

MICROSIMULAÇÃO E SEGURANÇA VIÁRIA: AVALIANDO A IMPLEMENTAÇÃO DE SEMÁFOROS DINÂMICOS EM INTERSEÇÕES URBANAS

Palavras-Chave: ESTUDO DE IMPACTO VIÁRIO; SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL; MOBILIDADE

Autores/as:

JOÃO CARLOS NOGUEIRA, FT, UNICAMP

Prof. Dr. WILLIAM MACHADO EMILIANO, FT, UNICAMP

INTRODUÇÃO:

Segundo BEG (2021), o desenvolvimento de cidades inteligentes é fundamental para apoiar uma economia sustentável, capaz de atender ao crescimento das demandas urbanas e, ao mesmo tempo, utilizar dados da infraestrutura viária para promover segurança no trânsito e eficiência no transporte — objetivos centrais de uma economia inteligente. No entanto, entende-se atualmente que a simples expansão da infraestrutura viária não é uma solução eficaz para o congestionamento, devido à chamada demanda reprimida, ou seja, motoristas que evitam vias congestionadas, mas que as utilizariam caso estivessem livres. Dessa forma, a gestão do trânsito urbano exige a adoção de políticas voltadas a um modelo de desenvolvimento mais sustentável e inteligente, que incorpore métodos inovadores e tecnologias de controle de tráfego avançadas. Este estudo tem como objetivo geral analisar os efeitos operacionais de duas estratégias de controle semafórico urbano — uma baseada em programação fixa, atualmente em uso, e outra

que utiliza sistema semafórico adaptativo com tempo atuado — aplicadas à interseção da Avenida Gumercindo Araújo com a Rodovia Limeira–Piracicaba, no município de Limeira (SP). Por meio de simulações computacionais baseadas em dados reais, busca-se avaliar o desempenho de cada abordagem frente aos desafios da mobilidade urbana. A proposta considera o uso de tecnologias de simulação como ferramentas essenciais para melhorar a gestão do trânsito, otimizando o fluxo viário, identificando falhas em horários de pico e promovendo uma mobilidade mais eficiente, segura e inteligente (BERNARDO, 2015; ULINELLAR, 2001).

METODOLOGIA:

Análise do Plano de Mobilidade Urbana de Limeira (SP)

Como etapa inicial da pesquisa, foi feita uma análise do Plano de Mobilidade Urbana de Limeira (SP) para entender as diretrizes relacionadas à circulação viária e ao controle de tráfego. O anel viário municipal foi identificado como elemento estratégico na redistribuição de

fluxos e melhoria do controle semafórico, conforme destacado na Figura 1. A análise técnica seguiu três etapas: levantamento das diretrizes operacionais; identificação de pontos críticos; e cruzamento das metas do plano com critérios técnicos do DNIT (2010). Esse processo permitiu alinhar a proposta de simulação ao planejamento urbano vigente, orientando a escolha das interseções a serem simuladas com e sem controle atuado.



Figura 1 – Mapa de Estratégia de Mobilidade
Fonte: ANEXO 03 – Plano Diretor

Análise do Volume de Tráfego Veicular

Para a seleção das interseções a serem simuladas, foi realizada uma análise preliminar da variabilidade do volume de tráfego. Inicialmente, empregou-se a ferramenta Google Maps Trânsito, que permite a visualização em tempo real da densidade viária, possibilitando a identificação de padrões de congestionamento e variações na fluidez ao longo do dia. Com base nesse diagnóstico exploratório, foram selecionadas três interseções urbanas com alta oscilação de volume veicular, conforme ilustrado na Figura 2. A etapa seguinte consistiu na coleta de dados de tráfego por meio de contagem manual, utilizando o método direcional e classificatório, conforme proposto por Vasconcelos (1982), permitindo identificar os movimentos de giros e as categorias veiculares.

A análise focou nos horários de pico mais críticos, manhã (7h às 8h), almoço (11h30 às 12h30) e tarde (17h às 18h). Conforme a metodologia proposta por Akishino (2011), a contagem foi realizada ao longo de três dias consecutivos, entre 21 e 23 de janeiro de 2025, priorizando os dias de terça a quinta-feira, recomendados por apresentarem maior regularidade nos volumes de tráfego. Após a coleta, os dados brutos foram processados com a aplicação de fatores de equivalência veicular, convertendo os diferentes tipos de veículos em Unidades de Carro de Passeio (UCP), de acordo com os critérios estabelecidos pela Resolução nº 496/2014 do CONTRAN. Essa normalização permitiu a comparação entre interseções e a seleção da interseção 1 (Figura 3) como objeto de estudo para modelagem e simulação posterior, por apresentar maior variabilidade e complexidade operacional.

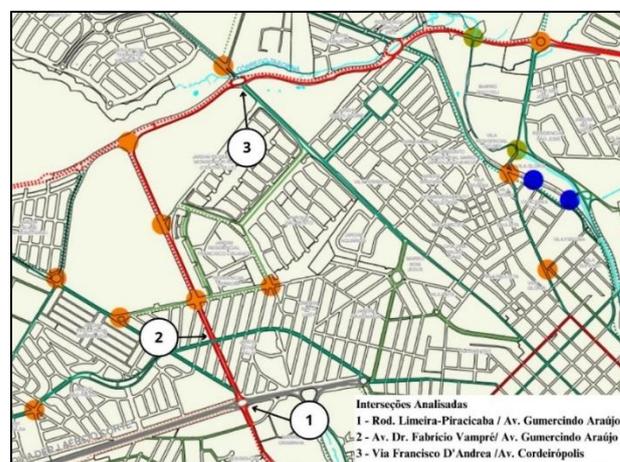


Figura 2 – Interseções analisadas
Fonte: ANEXO 03 – Plano Diretor

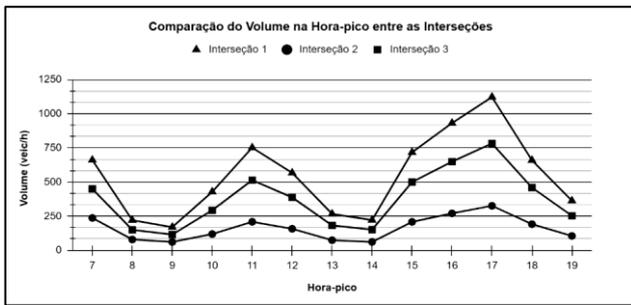


Figura 3 – Volume na Hora-pico entre interseções

Mapeamento da Rede Viária e Pesquisa de Campo

A etapa de construção da base georreferenciada da área de estudo teve início com a importação da rede viária por meio da plataforma OpenStreetMap (OSM), uma base cartográfica colaborativa amplamente utilizada em estudos urbanos e de transporte. A extração dos dados vetoriais permitiu a obtenção precisa do traçado geométrico das vias, localização das interseções, sentidos de circulação, hierarquia viária e elementos de infraestrutura, os quais foram utilizados para compor a malha digital no software de microsimulação Aimsun Next. O uso do OSM como base cartográfica atende às boas práticas recomendadas pelo Manual de Estudos de Tráfego do DNIT (2010) e pela NBR 14696:2010 (ABNT), que trata da representação e codificação de redes viárias para modelagem. Na etapa seguinte, realizaram-se pesquisas de campo presenciais no mês de janeiro de 2025. Essas observações possibilitaram coletar informações qualitativas e quantitativas sobre o comportamento dos condutores, a operação das interseções, o tempo de retenção, os movimentos de conversão e o cumprimento da sinalização vertical e horizontal. Esses dados foram fundamentais para a validação visual da rede importada e ajustes manuais nos atributos geométricos da malha simulada. A integração entre as informações do OpenStreetMap e os

dados observados in loco proporcionou maior aderência da rede simulada às condições reais de operação, conforme preconiza a metodologia de calibração recomendada pelo software Aimsun e respaldada por estudos técnicos de microsimulação (PARK e SCHNEEBERGER, 2003). Este processo garantiu que a modelagem computacional representasse com fidelidade a mobilidade urbana atual, incluindo os principais gargalos e interferências que impactam a fluidez do tráfego (Figura 4).

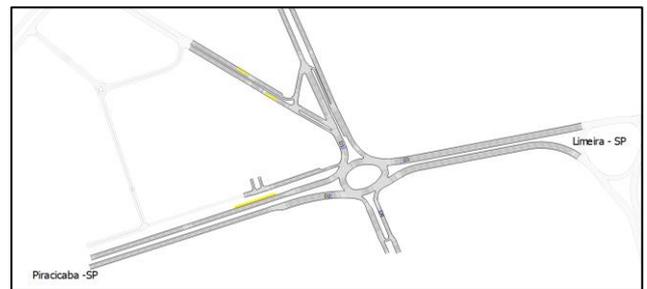


Figura 4 – Desenho da interseção 1

Validação do modelo de simulação

Para validar o modelo de simulação no Aimsun, foi utilizado o índice GEH, que compara os volumes simulados com os reais. Valores de GEH abaixo de 5 indicam boa correspondência, e a validação foi considerada satisfatória quando pelo menos 85% das interseções atenderam a esse critério, conforme a literatura (FELDMAN, 2012). Isso assegura a confiabilidade das análises de impacto dos cenários simulados.

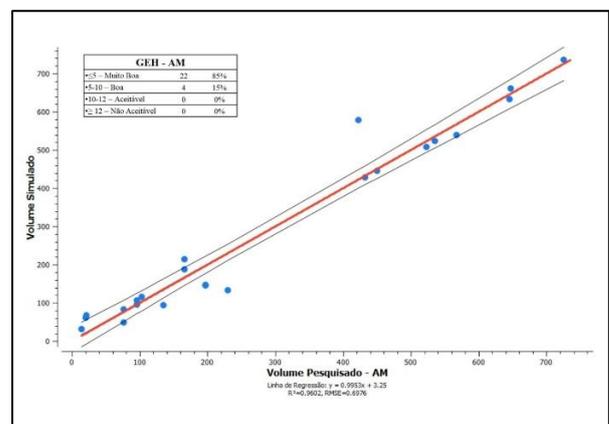


Figura 5 (A) – Índice estatístico GEH AM

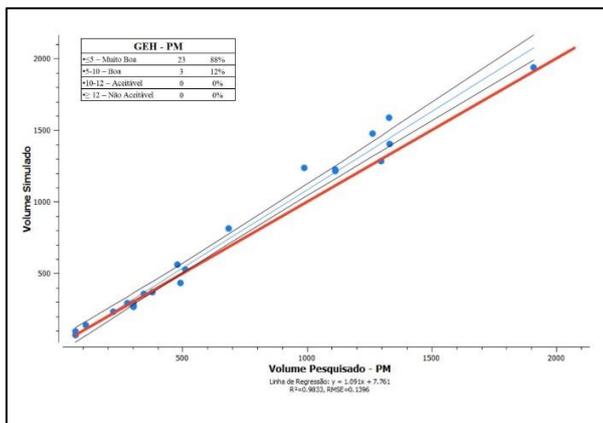


Figura 5 (B) – Índice estatístico GEH PM

Validação do modelo de simulação

A simulação do cenário com semáforo de tempo atuado foi realizada no software Aimsun Next, configurando um modelo semi-atuado, no qual sensores detectam a presença veicular em abordagens específicas e ajustam dinamicamente os tempos de verde. Os detectores virtuais foram posicionados a 20 metros da linha de retenção, conforme recomendações técnicas (PIARC, 2016), permitindo antecipar a formação de filas (Figura 6). A cada detecção ativa, foi adicionado 1 segundo ao tempo de verde, limitado por valores mínimos e máximos definidos para cada abordagem. Os parâmetros operacionais seguiram diretrizes do Manual de Estudos de Tráfego do DNIT (2010), do Highway Capacity Manual – HCM (2016) e da NBR 12960:2017, incluindo definição dos tempos de verde com base no volume veicular e na taxa de saturação, cálculo do intervalo de amarelo e vermelho total considerando a velocidade da via e os critérios de segurança.

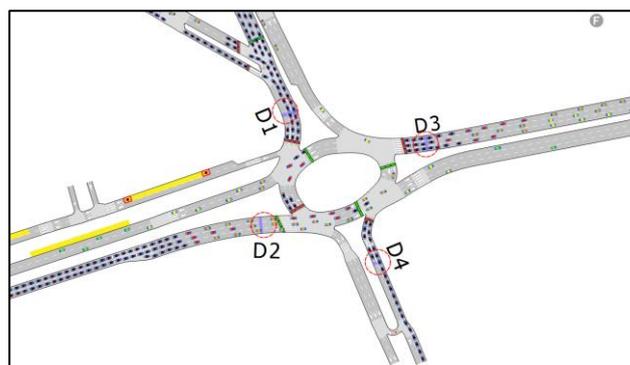


Figura 6 – Posicionamento dos detectores nas vias

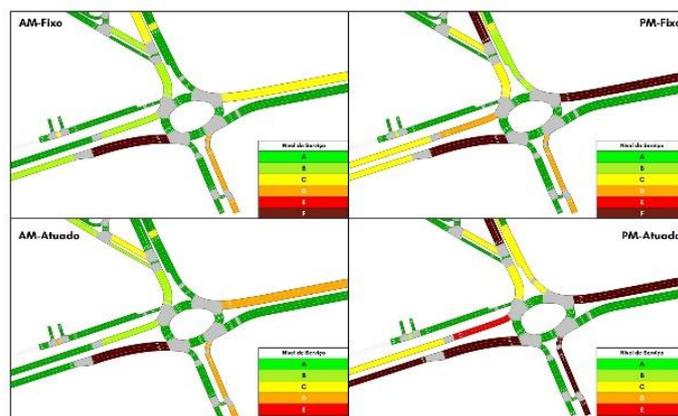
RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Tabela 1: Comparativo de indicadores-AM

Indicador	Semáforo Fixo	Semáforo Atuado	Varição (%)
Tempo médio de atraso (s)	35,44	27,55	-22%
Comprimento médio de fila (m)	72	47	-35%
Tempo parado (s)	33,89	26,24	-23%
Nível de Serviço (LOS)	F	F	—

Tabela 2: Comparativo de indicadores-PM

Indicador	Semáforo Fixo	Semáforo Atuado	Varição (%)
Tempo médio de atraso (s)	74,18	64,95	-12%
Comprimento médio de fila (m)	155	110	-29%
Tempo parado (s)	67,32	60,84	-10%
Nível de Serviço (LOS)	F	F	—



A implantação do semáforo de tempo atuado apresentou ganhos operacionais evidentes no desempenho do tráfego, especialmente no período da manhã. A redução de 22% no tempo de atraso, associada a uma diminuição de 35% no comprimento médio da fila e 23% no tempo parado, indica uma melhora substancial na fluidez veicular.

CONCLUSÕES:

Esses indicadores sugerem que, durante o pico matutino geralmente mais crítico por envolver deslocamentos ao trabalho e à escola, o sistema atuado foi mais eficiente em adaptar-se dinamicamente à demanda, reduzindo a formação de filas e tempos de retenção. No período da tarde, embora as melhorias tenham sido mais modestas, ainda foram relevantes: redução de 12% no tempo de atraso, 29% na fila média e 10% no tempo parado. Esses dados revelam que o sistema continua benéfico mesmo com uma demanda de tráfego potencialmente mais distribuída, típica do retorno do trabalho e outras atividades. Apesar desses ganhos quantitativos, o nível de serviço (LOS) permaneceu em F nos dois períodos, o que evidencia que, mesmo com os avanços no controle semafórico, a interseção ainda opera em condições de saturação. Esse resultado pode estar associado a limitações estruturais da via, à alta demanda veicular ou à necessidade de reconfigurações geométricas adicionais, como faixas de conversão exclusivas ou ampliação de capacidade. Além disso, a manutenção do LOS F reforça a ideia de que o semáforo atuado, isoladamente, não resolve

gargalos estruturais, embora traga benefícios mensuráveis. Portanto, sua aplicação deve ser vista como parte de um conjunto integrado de intervenções, que inclui requalificação viária e reprogramação semafórica coordenada.

BIBLIOGRAFIA

- BEG, A. et al. **UAV-enabled intelligent traffic policing and emergency response handling system for the smart city**. Personal and Ubiquitous Computing, v. 25, n. 1, p. 33–50, 1 fev. 2021.
- BERNARDO, Nívio Antônio Ribeiro. **A importância da simulação computacional como material potencialmente significativo para o ensino da Física**. 2015. 76 f. Dissertação - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Garanhuns.
- ULI NELLAR, Eduardo. **Modelos de simulação de tráfego de veículos**. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas) - Escola Politécnica, USP, São Paulo, 2001.
- VASCONCELLOS, Eduardo Alcântara. **Pesquisa e levantamentos de tráfego**. São Paulo: Companhia de Engenharia de Tráfego – CET, 1982. Boletim Técnico CET, n. 31. 184 p. II.
- PARK, Byungkyu B.; SCHNEEBERGER, J. D. **Microscopic Simulation Model Calibration and Validation: Case Study of VISSIM Simulation Model for a Coordinated Actuated Signal System**. Transportation Research Record, nº 1856, p. 1–9, 2003.
- FELDMAN, Olga. **The GEH measure and quality of the highway assignment models**. European Transport Conference, Glasgow, 2012.
- TRANSPORTATION RESEARCH BOARD. Highway Capacity Manual, Sixth Edition: **A Guide for Multimodal Mobility Analysis**. Washington, D.C.: The National Academies Press, 2016.