diferentes dias da semana, entre terça e quinta-feira, nas datas de 25, 26 e 27 de novembro de 2025, nos períodos da manhã (07:00–08:00), tarde (11:00–12:00) e noite (17:00–18:00). Essas coletas permitiram caracterizar o comportamento do fluxo veicular, identificar horários de pico e avaliar as condições de operação dos cruzamentos. Os resultados indicaram que os períodos de maior intensidade de tráfego ocorrem entre 07:00–08:00 e 17:00–18:00, em função do deslocamento de trabalhadores e estudantes, evidenciando a necessidade de ajustes nos tempos semafóricos para reduzir o tempo de espera e evitar impactos negativos no fluxo. A partir da análise e modelagem dos dados, foi possível desenvolver um cenário de otimização, incluindo alterações nos ciclos semafóricos e no tempo de abertura dos sinais, com o objetivo de aumentar a fluidez do tráfego e reduzir o acúmulo de veículos. As propostas implementadas demonstraram que ajustes estratégicos na operação dos semáforos podem gerar melhorias significativas no desempenho dos cruzamentos, garantindo maior eficiência e segurança no trânsito local.

**Palavras-chaves:** Mobilidade urbana, ANYLOGIC, simulação cruzamento viário.

## **ABSTRACT**

Urban mobility that is safe and efficient has become an increasing challenge for Brazilian cities, particularly in medium-sized municipalities such as Balsas (MA). This study analyzed the traffic management and optimization on Avenida Contorno, in the section between the intersections with Rua Luis Gomes and Rua Coronel Silva Neto, through simulations conducted using AnyLogic software. The main objective was to diagnose operational deficiencies and propose interventions capable of improving vehicular flow. To this end, traffic data were collected on different weekdays, from Tuesday to Thursday, on November 25, 26, and 27, 2025, during morning (07:00–08:00), midday (11:00–12:00), and evening (17:00–18:00) periods. These data allowed for a detailed characterization of traffic behavior, identification of peak hours, and evaluation of intersection performance. The results indicated that the highest traffic volumes occurred between 07:00–08:00 and 17:00–18:00, due to the commuting of workers and students, highlighting the need for adjustments in signal timings to reduce vehicle waiting times and avoid negative impacts on traffic flow. Based on the data analysis and modeling, an optimization scenario was developed, including modifications to signal cycles and green times, aiming to increase traffic flow and reduce vehicle queues. The proposed measures demonstrated that strategic adjustments in traffic signal operation can significantly improve intersection performance, ensuring greater efficiency and safety in the local traffic system.

**Keywords:** Urban mobility, ANYLOGIC, intersection simulation.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Movimento Convergente e Divergente em Interseção Viária.....	18
Figura 2 - Movimento Interceptante e Não- interceptante em Interseção Viária. ....	19
Figura 3 - Fluxograma da pesquisa.....	26
Figura 4 - Localização da Região de Balsas - MA.....	27
Figura 5 - Trecho Avenida Contorno Luis Gomes x Cel Silva Neto. ....	28
Figura 6 - Local de estudo na Avenida Contorno. ....	29
Figura 7 - Modelo de coleta de dados de trafego direcional. ....	31
Figura 8 - Sentido do trafego analisado da rua Luís Gomes e Coronel Silva Neto. ..	32
Figura 9 - Esboço da interface do software Anylogic.....	36
Figura 10 - : Interface real do software Anylogic. ....	36
Figura 11 – Distribuição de dados coletados no dia (25/11/25 – 27/11/2025). ....	41
Figura 12 – Distribuição de dados coletados no dia 26/11/25 (noite). ....	43
Figura 13 - Simulação pelo software Anylogic.....	54
Figura 14 - Resultados otimizados do ciclo semaforico.....	54
Figura 15 - Veiculos ultrapassando em sinal vermelho. ....	57
Figura 16 - Acumulo de veiculos entre o trecho da Rua Luis gomes e Rua C. Silva Neto. ....	57
Figura 17 - Fila de espera: (a) Rua Luis gomes; e, (b) Rua C. Silva Neto. ....	58

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados reais do tamanho da fila e tempo (Trecho da Luiz Gomes). ....	44
Tabela 2 - Dados reais do tamanho da fila e tempo (Trecho avenida contorno/ da luiz gomes).....	44
Tabela 3 - Dados reais do tamanho da fila e tempo (Trecho entre c silva neto e luis gomes, voltando). ....	45
Tabela 4 - Dados reais do tamanho da fila e tempo (Trecho entre luiz gomes e c silva neto, indo).....	45
Tabela 5 - Dados reais do tamanho da fila e tempo (Trecho da coronel silva neto). ....	45
Tabela 6 - : Resultados via modelos matematicos(Trecho avenida contorno / luis gomes )......	47
Tabela 7 - : Resultados via modelos matematicos(Trecho avenida contorno / luis gomes )......	47
Tabela 8 - Resultados do ciclo semaforico obtidos pelos modelos matematicos (Avenida contorno luis gomes ). ....	50
Tabela 9 - Resultados do ciclo semaforico obtidos pelos modelos matematicos (Luis gomes rumo coronel silva neto). ....	50

## LISTA DE ABREVIATURAS

CONTRAN	Conselho Nacional de Trânsito.
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ITS	Sistemas Inteligentes de Transporte
MVV	Média de Volume Veicular
CE	Capacidade Estimada
FP	Fator de Ponta
TME	Tempo Médio de Espera
CMF	Comprimento Médio da Fila

## Sumário

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
<b>2. JUSTIFICATIVA</b> .....	<b>13</b>
<b>3. OBJETIVOS</b> .....	<b>15</b>
3.1 OBJETIVO GERAL .....	15
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	15
<b>4. REFERÊNCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>16</b>
4.1 MOBILIDADE URBANA .....	16
4.2 ESTRUTURA E ORGANIZAÇÃO DA REDE VIÁRIA URBANA .....	17
4.3 LIMITAÇÕES NO PLANEJAMENTO E CONFIGURAÇÃO DA REDE VIÁRIA .....	20
4.4 SATURAÇÃO E INEFICIÊNCIA DA MALHA VIÁRIA URBANA .....	21
4.5 GESTÃO E OTIMIZAÇÃO DO FLUXO VIÁRIO URBANO .....	22
4.6 MODELAGEM E SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL APLICADA À GESTÃO DO TRÁFEGO URBANO .....	23
4.7 ANYLOGIC .....	24
<b>5. METODOLOGIA</b> .....	<b>25</b>
5.1 ÁREA DE APLICAÇÃO DO PROJETO .....	27
5.2 MÉTODOS DE COLETA DE DADOS .....	30
5.3 CÁLCULO DO FLUXO VIÁRIO .....	33
5.4 SIMULAÇÃO DO FLUXO VIÁRIO NO SOFTWARE ANYLOGIC .....	35
<b>6. RESULTADOS</b> .....	<b>39</b>
6.1 TRÁFEGO .....	39
6.2 MODELOS MATEMÁTICOS .....	46
6.3 SIMULAÇÃO DO ANYLOGIC .....	51
6.4 PROBLEMAS OBSERVADOS NA VIA .....	56
<b>7. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>59</b>
<b>8. REFERÊNCIAS</b> .....	<b>62</b>
<b>APÊNDICE</b> .....	<b>72</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O crescimento urbano tem sido considerado uma das principais metas dos gestores públicos, uma vez que está associado a benefícios regionais, como o fortalecimento da economia local, a ampliação do acesso a serviços básicos, a atração de investimentos privados, melhorias na segurança, estímulo à inovação e expansão da infraestrutura (SHAH, 2023; ZOU; TANG, 2024). Contudo, quando esse processo ocorre de forma desordenada, gera sérios desafios para a gestão das cidades, especialmente no que se refere à mobilidade urbana. A expansão não planejada tende a sobrecarregar o sistema viário, intensificar os congestionamentos, aumentar a poluição e reduzir a qualidade de vida da população (Ferreira, 2019; Vasconcellos, 2012; Rolnik, 2015).

No contexto brasileiro, o crescimento contínuo da frota de automóveis reflete um modelo de urbanização que privilegia o transporte motorizado individual e negligencia o transporte público (Gomide, 2006). Esse padrão resulta na saturação das vias, no aumento do tempo de deslocamento e nos custos sociais e ambientais do tráfego intenso (Oliveira, 2021), além de impactar negativamente a saúde da população por causa do estresse e da exposição à poluição atmosférica (WHO, 2016).

Diante desse cenário, torna-se indispensável um planejamento urbano integrado, que articule políticas de transporte, uso do solo e sustentabilidade. A Política Nacional de Mobilidade Urbana (Lei nº 12.587/2012) estabelece diretrizes nesse sentido, priorizando os modos de transporte coletivo e não motorizado como instrumentos para a redução das desigualdades e a promoção da qualidade de vida (Brasil, 2012). Segundo Litman (2021), a ausência de políticas eficazes de incentivo ao transporte coletivo sustentável intensifica as desigualdades sociais e compromete a qualidade de vida urbana.

O município de Balsas, localizado no sul do Maranhão, tem apresentado um expressivo crescimento urbano nas últimas décadas, com aumento populacional de 21,66% entre 2010 e 2022 (IBGE, 2023). Embora esse avanço represente um indicador positivo de desenvolvimento econômico, ele também evidencia limitações na infraestrutura urbana, sobretudo na mobilidade. A falta de um sistema de transporte público estruturado leva a população a depender quase

exclusivamente de automóveis e motocicletas particulares, o que sobrecarrega a malha viária, agrava os congestionamentos e eleva os níveis de poluição atmosférica (Moura; Lira, 2021; Liang *et al.*, 2023).

Essa realidade reforça a necessidade de políticas públicas voltadas à mobilidade urbana sustentável, capazes de conciliar crescimento econômico e qualidade de vida. Nesse sentido, torna-se essencial adotar estratégias de gerenciamento de tráfego que identifiquem os pontos críticos da cidade e promovam ações eficazes para a melhoria da circulação e o atendimento das demandas futuras (Souza *et al.*, 2023). A análise dos volumes de tráfego, dos horários de pico e dos principais polos geradores de fluxo constitui etapa fundamental para o desenvolvimento de soluções adequadas aos desafios locais (Rodrigues; Lima, 2022).

Para subsidiar esse processo, o uso de softwares de simulação tem se mostrado uma ferramenta eficaz de apoio à tomada de decisão, permitindo representar de forma realista a dinâmica do tráfego e testar diferentes cenários e estratégias sem interferir diretamente no sistema real (Borshchev, 2014).

Entre as ferramentas disponíveis para simulação de sistemas complexos, destaca-se o AnyLogic, um software multiparadigma que combina os métodos de simulação de eventos discretos, dinâmica de sistemas e simulação baseada em agentes, permitindo representar fenômenos urbanos com elevado grau de realismo. O programa oferece um ambiente gráfico integrado, que possibilita o desenvolvimento, visualização e análise interativa de modelos, além de gerar indicadores de desempenho que subsidiam o planejamento e a otimização do tráfego (Corral Lopez, 2025).

No contexto da mobilidade urbana, o AnyLogic possibilita representar veículos, pedestres, semáforos e interseções de forma detalhada, simulando o comportamento do tráfego em diferentes condições e avaliando o impacto de intervenções no sistema viário. Seus principais componentes incluem os agents (agentes), que representam entidades autônomas como veículos e motoristas; os flows (fluxos), que definem as rotas e interações entre os agentes; e os process models, responsáveis por descrever as atividades, filas e serviços ao longo do sistema (Grigoryev, 2016).

Dessa forma, o uso do AnyLogic como ferramenta de simulação contribui para o planejamento urbano sustentável, ao permitir a identificação de gargalos,

a otimização da operação de cruzamentos e a avaliação de políticas de transporte com base em cenários realistas. O presente trabalho tem como objetivo analisar o trecho dos cruzamentos da rua Luís Gomes e Rua Cel. Silva Neto, na Avenida Contorno, em Balsas–MA, compreendido entre a Avenida Brasil e a rotatória de acesso ao bairro Potosí, caracterizado por alta concentração de tráfego e frequentes pontos de retenção.

## **2. JUSTIFICATIVA**

O presente estudo justifica-se pela necessidade de compreender e aprimorar a mobilidade urbana no município de Balsas, considerando o crescimento populacional e a expansão urbana observados nos últimos anos (IBGE, 2023). A cidade apresenta aumento significativo da frota de veículos particulares e uma dependência quase exclusiva de automóveis e motocicletas, devido à ausência de um sistema de transporte público estruturado (Rodrigues, 2014). Esse cenário gera sobrecarga da malha viária, congestionamentos, maiores tempos de deslocamento, elevação dos custos sociais e ambientais, além de impactos negativos sobre a saúde e a qualidade de vida da população (Oliveira, 2021; WHO, 2016).

Diante dessas condições, torna-se fundamental identificar os pontos críticos do tráfego urbano e propor soluções que promovam eficiência operacional e segurança no trânsito. A utilização de softwares de simulação, como o AnyLogic, possibilita testar diferentes estratégias e cenários de intervenção sem interferir no funcionamento real do sistema viário, permitindo uma análise precisa dos impactos de mudanças e fornecendo subsídios técnicos para a tomada de decisões (Borshchev, 2014; Grigoryev, 2016).

A partir das simulações realizadas no AnyLogic, é possível desenvolver estratégias voltadas para a otimização do tráfego, com o objetivo de reduzir os tempos de espera, evitar congestionamentos e aumentar a segurança viária. Entre as medidas aplicáveis estão o ajuste dinâmico dos tempos de semáforo, a priorização de fluxos durante períodos de maior demanda e a reorganização de faixas de circulação. Além disso, a integração entre diferentes modos de transporte contribui para equilibrar o fluxo de veículos e pedestres, promovendo maior eficiência

e continuidade no trânsito. Ao fundamentar as intervenções em dados reais e cenários simulados, essas ações fornecem subsídios técnicos confiáveis para a tomada de decisões, permitindo que mudanças na malha viária sejam planejadas de forma estratégica, eficaz e sustentável, promovendo melhorias contínuas na mobilidade urbana de Balsas (Borshchev, 2014; Grigoryev, 2016).

Nesse sentido, a investigação na Avenida Contorno representa uma etapa estratégica para compreender os desafios da mobilidade urbana em Balsas. Por meio do AnyLogic, é possível simular detalhadamente o comportamento do tráfego, considerando veículos, pedestres e semáforos. Essa abordagem permite identificar gargalos, avaliar diferentes cenários e propor soluções que otimizem o fluxo viário, aumentem a segurança e promovam maior eficiência na circulação de todos os usuários.

Além disso, o estudo contribui com a gestão pública e o planejamento urbano sustentável, oferecendo subsídios técnicos para a implementação de políticas de mobilidade que conciliem crescimento urbano e qualidade de vida. A análise do cruzamento entre ruas estratégicas de Balsas se insere em um contexto mais amplo de planejamento urbano integrado, alinhado às diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana (Brasil, 2012) e às melhores práticas de transporte sustentável (Litman, 2021; Vasconcellos, 2012).

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo Geral**

Avaliar o desempenho do tráfego no cruzamento da Rua Luís Gomes com a Rua Coronel Silva Neto, em Balsas–MA, para proposição de melhorias operacionais no sistema semafórico, com base em critérios técnicos e normativos.

#### **3.2 Objetivos Específicos**

- Efetuar um levantamento de dados, acerca dos componentes que fazem parte do sistema de tráfego;
- Avaliar as condições atuais da sinalização semafórica na interseção estudada;
- Analisar o impacto da sinalização semafórica existente no fluxo de tráfego;
- Propor soluções e melhorias para a sinalização semafórica;

## 4. REFERÊNCIAL TEÓRICO

### 4.1 Mobilidade Urbana

A mobilidade urbana pode ser compreendida como a capacidade de garantir o deslocamento eficiente de pessoas e bens dentro das cidades, integrando diferentes modos de transporte e promovendo acessibilidade para todos os cidadãos (VASCONCELLOS, 2012). Segundo Litman (2021), o sistema de circulação eficiente depende da harmonia entre infraestrutura viária, planejamento urbano e políticas públicas voltadas à redução da dependência de veículos motorizados individuais. Nesse contexto, a logística urbana deve ser planejada de forma sustentável, buscando equilibrar o crescimento urbano, a fluidez do tráfego e a preservação ambiental, assegurando condições seguras e adequadas para todos os usuários da via (GEHL, 2013).

A infraestrutura de mobilidade contemporânea enfrenta o desafio de equilibrar o crescimento econômico e populacional com a necessidade de deslocamentos sustentáveis e eficientes. Segundo Silva e Silva (2020), o aumento da densidade populacional nas cidades médias e grandes tem provocado uma pressão crescente sobre a infraestrutura viária e os sistemas de transporte, exigindo soluções integradas e inovadoras. Nesse cenário, políticas públicas que priorizem a acessibilidade, o transporte coletivo e o uso racional do espaço urbano tornam-se fundamentais para reduzir desigualdades e promover cidades mais inclusivas. Para Moura (2017), a mobilidade urbana deve ser tratada como um direito social, uma vez que influencia diretamente o acesso da população a serviços básicos e oportunidades de desenvolvimento.

Além disso, o avanço tecnológico tem possibilitado novas abordagens para o planejamento e a gestão da mobilidade. Ferramentas de modelagem e simulação computacional, como as utilizadas em estudos de tráfego e planejamento urbano, permitem compreender de forma mais precisa o comportamento dos fluxos de veículos e pedestres, contribuindo para decisões baseadas em evidências (SANTOS; MACEDO, 2021). A aplicação dessas tecnologias facilita a análise de cenários e o desenvolvimento de estratégias que reduzam congestionamentos, aumentem a segurança viária e tornem os deslocamentos mais sustentáveis, alinhando-se às diretrizes da Agenda 2030

para o Desenvolvimento Sustentável (ONU, 2015).

## **4.2 Estrutura e Organização da Rede Viária Urbana**

A infraestrutura viária compreende os elementos físicos que permitem o deslocamento de pessoas e veículos em áreas urbanas, incluindo vias, calçadas, sinalização, pavimentação, drenagem e dispositivos de segurança (RODRIGUES; MENDES, 2019). Uma rede viária planejada e bem mantida é essencial para assegurar a fluidez do tráfego e a redução de acidentes, contribuindo diretamente para a mobilidade e para a eficiência do transporte urbano. Segundo Carvalho e Lobo (2020), problemas como dimensionamento inadequado das vias, ausência de sinalização adequada e deterioração do pavimento afetam a segurança viária e aumentam o tempo de deslocamento, prejudicando a qualidade de vida e a produtividade urbana. Dessa forma, o planejamento da infraestrutura deve considerar não apenas a capacidade atual, mas também o crescimento futuro da demanda e a integração entre os diferentes modos de transporte.

Nessa perspectiva, a estrutura da rede viária urbana em cidades de porte médio, como Balsas (MA), deve observar princípios modernos de hierarquia viária e acessibilidade, garantindo que os diferentes níveis de vias — arteriais, coletoras e locais — cumpram suas funções de circulação e distribuição do tráfego, promovendo a integração eficiente entre veículos, pedestres e transporte coletivo local. Estudos recentes indicam que, embora haja avanços na infraestrutura urbana brasileira, ainda persistem desafios quanto à acessibilidade e conectividade das vias (VASCONCELLOS, 2016). Dessa forma, o planejamento da rede viária deve priorizar a segurança, a mobilidade de diferentes modais e a integração entre transporte local, circulação de veículos e pedestres.

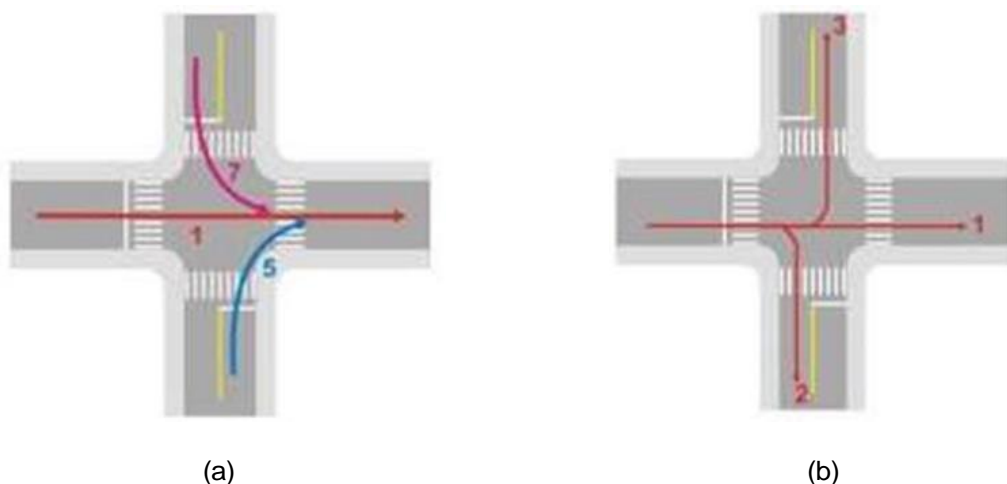
Para além da hierarquia e da capacidade modal, a organização da rede viária urbana deve considerar critérios relacionados ao uso do solo, inclusão social e igualdade de acesso. Rodrigues e Gomes (2024) ressaltam que a eficiência da rede viária urbana depende da articulação entre os aspectos técnicos e sociais da infraestrutura, assegurando tanto a acessibilidade universal quanto o transporte eficiente de pessoas e mercadorias. Assim, a qualidade e a organização da rede viária refletem não apenas a eficiência do transporte, mas também o grau de equidade e sustentabilidade do ambiente urbano.

De acordo com o Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN, 2014), os movimentos realizados nas interseções viárias podem ser classificados conforme a interação de suas trajetórias. Entre eles, destacam-se os movimentos:

- I. Movimento convergentes: ocorrem quando veículos provenientes de diferentes aproximações seguem para um mesmo destino.
- II. Movimentos divergentes, nos quais um fluxo se divide em múltiplas direções de saída;
- III. Movimentos interceptantes, que acontecem quando duas correntes de tráfego se cruzam em um mesmo ponto físico, gerando potencial de conflito.
- IV. Movimentos não-interceptantes, que são aqueles em que os fluxos se deslocam paralelamente, sem pontos de cruzamento direto.

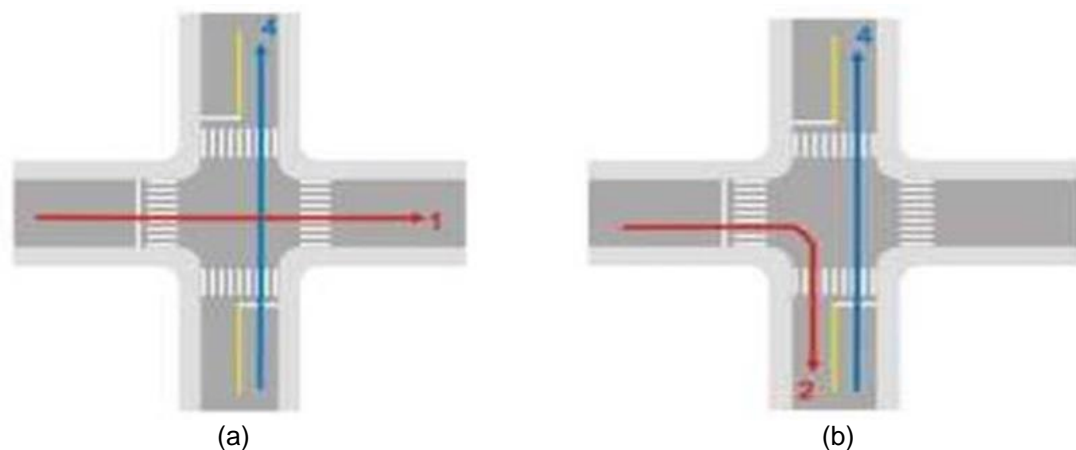
A Figura 1 ilustra o comportamento típico dos movimentos convergentes e divergente. Sendo que na Figura 1 (a) demonstra veículos de diferentes aproximações se dirigindo para um mesmo destino. Enquanto a Figura 1 (b) demonstra os movimentos divergentes em uma interseção, destacando a separação dos fluxos de tráfego em diferentes direções.

*Figura 1 - Movimento Convergente e Divergente em Interseção Viária.*



Fonte: CONTRAN (2014)

Figura 2 - Movimento Interceptante e Não- interceptante em Interseção Viária.



Fonte: CONTRAN (2014)

Observando a Figura 2 temos dois movimentos realizados nas interseções viárias, aonde a Figura 2 (a) demonstra os movimentos interceptantes em uma interseção viária, destacando a área onde os fluxos se cruzam. Já a Figura 2 (b) ilustra os movimentos não-interceptantes em uma via, mostrando fluxos de tráfego que se deslocam paralelamente sem cruzamento direto.

A análise dos tipos de movimento nas interseções permite identificar os principais pontos de conflito e gargalos que comprometem a fluidez e a segurança do tráfego. Segundo Moura e Rodrigues (2021), o estudo detalhado das interações entre veículos e pedestres é fundamental para o desenvolvimento de soluções eficazes de engenharia de tráfego, especialmente em áreas com alto volume de deslocamentos. Nesse contexto, ferramentas de simulação computacional, como o software AnyLogic, permitem modelar os fluxos viários, avaliar alternativas de controle e prever os impactos de intervenções antes da implementação, contribuindo para um sistema viário mais eficiente e seguro.

Ademais, a análise detalhada do tráfego em nível de interseção deve ser complementada pelo planejamento urbano estratégico, de forma a integrar eficiência operacional e desenvolvimento sustentável da cidade. Vasconcellos (2016) enfatiza que a organização eficiente das vias deve acompanhar o crescimento urbano, garantindo que áreas residenciais, comerciais e de serviços estejam conectadas de maneira segura e acessível. Em cidades de porte médio, como Balsas (MA), o planejamento da rede viária deve buscar a conexão eficiente entre bairros, escolas, unidades de saúde, áreas comerciais e centros administrativos, promovendo mobilidade sustentável e reduzindo desigualdades

socioespaciais. Dessa forma, a expansão e manutenção das vias urbanas não apenas refletem a eficiência do transporte, mas também impactam diretamente a qualidade de vida da população e a sustentabilidade do crescimento urbano

### **4.3 Limitações no Planejamento e Configuração da Rede Viária**

O sistema viário, por ser complexo e operar continuamente, requer um planejamento eficiente e compatível com a demanda populacional. Entretanto, essa meta se torna desafiadora quando o crescimento urbano ocorre de forma acelerada e desorganizada, o que representa um obstáculo significativo à mobilidade urbana (Carvalho, 2016). A expansão desordenada dos centros urbanos, associada ao desgaste da infraestrutura viária, tem gerado uma série de impactos negativos, como o aumento dos congestionamentos, a poluição atmosférica, o crescimento do número de acidentes de trânsito e a consequente redução da qualidade de vida da população (Souza, 2024).

Nesse contexto, a adoção de tecnologias inteligentes e práticas sustentáveis no planejamento viário surge como uma estratégia essencial para enfrentar os desafios da mobilidade urbana contemporânea. Segundo Moura e Farias (2023), o uso de sistemas inteligentes de transporte (ITS) possibilita o monitoramento em tempo real do tráfego, otimizando o controle semafórico e reduzindo o tempo de deslocamento. Além disso, conforme destacam Oliveira e Prado (2022), a incorporação de soluções sustentáveis — como ciclovias, faixas exclusivas para transporte coletivo e pavimentos ecológicos — contribui para mitigar os impactos ambientais e ampliar a acessibilidade. Assim, a integração entre infraestrutura tecnológica, políticas públicas e planejamento urbano é fundamental para o desenvolvimento de cidades mais seguras, eficientes e sustentáveis.

A sinalização viária exerce papel essencial na organização do tráfego e na segurança dos deslocamentos urbanos, orientando condutores e pedestres quanto às condições da via e às regras de circulação. No entanto, a ausência, má localização ou falta de manutenção de placas e semáforos ainda representa um dos principais fatores de risco nos centros urbanos. Segundo Andrade e Pereira (2021), falhas na sinalização comprometem a previsibilidade do

comportamento dos usuários e aumenta a probabilidade de acidentes, especialmente em cruzamentos de grande fluxo. De acordo com Ferreira et al. (2020), a sinalização deve ser planejada de forma integrada à geometria da via e às condições de visibilidade, considerando o comportamento dos motoristas e a dinâmica do tráfego local. Assim, investir em sistemas de sinalização eficientes e tecnologicamente atualizados é fundamental para promover a segurança e a fluidez no ambiente urbano.

#### **4.4 Saturação e Ineficiência da Malha Viária Urbana**

O congestionamento urbano é resultado de uma interação complexa entre infraestrutura, crescimento populacional e padrões de mobilidade. Conforme destaca Pereira (2023), muitas cidades enfrentam dificuldades devido à insuficiência da malha viária frente ao aumento do número de veículos, o que compromete a fluidez do trânsito e aumenta os tempos de deslocamento. Esse cenário é intensificado pelo crescimento urbano rápido e pouco planejado, característica comum em centros metropolitanos de países em desenvolvimento, que provoca pressão adicional sobre os sistemas de transporte existentes.

Adicionalmente, fatores sociais e econômicos contribuem para o aumento da demanda por mobilidade urbana. A migração de áreas rurais para cidades, o crescimento da população urbana e a expansão da frota de automóveis individuais são apontados por Costa e Almeida (2022) como elementos que elevam o fluxo de veículos e acentuam os congestionamentos. Tais condições não apenas aumentam os riscos de acidentes e a poluição ambiental, mas também afetam diretamente a qualidade de vida dos habitantes urbanos, exigindo estratégias integradas de planejamento e gestão do tráfego.

Além disso, o crescimento populacional em cidades médias brasileiras tem intensificado a pressão sobre a infraestrutura viária existente. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022), o Maranhão registrou crescimento de 3,05% entre 2010 e 2022, enquanto o município de Balsas apresentou aumento populacional de 21,66% no mesmo período, evidenciando uma expansão acelerada. Esse processo, conforme apontam Moura e Lira (2021), impõe desafios à mobilidade urbana, uma vez que o crescimento da frota veicular supera a capacidade de adaptação das vias e dos sistemas de gestão do tráfego.

A falta de integração tecnológica na gestão do tráfego urbano é um dos principais fatores que agravam os congestionamentos nas cidades brasileiras. A inexistência de sistemas inteligentes, como o controle semafórico coordenado e o acompanhamento em tempo real do fluxo de veículos, resulta em interrupções frequentes e redução da fluidez viária. De acordo com Rodrigues e Santos (2021), a ausência de soluções automatizadas de controle de tráfego compromete a eficiência operacional das vias, aumentando o tempo médio de deslocamento. Além disso, a baixa oferta de transporte público de qualidade estimula o uso de automóveis particulares, ampliando o volume de veículos em circulação e sobrecarregando a infraestrutura urbana (CNT, 2023).

#### **4.5 Gestão e Otimização do Fluxo Viário Urbano**

O gerenciamento de tráfego urbano consiste em um conjunto de ações, políticas e tecnologias voltadas à organização e ao controle da circulação de veículos e pedestres nas vias públicas. De acordo com Carvalho e Nogueira (2022), esse gerenciamento tem como foco o uso eficiente da infraestrutura viária existente, buscando minimizar conflitos de tráfego e otimizar a mobilidade urbana. Para isso, são utilizados sistemas de monitoramento, controle semafórico e sinalização inteligente, os quais permitem regular o fluxo de veículos e melhorar a segurança viária. Assim, o gerenciamento de tráfego torna-se uma ferramenta estratégica para o desenvolvimento urbano sustentável e para a redução dos impactos negativos associados ao transporte motorizado.

Entre os principais objetivos do gerenciamento de tráfego estão a redução de congestionamentos, o aumento da fluidez nas vias, a priorização do transporte coletivo e a diminuição do número de acidentes. Segundo Vasconcellos (2016), uma gestão eficaz deve considerar o comportamento dos usuários, as características físicas da via e o padrão de deslocamento urbano. Dentre as soluções mais adotadas destacam-se a sincronização semafórica, o controle dinâmico de interseções, a implantação de faixas exclusivas para transporte público e a utilização de sistemas de priorização de ônibus em corredores viários. Essas medidas contribuem não apenas para a eficiência operacional, mas também para a melhoria da qualidade de vida da população urbana.

Nesse contexto, os Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS) têm se

consolidado como uma das mais promissoras ferramentas de apoio ao gerenciamento de tráfego. Conforme Moura e Farias (2023), os ITS integram tecnologias de informação e comunicação para coletar, processar e analisar dados em tempo real, auxiliando na tomada de decisões e no planejamento viário. Entre suas aplicações estão o controle automatizado de semáforos, o monitoramento por câmeras e sensores, os painéis de mensagens variáveis e os aplicativos de mobilidade que informam condições do trânsito aos usuários. Dessa forma, a adoção dos ITS representa um avanço significativo na busca por sistemas de transporte mais seguros, eficientes e sustentáveis.

#### **4.6 Modelagem e Simulação Computacional Aplicada à Gestão do Tráfego Urbano**

As ferramentas de simulação computacional constituem instrumentos essenciais para a análise e o apoio à tomada de decisão em projetos de mobilidade urbana. Por meio delas, é possível reproduzir virtualmente o comportamento do tráfego, avaliar cenários alternativos e prever os impactos de diferentes intervenções sobre o sistema viário. Conforme Silva e Andrade (2022), o uso desses softwares permite testar estratégias de gerenciamento, reorganizar fluxos e identificar gargalos sem a necessidade de alterações imediatas no ambiente real. Assim, tais ferramentas fornecem subsídios técnicos para que gestores e planejadores urbanos elaborem soluções mais seguras, eficientes e economicamente viáveis para a mobilidade nas cidades (Ferreira; Campos, 2023).

Nesse contexto, o AnyLogic tem se destacado como uma ferramenta poderosa para a otimização do tráfego urbano, permitindo simular e avaliar diferentes cenários de intervenção sem afetar diretamente o funcionamento das vias. Segundo Lima e Barbosa (2023), sua capacidade de integrar métodos como eventos discretos, dinâmica de sistemas e simulação baseada em agentes possibilita representar com precisão as interações entre veículos, pedestres e transporte coletivo, identificando gargalos e propondo soluções mais eficientes. Oliveira et al. (2024) aplicaram o AnyLogic para otimizar o desempenho de cruzamentos em cidades médias, ajustando tempos de semáforos, reorganizando rotas e priorizando corredores de transporte público, o que resultou em redução de congestionamentos e melhoria da fluidez do tráfego.

Além disso, Santos e Pereira (2022) demonstraram que o uso do AnyLogic na priorização de ônibus em corredores urbanos permite maximizar a eficiência do transporte coletivo, reduzir tempos de espera e ampliar a capacidade de atendimento do sistema. Esses estudos evidenciam que o software não apenas possibilita a análise de múltiplos cenários simultaneamente, mas também oferece subsídios concretos para decisões estratégicas, contribuindo para um trânsito mais seguro, eficiente e sustentável.

#### **4.7 Anylogic**

O AnyLogic tem se consolidado como uma ferramenta robusta para a simulação de sistemas de transporte urbano, oferecendo suporte à análise detalhada e à tomada de decisões em projetos de mobilidade. Segundo Lima e Barbosa (2023), o software integra diferentes métodos de modelagem — eventos discretos, dinâmica de sistemas e simulação baseada em agentes —, permitindo representar com precisão o comportamento de motoristas, pedestres e veículos de transporte coletivo. Estudos recentes evidenciam sua aplicabilidade em cenários urbanos diversos: Oliveira et al. (2024) analisaram a otimização de cruzamentos em uma cidade de médio porte, obtendo melhorias significativas na fluidez do tráfego e na redução de tempos de espera; Santos e Pereira (2022) utilizaram o AnyLogic para avaliar a priorização de ônibus em corredores urbanos, constatando ganhos relevantes na eficiência do transporte público.

Em cidades de médio porte, como Balsas (MA), onde o crescimento populacional e a expansão da frota de veículos pressionam a infraestrutura viária, o AnyLogic representa um recurso estratégico para o planejamento urbano. Através da simulação baseada em agentes e de eventos discretos, o software permite reproduzir virtualmente o fluxo de veículos e pedestres, identificar pontos críticos e testar diferentes alternativas de intervenção sem impactar diretamente o tráfego real. Conforme Oliveira et al. (2024), essas abordagens possibilitam avaliar ajustes semafóricos, implantação de faixas exclusivas para ônibus e reorganização de rotas viárias, gerando indicadores claros de eficiência e segurança viária.

Além disso, pesquisas em cidades médias brasileiras demonstram que o uso do AnyLogic contribui significativamente para a gestão do tráfego urbano.

Santos e Pereira (2022) observaram melhorias expressivas na priorização do transporte coletivo, com redução de tempos de espera e aumento da capacidade de atendimento do sistema. Dessa forma, a aplicação do software em Balsas poderia subsidiar decisões estratégicas para políticas de transporte mais eficazes, promovendo soluções adaptadas à realidade local e incentivando uma mobilidade urbana mais segura, eficiente e sustentável (Lima; Barbosa, 2023).

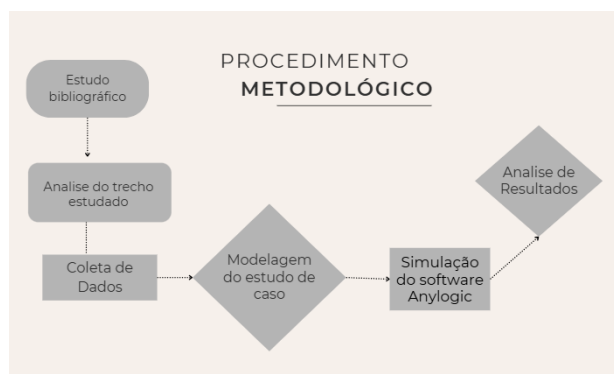
Além das aplicações em cruzamentos e priorização de transporte coletivo, o AnyLogic tem sido utilizado para otimizar rotas de tráfego, avaliar impactos de novas vias e planejar sistemas semaforicos mais eficientes. De acordo com Carvalho e Nogueira (2022), a modelagem baseada em agentes permite testar diferentes configurações de roteamento, prevendo congestionamentos e ajustando fluxos de veículos antes da implementação real. Estudos de Santos et al. (2023) demonstraram que o software pode simular cenários de expansão urbana, avaliando o efeito de novas ruas e corredores sobre o tráfego existente, permitindo decisões mais seguras e eficazes para gestores municipais. Dessa forma, o AnyLogic oferece uma plataforma completa para planejamento estratégico do tráfego urbano, integrando análise detalhada, otimização de fluxos e suporte à tomada de decisão baseada em evidências, contribuindo para a mobilidade sustentável e a melhoria da qualidade e vida nas cidades.

## **5. METODOLOGIA**

A metodologia adotada neste trabalho caracteriza-se como um estudo de caso, uma vez que a pesquisa se concentra na análise aprofundada de um trecho específico da malha viária urbana, permitindo compreender suas particularidades, limitações e dinâmicas próprias. Conforme Yin (2015), o estudo de caso é adequado quando se busca investigar fenômenos contemporâneos em seu contexto real, especialmente quando os limites entre o fenômeno e o ambiente não estão claramente definidos. Assim, esta abordagem possibilita integrar diversas fontes de evidência — como observações em campo, registros de tráfego, levantamentos documentais e dados fornecidos por órgãos municipais — proporcionando uma compreensão abrangente das condições de mobilidade no local estudado.

O presente estudo foi desenvolvido em etapas sequenciais, visando analisar o impacto de simulações de modelagens semaforicos no fluxo de veículos em uma avenida principal e suas vias alimentadoras, conforme a Figura 3.

Figura 3 - Fluxograma da pesquisa.



Fonte: Autor (2025)

O estudo iniciou-se com um levantamento bibliográfico sobre simulação de eventos discretos e mobilidade urbana, estabelecendo a base teórica para a pesquisa. Em seguida, foram coletados, analisados e tratados os dados de tráfego de veículos particulares e do transporte público.

Após a etapa de coleta e tratamento, os dados observados em campo foram comparados com os resultados obtidos por meio da modelagem computacional, permitindo avaliar a aderência entre o cenário real e o cenário simulado. Essa comparação possibilitou identificar discrepâncias, estimar ganhos operacionais e verificar qual configuração semaforica apresenta melhor desempenho para o fluxo atual da via. De acordo com Banks et al. (2019), a validação de modelos de simulação deve considerar a proximidade estatística entre os dados reais e simulados, assegurando que o modelo represente adequadamente o sistema estudado antes de sua aplicação para fins decisórios.

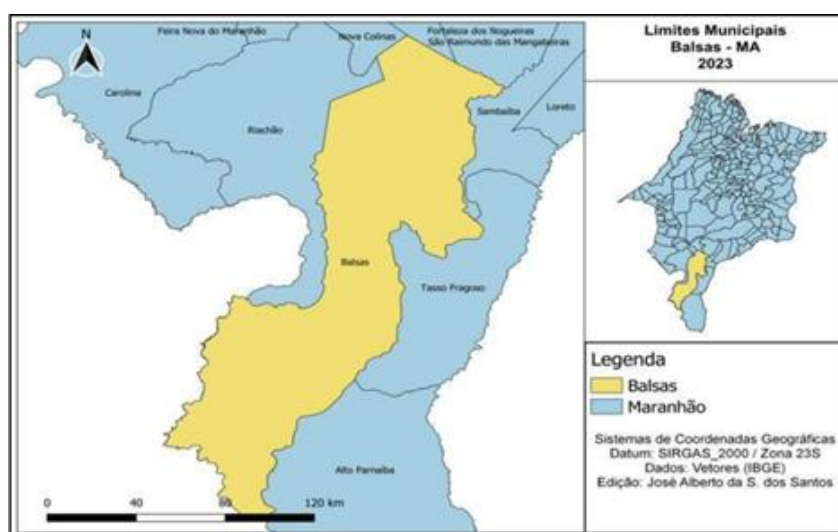
A abordagem do estudo é do tipo quantitativa, devido a realização de uma análise objetiva com dados numericos, graficos e tabelas com o objetivo de identificar niveis de congestionamento no trecho entre os cruzamentos da rua Luis Gomes e C. Silva Neto. Levando em conta os objetivos de pesquisa, nosso estudo é exploratorio , como o tema do estudo em questão é pouco explorado pela significancia a nivel global. Há muitas cidades que necessitam de sistemas semaforicos, porem não implantaram sistema de semaforos inteligentes, muito menos investimento em

pesquisas sobre o assunto.

### 5.1 Área de Aplicação do Projeto

A pesquisa foi realizada na cidade de Balsas, Maranhão, um município de porte médio com aproximadamente 105 mil habitantes (IBGE, 2022), conforme a Figura 4. Balsas apresenta desafios típicos de mobilidade urbana, como congestionamentos em vias estratégicas e limitações na infraestrutura viária. Nesse cenário, a Avenida Contorno foi escolhida como objeto de estudo devido ao seu fluxo intenso de veículos e à presença de múltiplos semáforos, que influenciam diretamente na circulação e na fluidez do trânsito.

Figura 4 - Localização da Região de Balsas - MA.



Fonte: Wikipedia (2023)

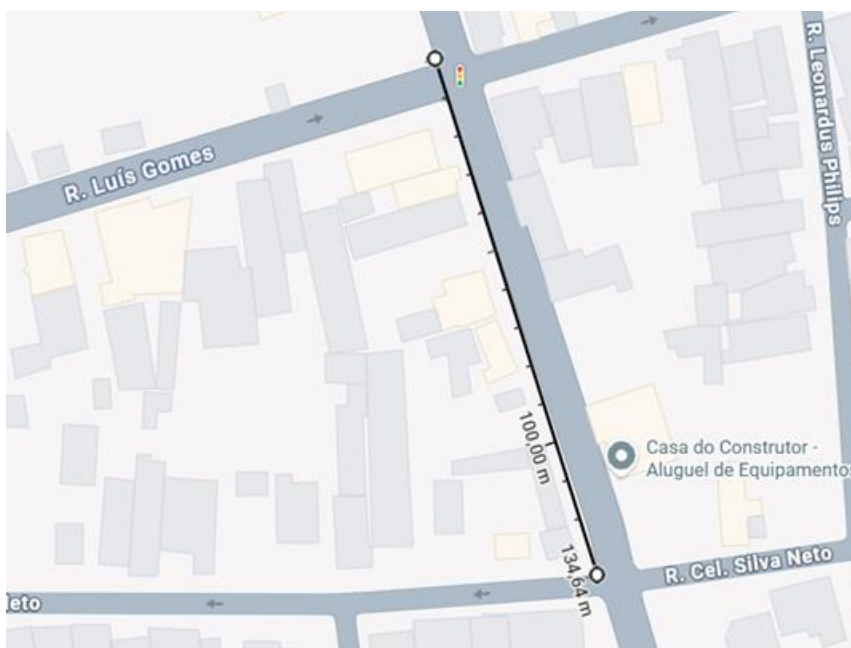
A Avenida Contorno, localizada em Balsas–MA, desempenha um papel fundamental na estruturação da mobilidade urbana do município, funcionando como um corredor estratégico para a circulação de veículos leves e pesados, especialmente aqueles vinculados ao agronegócio regional. Segundo o Plano Diretor Municipal, a via integra áreas residenciais e zonas logísticas, sendo considerada essencial para a organização do tráfego e o desenvolvimento urbano da cidade (BRASIL, 2021).

A avenida apresenta desgaste estrutural do pavimento, insuficiência do revestimento asfáltico e trechos críticos que comprometem os níveis de segurança viária e a fluidez operacional do tráfego. Esse quadro é potencializado pelo elevado volume de veículos pesados, como caminhões e máquinas agrícolas, que intensificam

os mecanismos de deterioração do pavimento. Diante disso, torna-se necessária a adoção de intervenções de infraestrutura e de medidas de gerenciamento do tráfego capazes de otimizar a circulação, reduzir a formação de congestionamentos e elevar os níveis de segurança oferecidos aos usuários (VARGAS, 2019).

A Rua Luís Gomes e a Rua Coronel Silva Neto, localizadas no entorno da Avenida Contorno, conforme a Figura 5 e Figura 6, possuem papel relevante na estrutura viária de Balsas–MA e exercem influência direta sobre o comportamento do trânsito na região. Essas duas ruas destacam-se por concentrar cerca de cinquenta estabelecimentos comerciais, o que intensifica a circulação local. Soma-se a isso a existência de sistemas estaduais de monitoramento de sinistros de trânsito, implementados pelo Governo do Maranhão, os quais possibilitam a verificação de acidentes registrados nos cruzamentos Luís Gomes x Contorno e Silva Neto x Contorno, contribuindo para a identificação de pontos críticos de segurança viária e reforçando a pertinência da análise proposta (GOVERNO DO MARANHÃO, 2024). Diante desses elementos, os cruzamentos dessas vias com a Avenida Contorno configuram-se como áreas estratégicas para o estudo de fluxos, retenções e conflitos viários no município.

Figura 5 - Trecho Avenida Contorno Luis Gomes x Cel Silva Neto.



Fonte: adaptado Google Maps

Figura 6 - Local de estudo na Avenida Contorno.



Fonte: adaptado Google Maps

O cruzamento da Rua Luís Gomes apresenta histórico de ocorrências de trânsito que reforçam sua relevância como ponto crítico na malha viária de Balsas–MA. De acordo com dados do Sistema Estadual de Registro de Sinistros de Trânsito, disponibilizado pelo Governo do Maranhão, esse entroncamento figura entre os locais urbanos com maior incidência de colisões envolvendo motocicletas e automóveis, especialmente nos horários de pico, quando o fluxo proveniente da área comercial da Luís Gomes se concentra na Avenida Contorno (GOVERNO DO MARANHÃO, 2024). Fatores como alta densidade de estabelecimentos comerciais, circulação intensa de pedestres e conflitos de preferência entre veículos contribuem para a ocorrência de acidentes, evidenciando a necessidade de avaliações técnicas e intervenções que possam mitigar riscos e melhorar as condições de segurança viária no local.

Na rua Coronel Silva Neto apesar das incidências serem menores ainda é de total importância ser observado esse trecho em relação ao avanço de sinalização semafórica, onde os condutores tendem a manter velocidades mais altas em razão da continuidade do fluxo (AASHTO, 2020). A geometria do cruzamento também contribui para o aumento dos riscos, sobretudo pela existência de pontos de visibilidade reduzida, pela ausência de canalização adequada e pela presença de conversões simultâneas, fatores que ampliam a ocorrência de conflitos de tráfego, conforme apontam manuais de engenharia de tráfego (DENATRAN, 2018).

Levando em consideração esses conflitos, foi utilizada a simulação computacional com o software AnyLogic, permitindo criar um modelo do tráfego urbano que considera o volume de veículos e o funcionamento dos semáforos. Por meio da simulação, foi possível observar a dinâmica do trânsito, identificar pontos críticos e testar diferentes estratégias de gerenciamento urbano, oferecendo soluções práticas e contextualizadas para melhorar a mobilidade, sem a necessidade de cálculos matemáticos complexos.

## **5.2 Métodos de Coleta de Dados**

A etapa de coleta de dados de tráfego possui papel essencial no diagnóstico de mobilidade urbana, uma vez que permite identificar problemas operacionais em vias e interseções, visando esse conceito, o modelo conceitual de referência empregado para orientar a análise está ilustrado na Figura 7. Esse processo envolve a obtenção sistemática de informações como volume veicular, velocidades praticadas, composição do tráfego, tempos de atraso, taxas de ocupação e padrões de circulação de pedestres, aspectos indispensáveis para a compreensão do desempenho real da infraestrutura viária (VASCONCELLOS, 2014; SETTI; GONÇALVES, 2018). Para isso, podem ser empregadas técnicas como contagens volumétricas manuais, registros por vídeo, sensores automáticos (tubos pneumáticos, laços indutivos ou sensores eletrônicos) e consulta a bancos de dados oficiais de sinistros. Diretrizes de órgãos como o DENATRAN e a AASHTO destacam que a confiabilidade do diagnóstico depende de coletas representativas, realizadas em períodos adequados, contemplando variações horárias e sazonais (DENATRAN, 2018; AASHTO, 2020). Dessa forma, a coleta de dados constitui etapa indispensável para fundamentar propostas de melhoria, avaliar o desempenho viário e embasar medidas voltadas à segurança e à fluidez do tráfego.

Figura 7 - Modelo de coleta de dados de trafego direcional.

PESQUISA DE VOLUME DE TRÁFEGO DIRECIONAL			
Local:		x	
Aproximação:			
Croqui:			
Pesquisador:		Dia da Semana:	
Data:			
Hora	↶	↷	↘
7:00 - 7:15			
7:15 - 7:30			
7:30 - 7:45			
7:45 - 8:00			
8:00 - 8:15			
8:15 - 8:30			
8:30 - 8:45			
8:45 - 9:00			
9:00 - 9:15			
9:15 - 9:30			
Observações:			

Fonte: CONTRAN (2014)

Com base nas recomendações metodológicas presentes nas diretrizes do CONTRAN para estudos de tráfego, foram coletados dados referentes ao volume veicular no período de 25/11/2025 a 27/11/2025, distribuída em três dias úteis consecutivos — terça-feira, quarta-feira e quinta-feira. As medições foram realizadas no período da manhã, de forma a captar o comportamento típico do fluxo diário. No dia 26/11/2025, também foram coletados dados no período noturno, com o objetivo de comparar o comportamento da demanda veicular entre diferentes faixas horárias. Adicionalmente, nesse mesmo dia, foram registrados o tempo de espera e o comprimento das filas formadas nos acessos, contribuindo para a avaliação da fluidez e da eficiência operacional do cruzamento.

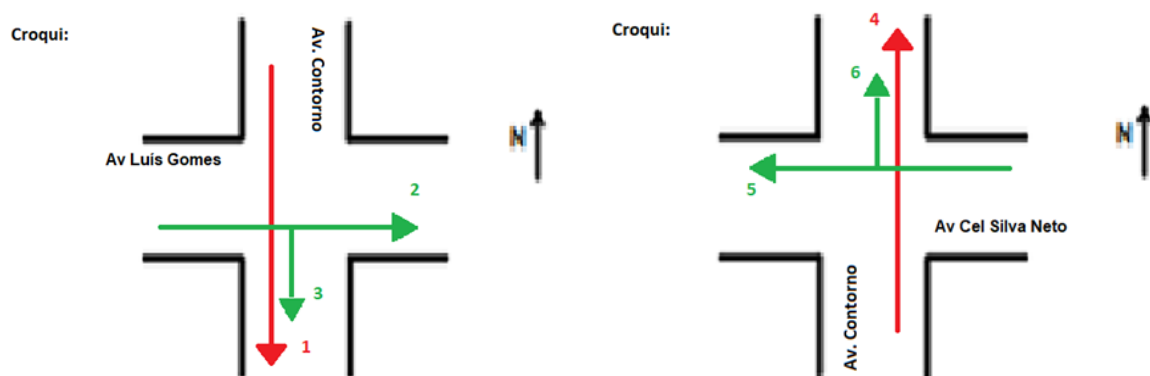
A campanha contemplou duas faixas horárias correspondentes aos principais períodos de pico diário: 07h00 às 08h00 (pico da manhã) e 17h00 às 18h00 (pico da tarde, relacionado ao retorno das atividades laborais) apenas na quarta-feira dia 26/11/2025. A inclusão desses três períodos permitiu capturar variações significativas no comportamento do tráfego ao longo do dia, ampliando a precisão do diagnóstico operacional do cruzamento.

Os dados foram registrados por meio de uma ficha de campo padronizada (apresentada na Figura 7), com intervalos regulares de 20 minutos, permitindo

discriminar o volume de veículos, as manobras executadas e a direção de origem de cada aproximação do cruzamento. Em função de limitações operacionais durante a coleta em campo (reduzindo do número de observadores e condições logísticas), adotou-se um intervalo de amostragem de 20 minutos para as contagens de fluxo veicular. Embora o procedimento padrão frequentemente citado em manuais e guias seja o uso de períodos de 15 minutos para alguns cálculos de capacidade e PHF (Peak Hour Factor), documentos técnicos nacionais e estudos metodológicos indicam que intervalos alternativos podem ser utilizados quando justificadas as razões práticas e quando conduzidas análises de compatibilização e sensibilidade. O Manual de Estudos de Tráfego do DNIT admite flexibilidade no período amostral. Contagens contínuas de aproximadamente 20 minutos são suficientes para representar o volume horário em vias com tráfego moderado a alto, enquanto intervalos maiores tendem a alterar métricas operacionais, como formação de filas e picos de demanda. Para compatibilizar os resultados com as métricas usuais, os volumes observados em cada intervalo de 20 minutos foram escalados para veículos por hora (DNIT, 2010; Clark, 2005; Shrestha, 2015; FHWA, 2013).

Esse procedimento assegurou a coleta sistemática de informações essenciais para caracterizar os padrões de circulação e identificar possíveis pontos de conflito viário. Os movimentos apresentados no croqui (Figura 8) são descritos por:

Figura 8 - Sentido do tráfego analisado da rua Luís Gomes e Coronel Silva Neto.



Fonte: Autor (2025)

- Movimento 1: corresponde à interseção da Avenida Contorno com a Avenida Luís Gomes.
- Movimento 2: corresponde a Rua Luis Gomes, rumo ao centro da cidade.

- Movimento 3: corresponde a Rua Luis Gomes, rumo a Rua Coronel Silva Neto.

Foram feitos dois estudos utilizando o mesmo croqui pois seguem a mesma base de estudo. Sendo assim temos:

- Movimento 4: é a interseção da avenida contorno com a Coronel Silva Neto.
- Movimento 5: corresponde ao Rua Coronel Silva Neto, rumo ao bairro assucena.
- Movimento 6: é seguindo o trafego em linha reta a avenida contorno rumo à próxima interseção que é a rua Br. Paulo Ramos (não está no estudo).

### 5.3 Cálculo do Fluxo Viário

A avaliação operacional de cruzamentos semaforizados requer o uso de indicadores quantitativos capazes de representar o comportamento real do tráfego. Conforme o Highway Capacity Manual (HCM, 2022) as variáveis como ciclo semaforico, comprimento médio das filas, volume veicular e tempo médio de espera são fundamentais para identificar níveis de saturação, atrasos e possíveis gargalos. Dessa forma, a aplicação desses cálculos fornece uma base técnica para compreender o desempenho do cruzamento estudado e orientar propostas de melhoria na mobilidade urbana.

O dimensionamento adequado do tempo de ciclo semaforico é essencial para garantir a fluidez e a segurança nos cruzamentos urbanos, evitando retenções excessivas e reduzindo o risco de conflitos viários, representada pela Equação 1:

$$C = \frac{1,5 * L + 5}{1 - Y} \quad (1)$$

Onde:

L = Tempo total perdido por ciclo (4s por fase);

C = Clico do semáforo

y = soma das razões de fluxo dos movimentos críticos

Segundo o Manual de Sinalização Semaforica do DENATRAN (2018), calcular o ciclo ótimo permite minimizar atrasos médios, equilibrar o atendimento dos diversos

fluxos e reduzir filas nos horários de maior demanda.

Um fator importante é o comprimento médio da fila que representa a quantidade média de veículos que aguardam parados em uma aproximação semaforizada, sendo um indicador crucial para avaliar o desempenho operacional de uma interseção. Ele demonstra se o tempo de verde é suficiente para escoar a fila acumulada, evita bloqueios em vias adjacentes e embasa propostas de ajustes geométricos ou temporização semaforizada. Segundo o Traffic Signal Timing Manual da FHWA (FHWA, 2008), a estimativa de fila média é usada amplamente em planejamento de sinais para definir tempos de verde ideais e dimensionar o espaço físico necessário. A equação comumente empregada é:

$$L = \frac{v_i * TME}{3600} * l \quad (2)$$

Onde:

L = é o comprimento médio da fila (m),

$v_i$  = é o volume veicular na aproximação crítica (veículos por hora),

TME = é o tempo médio de espera (s)

l = é o comprimento médio de um veículo (m)

Outro indicador é o volume veicular que corresponde à quantidade de veículos que atravessa um ponto da via durante um intervalo de tempo específico, normalmente expresso em veículos por hora. Trata-se de um parâmetro essencial para o planejamento e a operação do tráfego, pois subsidia o dimensionamento da capacidade viária, o projeto de sinalização e a avaliação do desempenho operacional da via. De acordo com o *Manual de Estudos de Tráfego* do DNIT (DNIT, 2010), a medição do volume permite identificar a intensidade do fluxo e compreender padrões de circulação ao longo do dia. A determinação desse parâmetro é feita por meio da Equação (3):

$$Vv = \frac{n}{t} * 3600 \quad (3)$$

Onde:

v = volume veicular (veículos/hora);

n = número de veículos contados;

t = tempo de contagem (s)

Por fim, temos a variável do tempo médio de espera que representa o intervalo durante o qual um veículo permanece parado na fila enquanto aguarda o sinal verde, sendo um indicador essencial para avaliar a eficiência do controle semafórico e a capacidade da aproximação em dissipar o volume de tráfego. Esse parâmetro permite identificar se o comprimento da via é suficiente para acomodar a demanda sem gerar bloqueios em trechos adjacentes ou comprometer a operação de cruzamentos próximos. De acordo com o *Highway Capacity Manual* (TRB, 2010), a análise do tempo de espera é indispensável para diagnosticar atrasos, medir o nível de serviço e orientar ajustes no ciclo semafórico. O tempo médio de espera pode ser estimado pela Equação (4):

$$TME = \frac{C * (1 - (\frac{G}{C}))^2}{2 * (1 - Y)} \quad (4)$$

Onde:

TME=tempo médio de espera (s);

C = ciclo total do semáforo (s);

G = tempo de verde efetivo (s);

y = taxa de fluxo (razão de fluxo crítico).

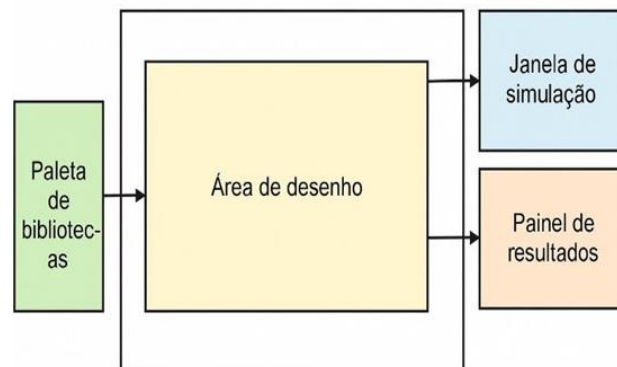
#### 5.4 Simulação do Fluxo Viário no Software AnyLogic

O AnyLogic é uma plataforma avançada de modelagem e simulação que reúne, em um único ambiente, os três principais paradigmas da área: eventos discretos, dinâmica de sistemas e modelagem baseada em agentes. Essa combinação permite representar o comportamento de sistemas complexos de maneira integrada e realista. O software disponibiliza bibliotecas específicas voltadas para tráfego rodoviário e movimentação de pedestres, além de suporte à integração com dados geográficos (GIS), o que torna possível reproduzir ruas, avenidas e redes viárias reais. Sua capacidade de visualização em 2D e 3D proporciona uma compreensão mais detalhada dos resultados e facilita a comunicação das simulações (Correia, 2017; LIU et al., 2021; Van der spek, 2017).

As Figuras 9 e 10 ilustram, respectivamente, o esboço e a interface

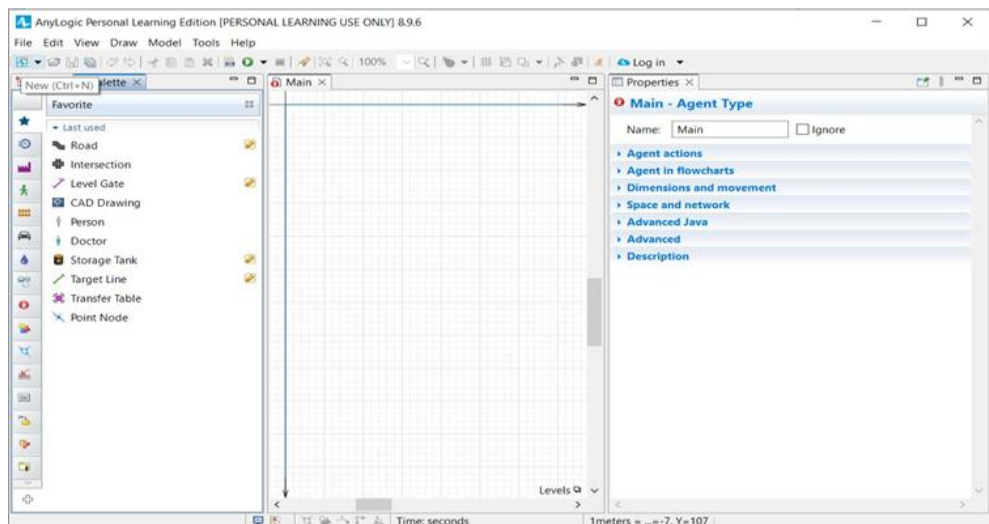
principal do AnyLogic, destacando os elementos mais utilizados no processo de modelagem e simulação. O programa se configura como uma ferramenta estratégica na gestão e otimização do tráfego urbano, permitindo testar virtualmente diversos cenários e políticas de transporte. Com ele, é possível analisar o impacto de intervenções como ajustes em tempos semafóricos, criação de faixas exclusivas e reorganização de cruzamentos, antes da aplicação no ambiente real. Ao representar a interação entre veículos, pedestres e sistemas de controle de tráfego, o software fornece resultados quantitativos — como tempo médio de viagem, níveis de congestionamento e capacidade de escoamento das vias — que auxiliam engenheiros e gestores públicos na tomada de decisões mais fundamentadas (LIU et al., 2021; PESSOA et al., 2025).

Figura 9 - Esboço da interface do software Anylogic.



Fonte: Autor (2025)

Figura 10 - : Interface real do software Anylogic.



Fonte: Anylogic (2025)

A interface do AnyLogic foi projetada para tornar o processo de modelagem intuitivo e eficiente. Entre seus principais componentes, destacam-se:

- a paleta de bibliotecas, que reúne objetos e elementos prontos para os diferentes tipos de modelagem;
- a área de desenho, na qual o modelo é construído graficamente; o painel de propriedades, usado para ajustar parâmetros, funções variáveis de cada elemento;
- a janela de simulação, que exibe a execução do modelo em tempo real;
- o painel de resultados, responsável por apresentar gráficos, tabelas e indicadores gerados durante a simulação.

O software AnyLogic permite a obtenção das mesmas variáveis operacionais coletadas durante a etapa de observação em campo, tais como tempos de espera, extensão de filas, volumes veiculares e ocupação das abordagens. Essa correspondência é fundamental para assegurar consistência metodológica entre o sistema observado e o sistema modelado, permitindo que o processo de calibração e validação da simulação se apoie em métricas comparáveis. Estudos de modelagem microscópica reforçam a importância dessa equivalência de variáveis para a confiabilidade da simulação e para a posterior análise de desempenho do sistema viário (BARCELOS; SILVA, 2022; FHWA, 2018).

Com base nessas variáveis, será realizada uma análise comparativa entre a operação empírica do cruzamento e a operação resultante dos modelos simulados. Essa comparação não tem como único propósito verificar a adequação dos tempos semafóricos vigentes, mas também avaliar o comportamento dinâmico do sistema, identificando discrepâncias, gargalos operacionais e efeitos de saturação que não são perceptíveis apenas por inspeção visual. Conforme apontam metodologias baseadas no *Highway Capacity Manual* (HCM, 2022), a comparação entre atrasos, filas e níveis de serviço constitui instrumento analítico relevante para a avaliação da eficiência operacional de interseções semaforizadas (TRB, 2022).

Dessa forma, serão simulados três cenários principais no AnyLogic: (i) o cenário atual de operação, utilizado como referência; (ii) um cenário otimizado, no

qual ajustes nos tempos de verde buscam minimizar atrasos e filas; e (iii) um cenário coordenado entre os semáforos ao longo do trecho, a fim de avaliar a operação conjunta do sistema. A escolha desses cenários alinha-se às recomendações internacionais de simulação aplicada ao gerenciamento do tráfego, que destacam o uso da modelagem não apenas como ferramenta de validação, mas também como instrumento de apoio à tomada de decisão e à otimização da infraestrutura existente (KIKUCHI; LI, 2019; FHWA, 2018).

Para fins de análise e intervenção, serão considerados diferentes cenários de simulação no software AnyLogic. O primeiro cenário corresponde à condição operacional atual, caracterizando-se como cenário-base. Esse cenário serve como referência para a comparação de desempenho, permitindo avaliar o comportamento do sistema semaforizado existente e seus efeitos sobre as variáveis operacionais de interesse. A adoção desse cenário inicial é recomendada em estudos de simulação de tráfego, por fornecer um padrão empírico para calibração e validação dos modelos computacionais (FHWA, 2018; TRB, 2022).

O segundo cenário contempla a otimização dos tempos semaforizados, buscando ajustar as durações de verde, amarelo e vermelho de modo a reduzir tempos de espera, atrasos e formação de filas nas abordagens. Esse tipo de intervenção visa melhorar o nível de serviço do cruzamento, ampliando sua eficiência sob a mesma capacidade física instalada. A literatura destaca que simulações com otimização são essenciais para identificar potenciais ganhos operacionais antes da implementação em campo, reduzindo custos e ampliando o embasamento técnico da tomada de decisão (KIKUCHI; LI, 2019; BARCELOS; SILVA, 2022).

Por fim, será avaliado um terceiro cenário envolvendo a coordenação dos semáforos ao longo do trecho, permitindo analisar o funcionamento integrado entre interseções adjacentes. A coordenação é particularmente relevante em vias com tráfego contínuo, pois possibilita sincronizar eventos de liberação e reduzir oscilações na formação de pelotões veiculares. Estudos indicam que estratégias de coordenação contribuem para a redução de atrasos acumulados, mitigação de paradas sucessivas e maior regularidade dos fluxos (TRB, 2022; FHWA, 2018). A avaliação desse cenário permite, portanto, explorar o desempenho sistêmico da infraestrutura e não apenas a performance isolada de um cruzamento.

## 6. RESULTADOS

Nesta seção são apresentados, analisados e discutidos os resultados obtidos a partir das coletas de dados em campo, do tratamento estatístico dos volumes veiculares e das simulações computacionais realizadas. Inicialmente, são descritas as condições operacionais observadas no cruzamento, considerando volumes, tempos semaforicos, formação de filas e níveis de atraso. Em seguida, são avaliados os cenários propostos no software Anylogic, que permitiram testar diferentes combinações de tempos de verde, ciclos e lógica de controle. A comparação entre esses cenários possibilita identificar ganhos de desempenho, redução de conflitos e melhorias potenciais na fluidez do tráfego.

### 6.1 Tráfego

Após a coleta e organização dos dados obtidos em campo, foi possível realizar uma análise detalhada do comportamento do tráfego no cruzamento estudado, considerando os três movimentos veiculares presentes em cada aproximação: conversão à direita, conversão à esquerda e deslocamento em frente. A Figura 11 apresenta a distribuição de dados coletados no local, com base nas medições realizadas em três períodos distintos do dia: manhã (das 07h00 às 08h00), tarde (das 11h00 às 12h00) e noite (das 17h00 às 18h00). Esses intervalos foram selecionados por representarem os horários de maior demanda, permitindo identificar padrões de circulação, variações de fluxo ao longo do dia e possíveis desequilíbrios entre os movimentos, os quais influenciam diretamente o desempenho operacional do cruzamento.

Analisando os gráficos referentes à distribuição dos volumes de tráfego nos trechos Avenida Luís Gomes rumo Contorno C. Silva Neto e Avenida Contorno C. Silva Neto rumo Dr. Paulo Ramos, nos dias 25, 26 e 27 de novembro de 2025, observa-se, em todos os dias e em ambos os sentidos analisados, que o movimento reto é sistematicamente o que apresenta as maiores contagens de veículos, com valores significativamente superiores aos movimentos de direita e esquerda. Esse padrão está de acordo com a literatura de engenharia de tráfego, que identifica o movimento reto como responsável pela maior parcela do fluxo nas aproximações de interseções urbanas, representando frequentemente entre 60% e 80% da demanda total (WRIGHT; DIXON, 2020).

Nos três dias de coleta, verifica-se que os valores de tráfego para os movimentos de direita e esquerda mantêm-se estáveis e relativamente baixos, sem variações expressivas ao longo dos intervalos analisados. Essa estabilidade indica que esses movimentos apresentam menor influência na capacidade operacional das aproximações, o que é compatível com cruzamentos urbanos onde o fluxo principal se concentra na continuidade longitudinal da via — cenário comum em corredores de ligação entre bairros ou regiões centrais. Esse comportamento é descrito também em estudos sobre comportamento do tráfego urbano realizados por Vuchic (2017), que apontam maior previsibilidade e estabilidade nos movimentos secundários durante picos matinais.

Ao comparar os dias de coleta, nota-se que não há variações abruptas entre os volumes registrados nos dias 25, 26 e 27, indicando um padrão de demanda relativamente previsível e rotineiro. Essa repetitividade é típica de fluxos direcionados ao deslocamento casa-trabalho ou casa-escola, que apresentam elevado grau de regularidade diária, conforme descrito no *Traffic Flow Theory* (GERLOUGH; HUBER, 2019). Tal estabilidade reforça que os dados coletados são representativos da operação real do tráfego nesses trechos, dando confiabilidade à interpretação dos volumes observados.

Outro ponto relevante é que, nos três dias, o intervalo 07h40–08h00 apresenta discretamente os maiores volumes nos movimentos retos, indicando que a aproximação ao horário comercial e escolar intensifica a demanda. Esse comportamento é confirmado em diretrizes modernas de mobilidade urbana que apontam o final do pico da manhã como o momento de maior concentração de fluxo contínuo nas vias principais (FHWA, 2021). Essa observação é fundamental para orientar decisões de otimização semaforica, caso o município opte por ajustes de tempos ou coordenação semaforica futura.

Por fim, ao avaliar os dois sentidos apresentados nos gráficos, percebe-se que ambos seguem o mesmo comportamento: reto é dominante; direita e esquerda são secundários; e a variação entre horários é leve, mas consistente como mostra a Figura 12. Esse padrão reforça que o eixo analisado atua como via coletora/arterial, recebendo grande fluxo longitudinal e distribuindo volumes moderados para as vias transversais. De acordo com o Federal Highway Administration (FHWA, 2021), vias com esse tipo de comportamento tendem a manter boa fluidez operacional desde que seus ciclos semaforicos priorizem adequadamente o movimento de maior demanda

— o que os dados sugerem ser especialmente recomendado para o movimento reto nos trechos analisados.

Figura 11 – Distribuição de dados coletados no dia (25/11/25 – 27/11/2025).



Fonte:Autor(2025)

Além disso, observa-se que o cruzamento entre a Avenida Contorno e a Rua Luís Gomes apresenta elevada complexidade operacional, caracterizada pela presença de veículos leves, médios e pesados, que realizam movimentos tanto à esquerda quanto seguindo em frente — porem tem a movimentação do lado direito da

farmacia que atravessa a avenida contorno para esquerda para bairros comerciais como o Centro de Balsas-Ma. Essa mistura de tipologias veiculares, associada ao volume intenso, contribui significativamente para o risco de acidentes no local. Observa-se um fluxo expressivo de veículos no trecho que utilizam a Rua Luís Gomes para acessar a Rua Coronel Silva Neto, reforçando o papel desse cruzamento como ponto de conexão importante entre vias de características distintas. Esse volume elevado, somado à diversidade de movimentos permitidos, intensifica a necessidade de melhorias na sinalização e no controle do tráfego para reduzir conflitos e aumentar a segurança viária (Fernandes; Cybis, 2011).

Ao observar a Figura 11(b), referente ao período da manhã, e a Figura 12, referente ao período noturno, nota-se um comportamento distinto entre os movimentos analisados. Pela manhã, o movimento à esquerda apresenta maior volume de veículos. Esse resultado está associado ao fato de que esse movimento direciona o fluxo em direção ao centro da cidade, concentrando veículos de trabalhadores e estudantes que se deslocam para suas atividades diárias. Os movimentos de conversão à direita e à esquerda, embora menos expressivos, mantêm participação relevante, o que sugere demanda por manobras laterais que devem ser consideradas na definição de faixas de conversão, sinalização e configurações semaforicas (DNIT,2010)

Por outro lado, no período noturno, observa-se que o movimento à direita torna-se predominante. Esse aumento ocorre porque, nesse horário, os veículos realizam o trajeto inverso, retornando para os bairros residenciais após o expediente, o que intensifica o fluxo nesse sentido. Essa diferença entre os períodos reforça o padrão típico de mobilidade urbana: pela manhã, maior deslocamento em direção à área central, e à noite, maior retorno aos bairros, justificando a variação observada nos volumes de tráfego entre os movimentos esquerdo e direito. Esses resultados oferecem subsídios importantes para o planejamento de intervenções: a predominância do movimento “reto” aponta para a necessidade de garantir fluidez e capacidade operacional da via principal, enquanto os volumes de conversão reforçam a importância de manter geometrias e controles adequados para evitar conflitos e atrasos, conforme destacado por (Pereira; Setti, 2019 ) em estudos de interseções urbanas.

Figura 12 – Distribuição de dados coletados no dia 26/11/25 (noite).



Fonte:Autor (2025)

Ainda assim, os dados coletados já permitem indicar potenciais caminhos de melhoria, como ajustes semaforicos, implantação de faixas de conversão ou readequações geométricas destinadas a aumentar a segurança e a fluidez no cruzamento. Em síntese, os resultados obtidos revelam tendências claras na hierarquia de fluxos e fornecem base inicial para intervenções, em conformidade com recomendações dos manuais técnicos e da literatura recente em engenharia de tráfego.

Outro ponto a ser observado é que a partir da validação da modelagem, tornou-se possível analisar indicadores operacionais essenciais para a avaliação do desempenho da interseção, com destaque para o tempo de espera dos veículos e o comprimento médio das filas. Esses parâmetros são amplamente utilizados na engenharia de tráfego para mensurar o nível de serviço das aproximações e identificar possíveis condições de saturação do sistema viário. Conforme relatado pelo Transportation Research Board (2022), o aumento do tempo de espera e do comprimento de fila está diretamente relacionado à redução da capacidade operacional e à piora do nível de serviço, sendo fatores determinantes na tomada de decisão para ajustes semaforicos e coordenação de fluxo em vias urbanas. Assim, os resultados obtidos a partir da simulação possibilitaram avaliar de forma comparativa o desempenho entre o cenário real e o modelado, subsidiando a interpretação dos efeitos da intervenção proposta.

Considerando que o levantamento de volumes veiculares foi realizado no dia 26/11/2025, adotou-se esse mesmo dia e intervalo de observação para a análise dos indicadores operacionais de desempenho, especificamente o tamanho das filas formadas e o tempo de espera dos veículos nas aproximações

da avenida conforme as Tabelas 1 à 5. Essa padronização temporal permite comparar, de forma consistente, o comportamento do sistema real com os resultados obtidos na simulação, uma vez que tais indicadores são sensíveis às variações de demanda ao longo do dia. Conforme apontado por Khisty e Lall (2020), a utilização de parâmetros equivalentes entre o campo e a simulação é um elemento essencial para assegurar a coerência analítica e a confiabilidade na avaliação comparativa de alternativas operacionais de tráfego.

*Tabela 1 - Dados reais do tamanho da fila e tempo (Trecho da Luiz Gomes).*

<b>TRECHO DA LUIZ GOMES</b>						
<b>Horario</b>	<b>Quantidade de carro</b>	<b>Virou a direita</b>	<b>Virou esquerda</b>	<b>Reto</b>	<b>Tamanho da fila (m)</b>	<b>Tempo (s)</b>
07:00 as 07:20	23	2	10	11	28	13
07:20 as 07:40	10	1	6	3	15	13
07:40 as 08:00	15	2	4	9	20	13

Fonte:Autor (2025)

*Tabela 2 - Dados reais do tamanho da fila e tempo (Trecho avenida contorno/ da luiz gomes).*

<b>TRECHO AVENIDA CONTORNO/ DA LUIZ GOMES</b>						
<b>Horario</b>	<b>Quantidade de carro</b>	<b>Virou a direita</b>	<b>Virou esquerda</b>	<b>Reto</b>	<b>Tamanho da fila (m)</b>	<b>Tempo (s)</b>
07:00 as 07:20	30	0	0	30	35	14
07:20 as 07:40	20	0	0	20	25	14
07:40 as 08:00	21	0	0	21	26	14

Fonte:Autor (2025)

Tabela 3 - Dados reais do tamanho da fila e tempo (Trecho entre c silva neto e luis gomes, voltando).

<b>TRECHO ENTRE C SILVA NETO E LUIS GOMES (VOLTANDO)</b>						
<b>Horario</b>	<b>Quantidade de carro</b>	<b>Virou a direita</b>	<b>Virou esquerda</b>	<b>Reto</b>	<b>Tamanho da fila (m)</b>	<b>Tempo (s)</b>
07:00 as 07:20	15	3	0	12	20	12
07:20 as 07:40	6	1	0	5	11	12
07:40 as 08:00	9	2	0	7	14	12

Fonte:Autor (2025)

Tabela 4 - Dados reais do tamanho da fila e tempo (Trecho entre luiz gomes e c silva neto, indo).

<b>TRECHO ENTRE LUIZ GOMES E C SILVA NETO (INDO)</b>						
<b>Horario</b>	<b>Quantidade de carro</b>	<b>Virou a direita</b>	<b>Virou esquerda</b>	<b>Reto</b>	<b>Tamanho da fila (m)</b>	<b>Tempo (s)</b>
07:00 as 07:20	13	4	0	9	18	12
07:20 as 07:40	11	2	0	9	16	12
07:40 as 08:00	5	3	0	2	10	12

Fonte:Autor (2025)

Tabela 5 - Dados reais do tamanho da fila e tempo (Trecho da coronel silva neto).

<b>TRECHO DA CORONEL SILVA NETO</b>						
<b>Horario</b>	<b>Quantidade de carro</b>	<b>Virou a direita</b>	<b>Virou esquerda</b>	<b>Reto</b>	<b>Tamanho da fila (m)</b>	<b>Tempo (s)</b>
07:00 as 07:20	25	6	4	15	30	12
07:20 as 07:40	18	5	3	10	23	13
07:40 as 08:00	22	12	4	6	27	13

Fonte:Autor (2025)

A partir da análise dos dados apresentados nas Tabelas 1 à 5, observa-se que o trecho com maior extensão média de fila foi o localizado na Avenida Contorno no acesso proveniente da Rua Luiz Gomes, com valores variando entre 25 e 35 veículos no intervalo entre 07:00 e 08:00. Esse comportamento indica uma condição operacional mais crítica nesse ponto, possivelmente associada ao elevado volume de veículos que realizam o movimento reto, somado ao fato de a via funcionar como corredor principal de distribuição de tráfego entre bairros adjacentes. Em seguida, destaca-se o trecho da Rua Coronel Silva Neto, que também apresentou filas significativas, chegando a 30 veículos no período de maior demanda, indicando a presença de gargalos na dissipação do fluxo. Os demais trechos monitorados apresentaram filas menores, variando entre 10 e 20 veículos, revelando condições de saturação menos acentuadas. Conforme destacado pelo *Highway Capacity Manual* (TRB, 2022), a formação de filas está diretamente relacionada à relação entre demanda e capacidade, sendo amplificada em pontos de confluência viária e em interseções semaforizadas com ciclos não otimizados para as condições reais de tráfego.

A análise dos cenários observados indica preliminarmente que a sinalização viária atualmente implantada não se mostra suficiente para atender à demanda operacional registrada no local. Essa inadequação se evidencia pela ocorrência de conflitos de circulação, tempos de espera elevados e formação de filas nos períodos de maior fluxo, demonstrando a necessidade de revisão e adequação dos dispositivos de sinalização para garantir melhores níveis de fluidez e segurança aos usuários da via, conforme previsto nas diretrizes do *Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito* (BRASIL, 2023).

## 6.2 Modelos Matemáticos

A avaliação do desempenho do cruzamento teve como base três métricas essenciais: tempo médio de espera (TME), comprimento médio de fila (CMF) e CE: capacidade estimada (veículos). A determinação desses indicadores seguiu os princípios analíticos desenvolvidos por Webster (1958), cuja formulação é amplamente utilizada em estudos de capacidade e controle semafórico. Além disso, foram consideradas interpretações e aplicações contemporâneas presentes em manuais técnicos de engenharia de tráfego, que reforçam e expandem o uso das

equações propostas pelo autor. A partir dessa abordagem metodológica, obtiveram-se os valores apresentados nas Tabelas 6 e 7.

*Tabela 6 - : Resultados via modelos matematicos(Trecho avenida contorno / luis gomes ).*

TRECHO AVENIDA CONTORNO / LUIS GOMES									
	1 DIA			2 DIA			2 DIA		
	DIREITA	ESQUERDA	RETO	DIREITA	ESQUERDA	RETO	DIREITA	ESQUERDA	RETO
MVV *	480	500	800	483	515	810	470	472	790
CE **	1860	2450	3500	1860	2450	3500	1860	2450	3500
TME ***	10	10	12	10	10	12	10	10	12
CMF****	12,66	10,66	20,55	13,88	9,45	22,32	11,22	9,15	20,82

Fonte: Autor (2025)

*Tabela 7 - : Resultados via modelos matematicos(Trecho avenida contorno / luis gomes ).*

TRECHO AVENIDA CONTORNO / LUIS GOMES									
	1 DIA			2 DIA			2 DIA		
	DIREITA	ESQUERDA	RETO	DIREITA	ESQUERDA	RETO	DIREITA	ESQUERDA	RETO
MVV *	300	250	800	483	515	810	470	472	790
CE **	2100	1850	2500	2100	1850	2500	2100	1850	2500
TME ***	10	10	12	10	10	12	10	10	12
CMF****	9,23	10,12	18,45	9,86	10,65	19,22	8,95	9,87	18,36

Fonte: Autor (2025)

\* MVV: Média de Volume Veicular (veículo/h);

\*\* CE: Capacidade Estimada (veículos);

\*\*\* TME: Tempo médio de espera

\*\*\*\* CMF: Comprimento médio da fila (m)

Levando em consideração as Tabelas 6 e 7 para maior entendimento das ruas temos que:

- Movimento direita é Rua Coronel Silva Neto rumo ao bairro Assussena
- Movimento Esquerda é a Rua Luis Gomes rumo ao Centro da cidade
- Movimento reto é a Avenida Contorno em linha reta

A partir da análise das Tabelas 6 e 7, observa-se que o movimento reto é o que apresenta os maiores volumes médios de veículos. Embora esses valores ainda se mantenham dentro da capacidade operacional prevista para as vias, é necessário

atenção quanto ao avanço do crescimento urbano, a fim de evitar situações de saturação em um futuro próximo. Os tempos médios de espera, variando entre 10 e 12 segundos, permanecem dentro dos limites considerados adequados para interseções dessa natureza. Já o comprimento médio de fila, situado entre 15 e 16 metros, indica a formação de acúmulos pontuais de veículos, especialmente nos horários de maior fluxo. No caso específico do trecho da Rua Luís Gomes no sentido da Coronel Silva Neto, apesar dos indicadores estarem formalmente dentro dos padrões aceitáveis, a situação requer cautela, pois a presença frequente de veículos de grande porte tende a agravar o nível de ocupação e aumentar o risco de retenções mais prolongadas (KHISTY; LALL, 2020).

Levando em consideração as Tabelas 1 à 7 em relação a comparação entre os valores obtidos in loco e aqueles estimados por meio dos cálculos teóricos evidencia que, embora os tempos médios de espera tenham apresentado compatibilidade, o mesmo não ocorreu em relação ao tamanho das filas, que atingiram 35 veículos no cenário real contra apenas 16 veículos na modelagem teórica. Essa divergência é esperada, uma vez que os modelos matemáticos clássicos de estimativa de fila consideram hipóteses simplificadoras, como fluxo homogêneo, velocidades uniformes e ausência de perturbações locais, o que tende a subestimar o acúmulo de veículos em contextos urbanos reais. Já no ambiente físico, fatores como hesitação dos motoristas, ocupação parcial de faixa, variação da aceleração, presença de veículos pesados, necessidade de conversão e comportamento oportunista de entrada na fila contribuem para o alongamento da fila, ampliando o impacto da demanda sobre a capacidade local da interseção. Estudos recentes confirmam que a diferença entre a condição operacional simulada ou teórica e a observada pode ser significativa quando as aproximações assumem elevada complexidade comportamental e geométrica (TRB, 2022; BARTH; WU, 2023).

A análise dos dados apresentados para os trechos da Avenida Contorno — Luis Gomes e C. Silva Neto — evidencia um comportamento consistente entre os dois cruzamentos, com o movimento reto concentrando os maiores volumes médios de veículos em todos os cenários avaliados. Esse padrão está em conformidade com a literatura, que aponta que movimentos retos absorvem a maior parte da demanda em interseções urbanas devido à sua função predominante no escoamento longitudinal do tráfego (ROESS; PRASSAS; McSHANE, 2020). Apesar dessa concentração de fluxo, observa-se que a capacidade estimada (CE) permanece significativamente

superior aos volumes registrados, indicando que ambos os trechos ainda operam abaixo do nível de saturação previsto pelo *Highway Capacity Manual* (TRB, 2022).

Os tempos médios de espera (TME), variando entre 9 e 12 segundos nas duas vias analisadas, correspondem a níveis de serviço elevados (A/B), indicando boas condições operacionais e fluidez satisfatória para os movimentos de direita, esquerda e reto. Essa performance está de acordo com o que descrevem Khisty e Lall (2020), que associam TMEs baixos a interseções com adequada distribuição de tempos semafóricos e reduzida interferência operacional. O coeficiente de movimentos (CMF), porém, reforça a predominância e criticidade do movimento reto: no trecho Luis Gomes, os valores variam entre 20 e 23, superiores aos do trecho C. Silva Neto, que apresenta CMFs entre 18 e 19. Segundo o Manual Brasileiro de Sinalização Semafórica (DENATRAN, 2023), movimentos com maior CMF exigem atenção especial na programação semafórica, pois estão mais sujeitos a aproximar-se de estados de saturação futura.

Comparando os dois trechos, nota-se que o segmento Luis Gomes apresenta níveis de demanda ligeiramente maiores e, conseqüentemente, maior pressão operacional, mesmo ainda operando dentro da capacidade disponível. Estudos recentes sobre desempenho de interseções urbanas (HUTTON et al., 2024) destacam que trechos com maior dominância de movimentos retos tendem a exigir intervenções preventivas ao longo do crescimento urbano, como ajustes de ciclos semafóricos, sincronização coordenada ou ampliação estrutural de capacidade. Assim, embora ambos os cruzamentos apresentem atualmente condições adequadas de operação, o trecho Luis Gomes se configura como o ponto mais suscetível à saturação futura, devendo ser monitorado com maior atenção no planejamento de mobilidade da região.

Com as características do cruzamento observados, utilizou-se os dados obtidos pelas Tabelas 6 e 7 para calcular os ciclos semafóricos do cruzamento em questão, valores esses que estão expostos nas Tabelas 8 e 9.

Levando esses dados em consideração a análise dos tempos semafóricos apresentados para os dois cenários evidencia um comportamento operacional semelhante, com pequenas variações que influenciam diretamente o desempenho do cruzamento. No primeiro caso, observa-se um ciclo total de 58 s, com tempo amarelo de 4 s, tempo de vermelho de 30 s e tempo de verde de 26 s para a abordagem da Avenida Contorno com a Luís Gomes. Esse arranjo resulta em um tempo médio de espera de aproximadamente 11 s e em um comprimento médio de fila de 15 m. Já no

segundo caso, embora o ciclo e o tempo amarelo permaneçam iguais, identifica-se uma leve redução nos tempos de vermelho (29 s) e de verde (25 s), preservando, porém, o mesmo tempo médio de espera (11 s) e praticamente o mesmo comprimento de fila (15 m).

Os resultados obtidos indicam a necessidade de uma otimização dos tempos semaforicos, uma vez que, embora os cenários apresentem tempos médios de espera e comprimentos de fila relativamente estáveis, a proximidade entre os valores de vermelho e verde sugere que a interseção opera muito próxima do limite ideal de desempenho. Pequenos ajustes — especialmente no balanceamento entre os tempos de abertura para cada abordagem — podem melhorar a fluidez e reduzir a formação de filas, sobretudo nos horários de maior movimento. De acordo com Pereira e Setti (2019), a revisão periódica dos tempos de sinalização é essencial para garantir que a operação permaneça eficiente diante das variações de demanda, evitando sobrecargas e minimizando atrasos. Nesse contexto, aplicar métodos de otimização, como ajustes dinâmicos ou simulações baseadas em volume real, torna-se fundamental para aprimorar o desempenho global da interseção.

*Tabela 8 - Resultados do ciclo semaforico obtidos pelos modelos matemáticos (Avenida contorno luis gomes ).*

	TEMPO (S)	TEMPO MEDIA DE ESPERA	COMPRIMENTO DA FILA (M)
<b>CICLO SEMAFÓRICO</b>	58		
<b>TEMPO AMARELO</b>	4		
AVENIDA CONTORNO	Tempo Vermelho	30	11
LUIS GOMES	Tempo Verde	26	15
	<b>30</b>	<b>4</b>	<b>26</b>

Fonte: Autor (2025)

*Tabela 9 - Resultados do ciclo semaforico obtidos pelos modelos matemáticos (Luis gomes rumo coronel silva neto).*

	TEMPO (S)	TEMPO MEDIA DE ESPERA	COMPRIMENTO DA FILA (M)
<b>CICLO SEMAFÓRICO</b>	58		
<b>TEMPO AMARELO</b>	4		
LUIS GOMES RUMO	Tempo Vermelho	29	11
CORONEL SILVA	Tempo Verde	25	14
NETO	<b>29</b>	<b>4</b>	<b>25</b>

Fonte: Autor (2025)

Os resultados analisados reforçam a importância de planejar e dimensionar adequadamente os tempos semaforicos, de modo a garantir maior fluidez ao tráfego e reduzir os tempos de espera nas interseções urbanas. Essa necessidade é amplamente discutida no *Signal Timing Manual – Second Edition* (NCHRP Report 812, 2015) e em estudos recentes sobre controle semaforico urbano, que apontam que a distribuição do tempo de verde conforme a demanda de cada movimento contribui para evitar o acúmulo de veículos em abordagens específicas e favorece uma operação mais coordenada e eficiente. Pesquisas dedicadas à otimização dinâmica de ciclos, como as de Eom e Kim (2020), também demonstram que ajustes finos nos tempos de abertura podem melhorar substancialmente o desempenho operacional.

No presente estudo, os dados obtidos confirmam esse comportamento, uma vez que ambas as vias analisadas apresentaram desempenho semelhante e tempos de espera equilibrados, indicando que estratégias de controle semaforico bem distribuídas constituem boas práticas para a gestão do tráfego urbano. Além disso, a integração entre métricas quantitativas e observações de campo amplia a precisão das decisões relacionadas ao planejamento viário, reforçando, conforme discutido por Silva e Sousa (2021), a necessidade de monitoramento contínuo e de ajustes operacionais adequados para garantir a eficiência do sistema ao longo do tempo.

Portanto, os modelos matemáticos adotados atuam como base técnica para o processo de simulação, assegurando coerência entre os dados coletados em campo e o ambiente computacional. Essa etapa é fundamental para garantir que os resultados obtidos representem de forma fidedigna as condições reais de operação, permitindo análises mais precisas quanto ao desempenho da via e subsidiando tomadas de decisão em estudos de mobilidade e otimização do tráfego, conforme apontam diretrizes de modelagem e simulação aplicadas ao trânsito (Akçelik; Besley, 2022).

### **6.3 Simulação do Anylogic**

Após a conclusão dos cálculos necessários à avaliação do desempenho do tráfego, avançou-se para a etapa de simulação em estudo por meio do software Anylogic, ferramenta de uso consolidado na simulação e na avaliação de sistemas dinâmicos, incluindo estudos voltados à movimentação e ao desempenho de fluxos de tráfego (NASCIMENTO; MIRANDA, 2022; FONTES; ARAÚJO; CASTRO NETO,

2022). Os resultados da simulação evidenciaram a conveniência de modificar o ciclo semafórico originalmente estabelecido, promovendo sua alteração de 58 para 68 segundos para melhor adequação ao cenário real. A alteração mostrou-se mais alinhada ao comportamento real da interseção, corroborando as orientações técnicas apontadas por estudos atuais que tratam da otimização e da eficiência operacional de interseções controladas por semáforos (SINGH; SINGH; AGGARWAL, 2023).

Tendo em vista a utilização de ferramentas de simulação, como o software AnyLogic, tem se mostrado fundamental para apoiar processos de otimização semafórica em ambientes urbanos, permitindo a representação detalhada das interações veiculares e a avaliação de diferentes cenários operacionais antes de sua implementação em campo. Segundo a Federal Highway Administration – FHWA (2019), a simulação computacional oferece vantagens importantes, como a possibilidade de testar combinações de tempos de ciclo, fases e coordenação semafórica sem interferir diretamente no tráfego real. Estudos recentes, como os de Gartner, Messmer e Papageorgiou (2018), reforçam que modelos baseados em agentes — como os utilizados no AnyLogic — são particularmente eficazes para analisar comportamentos dinâmicos em interseções, proporcionando resultados mais precisos na identificação de atrasos, filas e gargalos. Pesquisas atuais também confirmam essa tendência: Steyn, Khamoshi e Treiber (2024) demonstram que simulações microscópicas associadas a modelos de agentes ampliam a precisão na avaliação de desempenho operacional, enquanto Shao, Zhang e Wang (2024) ressaltam o potencial de abordagens híbridas orientadas por dados para otimizar tempos semafóricos em redes urbanas complexas.

De acordo com o Highway Capacity Manual (TRB, 2022) e estudos complementares como os de Wong, Visser e Farah (2023) e Chen, Li e Han (2024), estratégias de otimização que integram análise de campo e simulação apresentam resultados superiores, permitindo ajustes de tempos de verde alinhados à demanda real e redução significativa de atrasos. Assim, o uso do AnyLogic no presente estudo contribui de forma substancial para a definição de estratégias semafóricas mais eficientes, garantindo maior fluidez, menor tempo médio de espera e mitigação de conflitos operacionais.

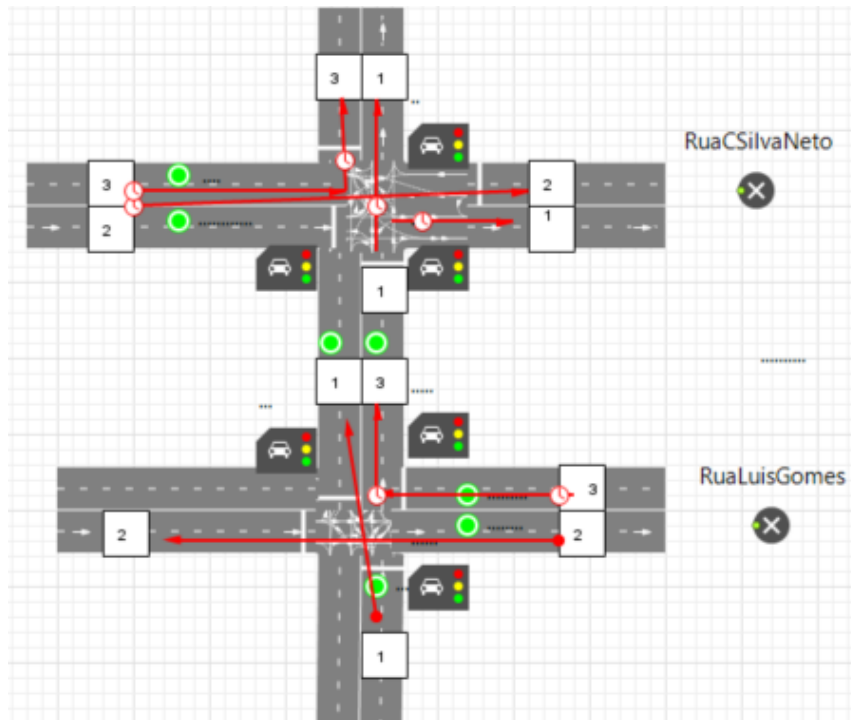
A otimização semafórica desempenha papel essencial para o desempenho adequado das vias urbanas, pois permite ajustar os tempos de sinalização de forma coerente com a demanda real de tráfego, reduzindo atrasos, filas e conflitos viários.

De acordo com estudos do Institute of Transportation Engineers (ITE, 2021), sistemas semafóricos otimizados contribuem significativamente para o aumento da eficiência operacional, assegurando melhor distribuição dos tempos de verde entre os movimentos concorrentes. A European Conference of Transport Research (ECTRI, 2023) destaca que a aplicação de algoritmos de otimização em interseções urbanas reduz os impactos ambientais associados à circulação veicular e melhora o desempenho energético das redes de tráfego. Pesquisas recentes, como as de Ma, He e Jin (2023), demonstram que modelos avançados de otimização aliados a dados em tempo real resultam em menor variabilidade nos tempos de viagem e maior previsibilidade operacional. Além disso, Hu et al. (2024) reforçam que abordagens baseadas em inteligência computacional proporcionam melhorias consistentes na segurança viária ao reduzir pontos de conflito e minimizam a necessidade de intervenções estruturais. Dessa forma, em contextos urbanos dinâmicos e em constante expansão, a calibração contínua dos tempos semafóricos torna-se indispensável para manter níveis adequados de operação e promover uma mobilidade mais eficiente e sustentável.

Levando em consideração esse conceito, a Figura 13 nos apresenta que os cruzamentos analisados são constituídos por três movimentos principais, identificados durante a etapa de coleta de dados. No modelo, os marcadores verdes representam os pontos de retenção veicular, gerados a partir da configuração realizada por meio do elemento *Omniverse Connector*, responsável por controlar a taxa de geração e o fluxo dos veículos no ambiente simulado. Em seguida, essas informações são encaminhadas ao *statechart*, onde são definidos os tempos correspondentes às fases do ciclo semafórico, incluindo intervalos de verde e vermelho.

Com base na simulação, observou-se que, no trecho correspondente à Rua Luís Gomes, os movimentos 2 e 3 apresentam formação de filas quando o sinal opera na fase vermelha. Entre a Rua Luís Gomes e a Rua Coronel Silva Neto, o congestionamento é mais evidente nos movimentos 1 e 3. Por fim, na Rua Coronel Silva Neto, a formação de filas ocorre predominantemente nos movimentos 2 e 3, comportamento compatível com a literatura que trata de desempenho operacional e interação entre fluxos conflitantes em interseções semaforizadas (KHISTY; LALL, 2020).

Figura 13 - Simulação pelo software Anylogic.



Fonte: Autor (2025)

Dessa forma, os tempos registrados e o volume de veículos foram incorporados ao software, que foi ajustado para reproduzir o funcionamento do ciclo semafórico do cruzamento, como ilustrado na Figura 13. A partir dessa configuração, foram definidos uma avaliação operacional, de acordo com a Figura 14.

Figura 14 - Resultados otimizados do ciclo semafórico.

	TEMPO (S)		TEMPO MÉDIA DE ESPERA	COMPRIMENTO DA FILA (M)
<b>CICLO SEMAFÓRICO</b>	68			
<b>TEMPO AMARELO</b>	4			
AVENIDA CONTORNO LUIS GOMES	Tempo Vermelho	33	11	13
	Tempo Verde	31		
<b>33</b>		<b>4</b>	<b>31</b>	
LUIS GOMES RUMO CORONEL SILVA NETO	Tempo Vermelho	30	11	13
	Tempo Verde	34		
<b>30</b>		<b>4</b>	<b>34</b>	

Fonte: Autor (2025)

Observando a Figura 14, percebe-se uma mudança significativa após a otimização dos tempos semafóricos. No trecho da Avenida Contorno, entre a Luís Gomes e a Coronel Silva Neto, verificava-se inicialmente um acúmulo expressivo de

veículos de pequeno e grande porte, principalmente devido ao fechamento do semáforo da C. Silva Neto, que gerava filas de aproximadamente 15 metros e ocasionava pontos de congestão. Outro problema identificado era o descompasso entre as aberturas semaforicas: quando o sinal verde era liberado na Luís Gomes, havia uma demora para a liberação na C. Silva Neto, contribuindo novamente para o acúmulo de veículos. Esse padrão de retenção é frequentemente relatado na literatura como resultado de tempos de ciclo mal distribuídos e falta de coordenação entre movimentos sucessivos, conforme discutido por Roess e Prassas (2020).

Diante desse cenário, a otimização considerou mais adequado que, ao abrir o verde na Luís Gomes, o semáforo da C. Silva Neto fosse acionado em sequência, uma vez que o trecho é curto para comportar veículos de maior porte. Essa estratégia permitiu um fluxo mais contínuo e reduziu o comprimento da fila de 15 m para 13 m, conforme comparativo de resultados expostos nas Tabelas 8 e 9, com a Figura 14. O ajuste confirma a importância da coordenação semaforica — denominada *progression* — que, segundo o HCM (2022), é essencial para garantir a fluidez em corredores de pequeno e médio porte. Além disso, a literatura enfatiza que pequenas alterações no ciclo, quando alinhadas com a geometria e com a composição veicular da via, podem reduzir significativamente atrasos e filas (Gartner et al., 2018).

Essa necessidade é amplamente discutida pelo *Institute of Transportation Engineers* – ITE (2016), que destaca a relevância do balanceamento entre demanda e tempos de verde para assegurar maior eficiência nas interseções. A Federal Highway Administration – FHWA (2019) também enfatiza que a coordenação entre aproximações é um dos fatores mais determinantes para reduzir retenções e minimizar conflitos operacionais. Além disso, o *Highway Capacity Manual* (2022) estabelece que um Tempo Médio de Espera (TME) inferior a 30 segundos caracteriza bom desempenho operacional, condição atendida nas vias analisadas. A semelhança nos tempos médios observados nos cenários estudados reforça que o fluxo permaneceu equilibrado, evidenciando que a otimização aplicada resultou em operação mais eficiente e mais adequada à realidade geométrica e operacional do local.

De acordo com estudos como os de Zhang et al. (2016), através da análise da evolução dinâmico-temporal das filas em interseções semaforizadas, costuma-se observar que a alocação balanceada de verde entre abordagens com volumes semelhantes de tráfego minimiza o atraso médio e evita a formação de filas excessivas

para uma via específica. Esta abordagem torna o desempenho das vias mais homogêneo, principalmente quando as fases semaforicas são dimensionadas de forma proporcional à demanda de cada abordagem. Resultados análogos são apresentados por Brilon (2022), que demonstra que a adoção de regimes de “duplo verde” ou ajuste fino dos tempos de verde em ciclos semaforicos — mantendo um controle equilibrado entre os fluxos — reduz o comprimento máximo de fila e melhora o atraso médio nos dois sentidos. No presente estudo, os dados mostram justamente esse comportamento: ambas as ruas analisadas registraram desempenho semelhante e dentro de padrões aceitáveis para interseções urbanas, reforçando que o balanceamento de verde contribuiu para uma operação eficiente e equitativa entre as direções.

#### **6.4 Problemas observados na via**

A análise realizada no trecho da Avenida Contorno, abrangendo os cruzamentos com a Rua Luís Gomes e a Rua Coronel Silva Neto, evidenciou um conjunto de fatores que interfere negativamente no desempenho do tráfego e na segurança da circulação. Durante as observações, verificou-se a formação frequente de filas e períodos de retenção, sobretudo nos intervalos de maior demanda, indicando a existência de um processo contínuo de saturação do cruzamento. Também foi identificada a ocorrência de comportamentos inadequados por parte de alguns condutores, como a ausência de sinalização de conversão e o avanço indevido durante o sinal vermelho como podemos observar nas Figuras 15 e 16. Tais condutas elevam o potencial de conflitos viários, conforme apontado por Setti e Yoshizaki (2020), que destacam que a insuficiência na comunicação entre motoristas e o descumprimento das regras de circulação aumentam significativamente a probabilidade de incidentes em interseções urbanas.

A análise das Figuras 15 e 16 confirma a ocorrência de avanço de sinal vermelho e de acúmulo de veículos no trecho avaliado, evidenciando que se trata de um problema real e recorrente. Considerando que as imagens foram registradas recentemente (26/11/2025) e correspondem apenas a um período específico do estudo, infere-se que tais situações tendem a ocorrer com frequência ao longo do dia. Esse cenário representa um fator de risco significativo para a segurança viária e contribui para a percepção de desconforto no tráfego, em consonância com as

observações de Fernandes (2020), que destaca o impacto desses comportamentos inadequados na elevação dos conflitos e incidentes em interseções urbanas.

*Figura 15 - Veículos ultrapassando em sinal vermelho.*



Fonte:Autor (2025)

*Figura 16 - Acumulo de veículos entre o trecho da Rua Luis gomes e Rua C. Silva Neto.*



Fonte:Autor (2025)

No trecho analisado, os problemas primários estão associados a fatores que afetam diretamente a operação do tráfego e condicionam seu desempenho no cruzamento. Observou-se que a elevada demanda veicular nos horários de pico, o desbalanceamento entre as aproximações e a ausência de coordenação eficiente entre movimentos conflitantes resultam em acréscimos nos tempos de espera, formação de filas e redução da fluidez operacional, caracterizando um processo de

saturação típica de interseções urbanas de alto volume como mostra Figura 17. De acordo com Floriani e Gomide (2023), interseções semaforizadas com elevadas taxas de chegada e tempos de liberação insuficientes tendem a operar próximos ou acima da capacidade, gerando acúmulos sucessivos e atrasos crescentes. Esse cenário reforça que parte relevante das disfunções observadas decorre da relação direta entre demanda e capacidade, compondo o núcleo estruturante dos problemas operacionais encontrados.

Figura 17 - Fila de espera: (a) Rua Luis gomes; e, (b) Rua C. Silva Neto.



(a)



(b)

Fonte:Autor (2025)

Vinculados aos problemas primários surgem os problemas secundários, que não comprometem diretamente a capacidade operacional do cruzamento, mas amplificam seus efeitos negativos e impactam a segurança viária e a percepção dos usuários. Entre eles destacam-se o avanço indevido durante o sinal vermelho, a ausência de sinalização de conversão e a baixa previsibilidade das manobras, aspectos que elevam o potencial de conflitos e incidentes entre veículos, tal como ilustrado na Figura 17. Segundo Ferreira e Torquato (2021), comportamentos inadequados de motoristas, quando combinados com contextos de retenção e alta densidade, tendem a aumentar a taxa de conflitos e a probabilidade de colisões em interseções urbanas. Além disso, tais condutas contribuem para a sensação de desconforto e insegurança no tráfego, o que, conforme Fernandes (2020), influencia o surgimento de respostas comportamentais adversas e favorece novas violações de regras.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo objetivou avaliar o desempenho operacional da Avenida Contorno, nos cruzamentos entre a Rua Luis Gomes e a Rua Coronel Silva Neto, em Balsas (MA), por meio de modelagem e simulação veicular utilizando o software AnyLogic. A metodologia adotada possibilitou a análise detalhada do comportamento do fluxo de tráfego sob condições controladas, permitindo a identificação de gargalos, conflitos de movimento e potenciais melhorias no controle semafórico. A aplicação do AnyLogic demonstrou-se adequada para reproduzir com fidelidade a dinâmica do fluxo veicular, fornecendo dados quantitativos e confiáveis para a comparação de diferentes estratégias de operação e otimização do ciclo semafórico.

O estudo teve início com a coleta de dados de campo, a qual permitiu identificar as principais problemáticas do tráfego. As medições foram realizadas no cruzamento entre a Rua Luis Gomes e a Rua Coronel Silva Neto, em diferentes horários do dia, possibilitando a caracterização detalhada do fluxo veicular, incluindo períodos de pico, tipos de veículos predominantes e acúmulo de veículos nas abordagens. A análise desses dados forneceu informações quantitativas relevantes, servindo de base para o planejamento das etapas subsequentes da pesquisa e para a modelagem e simulação do tráfego no software AnyLogic.

Com base nos dados coletados e nas observações da infraestrutura do local, procedeu-se à modelagem, otimização e simulação dos cruzamentos utilizando o software AnyLogic. Essa ferramenta revelou-se fundamental para a análise do comportamento do fluxo veicular, permitindo a aplicação de estratégias de controle semafórico mais eficientes e promovendo maior fluidez no tráfego. No cenário otimizado, observou-se um desempenho operacional mais equilibrado, caracterizado pela redução do tempo de espera nas filas, aumento da capacidade efetiva dos cruzamentos e maior velocidade média do fluxo de veículos, indicando melhorias significativas na operação do sistema viário.

Foi possível identificar problemáticas significativas, como congestionamentos, uso inadequado da sinalização e ultrapassagens indevidas em sinal vermelho. Esses comportamentos comprometem tanto a fluidez do tráfego quanto a segurança viária. Ressalta-se que tais condutas configuram risco elevado de acidentes e, conforme orientações do DNIT, demandam ações de fiscalização e campanhas educativas para conscientização dos condutores.

Apesar dos resultados obtidos, o estudo apresenta limitações inerentes ao uso de simulação computacional e aos recortes adotados. A modelagem foi construída a partir de um conjunto específico de condições operacionais e de um período delimitado de observação, o que não contempla integralmente as variações sazonais de demanda, eventos atípicos e modificações comportamentais dos condutores ao longo do dia. Além disso, o modelo não incorporou fatores ambientais e de infraestrutura que, em situações reais, podem influenciar a fluidez e a segurança do tráfego, como características geométricas, condições climáticas e presença de pedestres.

Observou-se que uma das principais problemáticas do trecho entre a Rua Luis Gomes e a Rua Coronel Silva Neto era a desativação temporária dos semáforos, o que ocasionava congestionamentos significativos na via. Para mitigar essa situação, foi proposta uma estratégia de duplo-verde, em que a abertura do sinal verde na Rua Luis Gomes é seguida, de forma sequencial, pela abertura do sinal verde na Rua Coronel Silva Neto. Essa sincronização permitiu maior fluidez no tráfego, reduzindo o acúmulo de veículos e promovendo um fluxo mais eficiente ao longo da Avenida Contorno.

Diante dessas limitações, recomenda-se a continuidade da pesquisa por meio de novos estudos que ampliem a base de dados, incorporem diferentes cenários de operação e explorem alternativas de controle e gerenciamento de tráfego. Investigações futuras podem incluir a calibração do modelo para diferentes períodos de demanda, análise de impactos de alterações geométricas, aplicação de estratégias adaptativas de controle semaforico e integração com dados em tempo real. A evolução desse tipo de análise tem potencial para fornecer suporte técnico mais robusto a processos de planejamento e tomada de decisão relacionados à mobilidade urbana.

Ao final, destaca-se que o trabalho contribuiu de forma relevante para a engenharia de tráfego ao demonstrar o uso de ferramentas de simulação como apoio à análise operacional de interseções urbanas, ampliando a compreensão sobre o comportamento do fluxo veicular e suas implicações na eficiência dos controles semaforicos. Para o planejamento urbano, o estudo reforça a importância da avaliação prévia de cenários e intervenções antes de sua implantação, possibilitando maior assertividade na definição de alternativas e na priorização de investimentos. No âmbito da gestão da mobilidade local, os resultados obtidos evidenciam a viabilidade de estratégias de otimização que podem ser incorporadas ao processo decisório

municipal, contribuindo para a melhoria da fluidez e da segurança viária. Nesse sentido, a aplicação prática dos achados demonstra que a adoção de metodologias de simulação pode favorecer a implementação de soluções mais eficientes e orientadas à demanda real, fortalecendo a mobilidade urbana como componente estratégico do desenvolvimento da cidade. Tais avaliações são fundamentais para garantir a operação de um sistema viário mais confiável, seguro e eficiente, proporcionando maior conforto e segurança aos condutores.

## 8. REFERÊNCIAS

- AKÇELIK, R.; BESLEY, M. **Traffic and Transport Simulation: Theory and Applications**. Melbourne: SIDRA Solutions, 2022.
- ANDRADE, L. C.; PEREIRA, R. S. **Sinalização e segurança viária: desafios no contexto urbano brasileiro**. Revista Transportes, v. 29, n. 2, p. 55–68, 2021.
- ANYLOGIC COMPANY. **AnyLogic 8 User's Manual**. The AnyLogic Company, 2021. Disponível em: <https://www.anylogic.com>. Acesso em: 06 out. 2025.
- AASHTO. **Highway Safety Manual**. 2. ed. Washington, D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials, 2020.
- BANKS, J. et al. **Discrete-Event System Simulation**. 6. ed. New Jersey: Pearson, 2019.
- BARCELOS, T.; SILVA, R. **Modelagem e calibração de sistemas de tráfego por simulação microscópica**. Revista de Engenharia de Transportes, v. 34, n. 2, p. 71-89, 2022.
- BARTH, M.; WU, G. **Queue Dynamics and Traffic Delay in Urban Signalized Intersections**. *Journal of Transportation Engineering*, v. 149, n. 3, p. 281–295, 2023.
- BORSHCHEV, A. **The Big Book of Simulation Modeling: Multimethod Modeling with AnyLogic 8**. 3. ed. Chicago: AnyLogic North America, 2014.
- BRASIL. **Plano Diretor Participativo do Município de Balsas**. Prefeitura Municipal de Balsas, 2021. Disponível em: <https://www.cmbalsas.ma.gov.br>.
- BRASIL. **Lei nº 12.587, de 3 de janeiro de 2012. Política Nacional de Mobilidade Urbana**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2012.
- BRASIL. Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN). **Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito – Volume VII: Interseções e Movimentos Viários**. Brasília: Departamento Nacional de Trânsito – DENATRAN, 2014.
- BORSHCHEV, A. **The Big Book of Simulation Modeling: Multimethod Modeling with AnyLogic 6**. Boca Raton: CRC Press, 2014.
- CARVALHO, J. S.; LOBO, A. M. **Planejamento e gestão da infraestrutura urbana**. Belo Horizonte: UFMG, 2020.
- CARVALHO, M. F.; NOGUEIRA, L. S. **Simulação de tráfego urbano**

**utilizando AnyLogic: otimização de rotas e fluxo de veículos.** Revista Brasileira de Planejamento Urbano, v. 10, n. 2, p. 55–70, 2022.

CLARK, S. **Estimating confidence intervals for transport mode share.** Leeds: Institute for Transport Studies, University of Leeds, 2005. Disponível em: <https://eprints.whiterose.ac.uk/>. Acesso em: 05/12/2025.

CHEN, L.; LI, Z.; HAN, Y. Integrating field-measured data with microscopic simulation for traffic signal optimization at complex intersections. *Transportation Research Part C*, v. 161, 2024.

CARVALHO, T. P.; NOGUEIRA, F. L. **Gestão de tráfego urbano e mobilidade sustentável: desafios e perspectivas nas cidades brasileiras.** Revista Engenharia e Mobilidade, v. 7, n. 1, p. 23–39, 2022

CARVALHO, M. F.; LOBO, T. G. **Avaliação da infraestrutura viária e seus impactos na mobilidade urbana.** Revista Brasileira de Engenharia Civil, v. 27, n. 1, p. 59–75, 2020.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT). **Pesquisa de Mobilidade Urbana 2023.** Brasília: CNT, 2023. Disponível em: <https://cnt.org.br/>. Acesso em: 9 out. 2025.

CORRAL LOPEZ, Alan Alejandro. **A Digital Twin Approach to Job Shop Scheduling: Simulation and Optimization in AnyLogic.** 2025. 64 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) — Universidade do Texas em El Paso, El Paso, 2025. Disponível em: [https://scholarworks.utep.edu/open\\_etd/4353](https://scholarworks.utep.edu/open_etd/4353). Acesso em: 17 out. 2025.

COSTA, R.; ALMEIDA, J. **Crescimento populacional e impactos no trânsito urbano.** *Cadernos de Mobilidade Sustentável*, v. 5, n. 2, p. 42-56, 2022.

DENATRAN. **Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito – Volume I a VI.** Brasília: Ministério das Cidades, 2018.

DENATRAN. **Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito – Volume V: Sinalização Semafórica.** Brasília: Ministério da Infraestrutura, 2023.

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de Estudos de Tráfego.** Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Rodoviárias – IPR, 2010.

EOM, M.; KIM, B.-I. **The traffic signal control problem for intersections: a**

review. *European Transport Research Review*, v. 12, art. 50, 2020.

ECTRI – European Conference of Transport Research Institutes. ***Urban Traffic Management and Sustainability: Advances and Applications***. Bruxelas: ECTRI, 2023.

FERNANDES, T. S.; ALMEIDA, J. A. ***Planejamento integrado para segurança e eficiência no sistema viário urbano***. Revista Brasileira de Planejamento Urbano, v. 7, n. 1, p. 21-34, 2020.

FERREIRA, A. ***Mobilidade urbana: desafios e perspectivas***. São Paulo: Contexto, 2019.

FERREIRA, D. A.; LIMA, F. M.; RIBEIRO, J. P. ***Planejamento e manutenção da sinalização viária: uma abordagem integrada à segurança no trânsito***. Revista Brasileira de Engenharia Civil, v. 14, n. 3, p. 201–215, 2020.

FERREIRA, R. M.; CAMPOS, J. L. ***Aplicação de simulação computacional no planejamento de tráfego urbano: estudo de caso em cidades médias brasileiras***. Revista de Engenharia de Transportes, v. 14, n. 1, p. 77–92, 2023.

FERREIRA, L.; TORQUATO, C. ***Conflitos Viários e Segurança no Ambiente Urbano***. Rio de Janeiro: AEA, 2021.

FLORIANI, E.; GOMIDE, T. ***Capacidade e Nível de Serviço em Interseções Urbanas***. Curitiba: Editora UFPR, 2023

FONTES, A. M.; ARAÚJO, M. R.; CASTRO NETO, M. P. ***Modelagem probabilística do tempo de resposta de motoristas em interseções semaforizadas no VISSIM***. Revista Transportes, v. 30, n. 2, p. 1–14, 2022.

Disponível em: <https://www.revistatransportes.org.br/anpet/article/view/2501>

FHWA. ***Traffic Signal Timing Manual***. Washington, D.C.: Federal Highway Administration, 2008.

FHWA – Federal Highway Administration. ***Traffic Analysis Toolbox Volume III: Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Software***. Washington, D.C., 2018.

FHWA – Federal Highway Administration. ***Signal Timing Manual***. 2. ed. Washington, D.C., 2021.

GARTNER, N.; MESSMER, A.; PAPAGEORGIOU, M. ***Urban Traffic Control Systems: State of the Art***. 2. ed. New York: Springer, 2018.

GEHL, J. ***Cidades para Pessoas***. 3. ed. São Paulo: Perspectiva, 2013.

GERLOUGH, D. L.; HUBER, M. J. ***Traffic Flow Theory – A State-of-the-Art Report***.

Transportation Research Board, Washington, 2019.

GOMIDE, L. ***Mobilidade urbana e planejamento: tendências e desafios.*** São Paulo: Pioneira, 2006.

GOVERNO DO MARANHÃO. ***Sistema Estadual de Monitoramento de Sinistros de Trânsito.*** São Luís, 2024.

GRIGORYEV, I. ***AnyLogic in Three Days: A Quick Course in Simulation Modeling.***

5. ed. Chicago: The AnyLogic Company, 2016.

GRIGORYEV, A. ***System Dynamics and Simulation Modeling with AnyLogic.*** Moscow: SimEvents Press, 2016.

HCM. ***Highway Capacity Manual.*** 7. ed. Washington, DC: Transportation Research Board, 2022.

HUTTON, B. et al. ***Urban Traffic Flow and Intersection Performance.*** Amsterdam: Elsevier, 2024.

HU, J.; WU, X.; ZENG, Y.; LIU, H. ***Intelligent signal control optimization for urban intersections using deep reinforcement learning.*** *Transportation Research Part C*, v. 158, p. 104280, 2024.

ITE – Institute of Transportation Engineers. ***Traffic Engineering Handbook.*** 8. ed. Washington, DC: ITE, 2021.

ITE – Institute of Transportation Engineers. ***Traffic Engineering Handbook.*** 7. ed. Washington, DC: Institute of Transportation Engineers, 2016.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. ***Censo Demográfico 2010 e estimativa populacional 2022.*** Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 06 out. 2025.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA.  
***Censo***

***Demográfico 2022: Maranhão.*** Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>. Acesso em: 9 out. 2025.

INSTITUTE OF TRANSPORTATION ENGINEERS (ITE). ***Traffic Engineering Handbook.*** 7ª edição. Wiley & Sons, 2016.

KHISTY, C. Jotin; LALL, B. Kent. **Transportation Engineering**. 4. ed. Pearson, 2020.

KIKUCHI, S.; LI, Z. **Application of traffic simulation for signal optimization in coordinated corridors**. *Transportation Research Record*, n. 2673, p. 157-168, 2019.

LIANG, M.; CHAO, Y.; TU, Y.; XU, T. **Vehicle pollutant dispersion in the urban atmospheric environment: a review of mechanism, modeling, and application**. *Atmosphere*, v. 14, n. 2, artigo 279, 2023.

LIMA, R. C.; BARBOSA, F. J. **Modelagem e simulação do tráfego urbano com AnyLogic: uma abordagem integrada para análise da mobilidade**. *Revista Brasileira de Engenharia de Transportes*, v. 11, n. 1, p. 63–79, 2023.

LIMA, J. F.; SANTOS, G. H.; FERREIRA, D. C. **Avaliação da infraestrutura viária e seus impactos na mobilidade urbana**. *Revista Transporte e Desenvolvimento*, v. 15, n. 1, p. 88–101, 2022.

LIMA, R. C.; BARBOSA, F. J. **Modelagem e simulação do tráfego urbano com AnyLogic: uma abordagem integrada para análise da mobilidade**. *Revista Brasileira de Engenharia de Transportes*, v. 11, n. 1, p. 63–79, 2023.

LIU, Y. **Research on simulation and optimization of road traffic flow based on intelligent modeling and AnyLogic**. *E3S Web of Conferences*, 2022.

Disponível em:

[https://www.e3sconferences.org/articles/e3sconf/pdf/2022/27/e3sconf\\_vesep2022\\_0\\_1070.pdf](https://www.e3sconferences.org/articles/e3sconf/pdf/2022/27/e3sconf_vesep2022_0_1070.pdf). Acesso em: 29 out. 2025.

LIU, W.; WANG, F.; ZHANG, C.; ZHANG, J.; WANG, L. **A simulation study of urban public transport transfer station based on AnyLogic**. *KSII Transactions on Internet and Information Systems*, v. 15, n. 4, p. 1216-1231, 2021. DOI: 10.3837/tiis.2021.04.002 LITMAN, T. **Transportation and Environmental Policy**. Victoria: Victoria Transport Policy Institute, 2021.

MA, X.; HE, Z.; JIN, P. **Real-time traffic signal optimization using data-driven adaptive control models**. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, v. 24, n. 2, p. 1765–1778, 2023

MOURA, C. S.; FARIAS, A. L. **Sistemas Inteligentes de Transporte: uma abordagem para a eficiência da mobilidade urbana**. *Revista Brasileira de*

Transportes e Trânsito, v. 12, n. 2, p. 56–70, 2023.

MOURA, A. P. **Mobilidade Urbana e Desenvolvimento Sustentável: Desafios para as Cidades Brasileiras**. Revista Brasileira de Planejamento Urbano, v. 5, n. 2, p. 45-60, 2017.

MOURA, C. R.; FARIAS, L. P. **Tecnologias inteligentes e gestão do tráfego urbano: perspectivas para cidades sustentáveis**. Revista Brasileira de Mobilidade Urbana, v. 8, n. 1, p. 22–36, 2023.

MOURA, C. S.; LIRA, P. A. **Crescimento Urbano e Desafios à Mobilidade em Cidades Médias Brasileiras**. Revista Transporte e Sociedade, v. 8, n. 1, p. 101–118, 2021.

NATIONAL ACADEMIES OF SCIENCES, ENGINEERING, AND MEDICINE; **Transportation Research Board. Highway Capacity Manual: A Guide for Multimodal Mobility Analysis**. 7. ed. Washington, DC: The National Academies Press, 2022

NASCIMENTO, M. A.; MIRANDA, G. M. **Aplicação de simulação de eventos discretos para melhorar o tráfego veicular numa região semaforizada do município de Uberaba – MG**. *Exacta – EP*, v. 20, n. 4, p. 856–876, 2022. Disponível em: <https://periodicos.uninove.br/exacta/article/view/20897>.

OLIVEIRA, Cláudio Germano dos Santos. **Análise da mobilidade urbana em cidades de porte médio por meio da sintaxe espacial**. Curitiba: Appris, 2021. ISBN 978-65-250-0956-6.

OLIVEIRA, M. T.; COSTA, R. F.; FERREIRA, J. L. **Aplicações do AnyLogic na otimização da mobilidade urbana: estudo de caso em cidades médias**. Revista de Tecnologia e Planejamento Urbano, v. 9, n. 2, p. 88–104, 2024.

OLIVEIRA, M. S.; PRADO, D. F. **Planejamento sustentável e inovação na infraestrutura viária**. *Revista de Engenharia e Transporte*, v. 17, n. 3, p. 64–79, 2022

OLIVEIRA, M. T.; COSTA, R. F.; FERREIRA, J. L. **Aplicações do AnyLogic na otimização da mobilidade urbana: estudo de caso em cidades médias**. Revista de Tecnologia e Planejamento Urbano, v. 9, n. 2, p. 88–104, 2024.

ONU – Organização das Nações Unidas. **Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. Nova Iorque: ONU, 2015

PEREIRA, R. H. M. **Forma urbana e mobilidade sustentável:**

**evidências**

**decidadesbrasileiras**. ResearchGate, 2022. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/364706737\\_TD\\_2802Forma\\_urbana\\_e\\_mobilidade\\_sustentavel\\_evidencias\\_de\\_cidades\\_brasileiras](https://www.researchgate.net/publication/364706737_TD_2802Forma_urbana_e_mobilidade_sustentavel_evidencias_de_cidades_brasileiras). Acesso em: 16 out. 2025.

PEREIRA, L. F. **Desafios da mobilidade urbana em centros metropolitanos**. *Revista de Transportes e Cidade*, v. 10, n. 1, p. 15-28, 2023.

PEREIRA, F.; SETTI, J. Análise operacional de interseções urbanas. *Revista Transportes*, v. 27, n. 2, p. 123–135, 2019.

RODRIGUES, L. S.; MENDES, C. P. **Infraestrutura viária urbana: conceitos, planejamento e desafios para o século XXI**. *Revista de Engenharia e Mobilidade*, v. 12, n. 2, p. 89–104, 2019.

RODRIGUES, M.; LIMA, R. **Análise de tráfego urbano: métodos e aplicações**. São Paulo: Blucher, 2022.

RODRIGUES, L. F.; SANTOS, G. A. **Gestão inteligente do tráfego e mobilidade urbana sustentável: desafios e perspectivas**. *Revista Brasileira de Planejamento Urbano*, v. 15, n. 2, p. 45–60, 2021.

RODRIGUES, L. M.; MENDES, R. A. **Infraestrutura viária e mobilidade urbana**. São Paulo: Atlas, 2019

RODRIGUES, F. R.; GOMES, M. A. **Planejamento do sistema de mobilidade urbana e inclusão social em cidades brasileiras: abordagem voltada à compreensão de suas relações e impactos**. *Revista de Direito da Cidade*, v. 16, n. 3, p. 1–20, 2024.

ROESS, R. P.; PRASSAS, E. S.; McSHANE, W. R. **Traffic Engineering**. 5. ed. New York: Pearson, 2020.

ROESS, R. P.; PRASSAS, E.; MCSHANE, W. R. **Traffic Engineering**. 5. ed. New York: Pearson, 2019. TRANSPORTATION RESEARCH BOARD – TRB. *Highway Capacity Manual – HCM 7th Edition*. Washington, D.C., 2022

ROLNIK, R. **Guerra dos lugares: a colonização da terra e da moradia na era das finanças**. São Paulo: Boitempo, 2015.

SHAH, G. **The economics of urbanization: Challenges and opportunities**. *Business Studies Journal*, v. 15, n. 4, 2023. Disponível em: <https://www.abacademies.org/articles/the-economics-of-urbanization-challenges-and-opportunities-16193.html>. Acesso em: 16 out. 2025

SHAO, X.; ZHANG, K.; WANG, Y. Data-driven signal timing optimization using hybrid simulation models in urban networks. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, v. 25, n. 3, p. 2890–2904, 2024.

SANTOS, P. R.; PEREIRA, L. M. **Simulação baseada em AnyLogic para priorização de transporte coletivo em corredores urbanos**. Revista de Transporte e Mobilidade Urbana, v. 8, n. 1, p. 45–60, 2022.

SANTOS, P. R.; PEREIRA, L. M.; ALMEIDA, R. T. **Análise de impacto viário e planejamento semaforico com AnyLogic em cidades médias**. Revista de Transporte e Mobilidade Urbana, v. 9, n. 1, p. 33–50, 2023.

SANTOS, J. R.; MACEDO, L. F. **Ferramentas Digitais e Modelagem de Tráfego no Planejamento Urbano**. Revista de Engenharia e Transporte, v. 28, n. 3, p. 112–130, 2021.

SANTOS, P. R.; PEREIRA, L. M. **Simulação baseada em AnyLogic para priorização de transporte coletivo em corredores urbanos**. Revista de Transporte e Mobilidade Urbana, v. 8, n. 1, p. 45–60, 2022

SETTI, J. R.; GONÇALVES, F. L. **Engenharia de Tráfego: fundamentos e aplicações**. São Paulo: Ed. Blucher, 2018.

SETTI, José Ricardo; YOSHIZAKI, Hugo Taniguchi. **Engenharia de tráfego: fundamentos e aplicações**. São Paulo: Blucher, 2020

SINGH, H.; SINGH, K.; AGGARWAL, N. **An Efficient Road Traffic Modeling through a Novel Real Time Traffic Simulator**. *Communication and Applied Systems Journal*, v. 9, n. 1, p. 1–12, 2023. Disponível em: <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/cast/article/view/253801>.

SILVA, J. A.; SOUZA, M. L. **Análise de desempenho viário em interseções urbanas**. Revista Transportes, v. 29, n. 2, p. 45–58, 2021.

SILVA, P. R.; ANDRADE, C. V. **Modelagem e simulação de tráfego urbano: fundamentos e aplicações no contexto brasileiro**. Revista Mobilidade & Tecnologia, v. 10, n. 2, p. 101–118, 2022.

SILVA, T. R.; SILVA, L. P. **Crescimento Urbano e Mobilidade: Desafios da Sustentabilidade nas Cidades Brasileiras**. Revista de Estudos Urbanos e Regionais, v. 22, n. 1, p. 85–99, 2020.

SILVA, R. P.; MONTEIRO, T. A. **Planejamento urbano e mobilidade: desafios para as cidades brasileiras**. Revista Brasileira de Planejamento

*Urbano*, v. 9, n. 2, p. 45– 58, 2021.

SOUZA, F.; SILVA, P.; CARVALHO, T. **Gerenciamento de tráfego urbano em cidades médias: estudo de caso em Balsas-MA**. *Revista Brasileira de Transportes Urbanos*, v. 12, n. 3, p. 45–62, 2023.

SHRESTHA, P. **Effect of Data Aggregation Interval on Traffic Flow Analysis**. 2015. Tese (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Ohio University, Ohio, 2015. Disponível em: <https://etd.ohiolink.edu/>. Acesso em: 05/12/2025.

STEYN, P.; KHAMOOSHI, H.; TREIBER, M. Application of Microscopic and Agent-Based Simulation for Urban Intersection Control Optimization. *Transportation Research Record*, v. 2678, n. 4, p. 112–126, 2024.

TRANSPORTATION RESEARCH BOARD (TRB). **Highway Capacity Manual – HCM 7th Edition**. Washington, D.C., 2022.

TRB – **Transportation Research Board**. *Highway Capacity Manual: HCM 2010*. Washington, D.C.: National Research Council, 2010.

TRB – **Transportation Research Board**. *Highway Capacity Manual*. 7. ed. Washington, DC: National Academies Press, 2022

UNITED STATES. Federal Highway Administration. **Traffic Data Computation Method**: Pocket Guide. Washington, D.C.: FHWA, 2013. Disponível em: <https://www.fhwa.dot.gov/>. Acesso em: 05/12/2025.

URBANIK, T.; TANAKA, A.; LOZNER, B.; LINDSTROM, E.; LEE, K.; QUAYLE, S.; BEAIRD, S.; TSOI, S.; RYUS, P.; GETTMAN, D.; SUNKARI, S.; BALKE, K.; BULLOCK, D. **Signal Timing Manual – Second Edition**. Washington, DC: The National Academies Press, 2015. (NCHRP Report 812).

VAN DER SPEK, T. **A multi-method simulation of a high-frequency bus line using AnyLogic**. arXiv, 2017. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/1704.05692>. Acesso em: 29 out. 2025.

VARGAS, A. J. **Mobilidade Urbana e Crescimento de Cidades Médias no Maranhão**. São Luís: UFMA, 2019

VASCONCELLOS, E. A. **Mobilidade urbana: espaço, tempo e poder**. São Paulo: Annablume, 2012.

VASCONCELLOS, E. A. **Mobilidade urbana: o que você precisa saber**. São Paulo: SENAC, 2016.

- VASCONCELLOS, Eduardo Alcântara de. **Mobilidade cotidiana, segregação urbana e exclusão**. Brasília: Ipea, 2016.
- VASCONCELLOS, E. A. **Política de mobilidade urbana e segurança viária**. São Paulo: FAPESP, 2014.
- VASCONCELLOS, Eduardo Alcântara de. **Segurança no Trânsito: conceitos, tendências e desafios**. São Paulo: Edusp, 2014.
- VARGAS, João Carlos. **Gestão e Planejamento Viário em Cidades Médias**. Porto Alegre: UFRGS, 2019.
- VUCHIC, V. R. **Urban Transit Systems and Technology**. 2. ed. Hoboken: Wiley, 2017.
- WEBSTER, F. V. **Traffic Signal Settings**. London: Road Research Laboratory, Her Majesty's Stationery Office (HMSO), 1958. (Road Research Technical Paper, nº 39).
- WHO – World Health Organization. **Health effects of transport-related air pollution**. Geneva: WHO, 2016.
- WONG, Y.; VISSER, R.; FARAH, H. Performance Evaluation of Adaptive Signal Control Using Agent-Based Simulation. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, v. 11, n. 2, p. 101–115, 2023.
- WRIGHT, P. H.; DIXON, K. K. **Highway Engineering**. 8. ed. Hoboken: Wiley, 2020.
- YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.
- ZOU, L.; TANG, X. **Do new urbanization policies promote sustainable urbanization? Evidence from China's urban agglomerations**. *Land*, v. 13, n. 4, p. 412, 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-445X/13/4/412>. Acesso em: 16 out. 2025.

**APÊNDICE**

**Apêndice 1 – Dados da pesquisa de campo do dia 26/11/2026 (Luis Gomes)**

COLETA DE DADOS DE TRAFEGO BALSAS-MA					
LOCAL:	AVENIDA CONTORNO			DATA:	26/11/2025
INTERCESSÃO:	LUIZ GOMES				
CROQUI					
FARMACIA	ULTRA				
DIA DA SEMANA	QUARTA				
TURNO:	MANHA				
HORARIO	TAMANHO DA FILA DE VEICULO				
	QUANT	DIREITA	ESQUERDA	RETO	
07:00 as 07:20	23 (10 CARROS; 13 MOTOS)	2 (MOTOS)	10 (6MOTOS; 4 CARROS)	11 (9 CARROS; 2 MOTOS)	
07:20 as 07:40	10 (7 CARROS; 3 MOTOS)	1 (CARRO)	6 (5 MOTO; 1 CARRO)	3 (CARROS)	
07:40 as 08:00	15 (8 CARROS; 1 CAMINHÃO; 6 MOTOS)	2 (1 CARRO;	4 (3CARROS; 1 MOTO)	9 (6 CARROS; 3 MOTOS)	
PESQUISADOR					
OBSERVAÇÃO					

**Apêndice 2 – Dados da pesquisa de campo do dia 26/11/2026 (Avenida Contorno/Luis  
Gomes)**

COLETA DE DADOS DE TRAFEGO BALSAS-MA						
LOCAL:	AVENIDA CONTORNO				DATA:	26/11/2025
INTERCESÃO:	AVENIDA CONTORNO/ LUIS GOMES					
CROQUI						
				FARMACIA	PAGUE	MENOS
FARMACIA	ULTRA					
DIA DA SEM	QUARTA					
TURNO:	MANHA					
HORARIO	TAMANHO DA FILA DE VEICULO					
	QUANT	DIREITA	ESQUERDA	RETO		
07:00 as 07:20	30 (12 CARROS; 18 MOTOS)			30 (12 CARROS; 18 MOTOS)		
07:20 as 07:40	20 (7 CARROS; 13 MOTOS)			20 (7CARRO S; 13 MOTOS)		
07:40 as 08:00	21 (8 CARROS;; 12 MOTOS)			21 (8 CARROS; 12 MOTOS)		
PESQUISADOR						
OBSERVAÇÃO						

## Apêndice 3 – Dados da pesquisa de campo do dia 26/11/2026 (Coronel Silva Neto)

COLETA DE DADOS DE TRAFEGO BALSAS-MA					
LOCAL:	AVENIDA CONTORNO			DATA:	26/11/2025
INTERCESÃO:	ENTRE CORONEL SILVA NETO)				
CROQUI					
				FARMACIA	PAGUE
					MENOS
FARMACIA	ULTRA				
DIA DA SEM	QUARTA				
TURNO:	MANHA				
HORARIO	TAMANHO DA FILA DE VEICULO				
	QUANT	DIREITA	ESQUERDA	RETO	
07:00 as 07:20	25 (10 CARROS; 15 MOTOS)	6 (3 CARROS; 3 MOTOS)	4 (1 CARRO; 3 MOTOS)	15(8 CARROS; 7 MOTOS)	
07:20 as 07:40	18 (6 CARROS; 12 MOTOS)	5 (3 CARRO; 2 MOTOS)	3 (3 MOTOS)	10 (4 CARROS; 6 MOTOS)	
07:40 as 08:00	22 (12 CARROS;1 0 MOTOS )	12 ( 8 CARROS; 4MOTOS)	4 ( 2 CARROS; 2 MOTOS)	6 (3 CARROS; 3 MOTOS)	
PESQUISADOR					
OBSERVAÇÃO					

**Apêndice 4 – Dados da pesquisa de campo do dia 26/11/2026 (Entre Coronel Siva Neto/Luis Gomes)**

COLETA DE DADOS DE TRAFEGO BALSAS-MA					
LOCAL:	AVENIDA CONTORNO			DATA:	26/11/2025
INTERCESÃO:	RE CORONEL SILVA NETO/ LUIS GOMES (VOLTAN				
CROQUI					
FARMACIA	ULTRA				
DIA DA SEM	QUARTA				
TURNO:	MANHA				
HORARIO	TAMANHO DA FILA DE VEICULO				
	QUANT	DIREITA	ESQUERDA	RETO	
07:00 as 07:20	15 (10 CARROS; 5 MOTOS)	3 (1 CARROS; 2 MOTOS)		12(8 CARROS; 4 MOTOS)	
07:20 as 07:40	6 (4 CARROS; 2 MOTOS)	1 (1 CARRO)		5 (2CARRO S; 3 MOTOS)	
07:40 as 08:00	9 (7 CARROS;2 CAMINHO ES; )	2 ( 2MOTOS)		7 (3 CARROS; 4 MOTOS)	
PESQUISADOR					
OBSERVAÇÃO					