

## ANÁLISE DE DIRETRIZES PARA IMPLANTAÇÃO DE SEMÁFOROS EM INTERSEÇÕES URBANAS ATRAVÉS DE MICROSSIMULAÇÃO

**Luisa Fernandes Reis**

**José Elievam Bessa Júnior**

Universidade Federal de Minas Gerais  
Departamento de Engenharia de Transportes e Geotecnia

### RESUMO

Com frequência, a utilização de semáforos, em redes viárias urbanas, tem sido uma alternativa aplicada para melhorar a operação em interseções. A implantação desses equipamentos deve ser embasada em diretrizes estabelecidas de acordo com as características de cada região ou país. Neste trabalho, foram avaliados dois desses métodos, um americano e um brasileiro, considerando uma rede viária na região central de Belo Horizonte. Foi analisada a necessidade de implantação semaforizada em algumas interseções não semaforizadas, de acordo com as diretrizes especificadas pelos manuais, e foram determinadas as programações semaforizadas para os dispositivos propostos. Em seguida, foram simulados, com o *software* Aimsun Next, cenários com esses semáforos implantados. Os resultados obtidos com as simulações revelam que, em relação ao cenário atual (com as interseções não semaforizadas), não houve ganhos operacionais com a implantação dos equipamentos.

### 1. INTRODUÇÃO

A situação do constante aumento da frota de veículos no Brasil, acompanhado do crescimento dos deslocamentos e dos tempos de viagem, proporciona um desafio para os órgãos que gerenciam o sistema viário. Segundo o DETRAN-MG (2018), em Belo Horizonte, a frota veicular mais que dobrou, entre 2006 e 2018. Esse tipo de situação causa impactos na mobilidade e acessibilidade das cidades que não apresentam infraestrutura viária capaz de sustentar a disputa por espaço nas vias públicas e o aumento dos congestionamentos.

Com o objetivo de facilitar o deslocamento de pessoas nas vias e interseções das cidades, organizar o tráfego e evitar conflitos, surgem dispositivos de controle de tráfego como os semáforos. A sua implantação incorreta ou sem necessidade pode gerar impactos negativos no trânsito das cidades (CONTRAN, 2014). A decisão pela sinalização semaforizada deve estar fundamentada em critérios que evidenciem a real necessidade, além da viabilidade de operação, uma vez que sua implantação é onerosa.

Os estudos necessários para avaliação da necessidade de implantação de um semáforo abrangem uma série de fatores, que podem variar de acordo com cada país, geralmente baseados em informações como os volumes de tráfego e a segurança viária. Sendo assim, o presente trabalho visa aplicar duas metodologias para implantação de interseções semaforizadas, uma americana (FHWA, 2009), presente no *Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways* (MUTCD), e uma brasileira (CONTRAN, 2014), do Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN), levando-se em conta somente os critérios baseados nos volumes veiculares.

### 2. DIRETRIZES PARA IMPLANTAÇÃO DE SEMÁFOROS

O MUTCD é um manual americano que estabelece parâmetros e fornece orientações para instalação e manutenção de dispositivos de controle de tráfego. A investigação para determinar a necessidade de instalação de um semáforo deve incluir um estudo dos fatores relacionados à operação existente e à segurança no local avaliado, através da análise de nove critérios. A decisão pela implantação do semáforo não transcorre do cumprimento de um ou

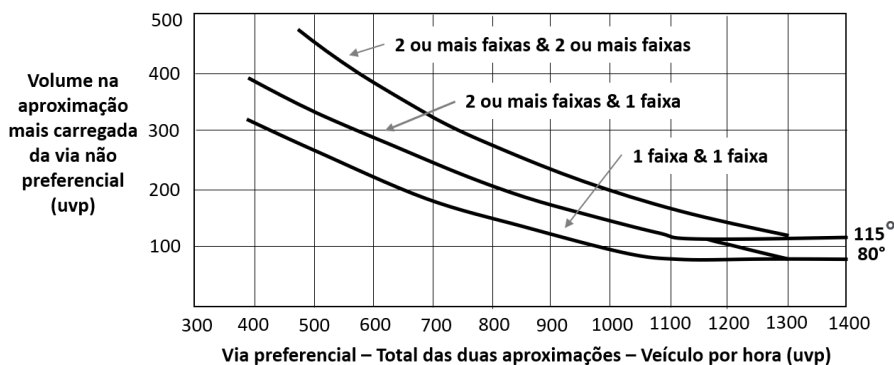
mais critérios, e sim de uma análise macroscópica, com um estudo que comprove a melhoria geral das condições de operação e segurança no local.

Um desses critérios envolve o fluxo veicular das oito horas mais movimentadas de um dia típico. Esse critério é aplicado nos casos em que a principal razão da análise da interseção é o grande volume veicular que entrecruzam nela (Condição A) ou a dificuldade dos veículos das vias não preferenciais em adentrar ou cruzar a via preferencial (Critério B). A Tabela 1 detalha esses dois critérios, em que os volumes devem ser maiores ou iguais ao mínimo estabelecido para se justificar a implantação do semáforo (Condição A ou B). Também se recomenda a implantação do semáforo se as duas condições (A e B) forem satisfeitas em 80% do mínimo estabelecido na tabela.

**Tabela 1:** Volume mínimo para o critério das oito horas (FHWA, 2009)

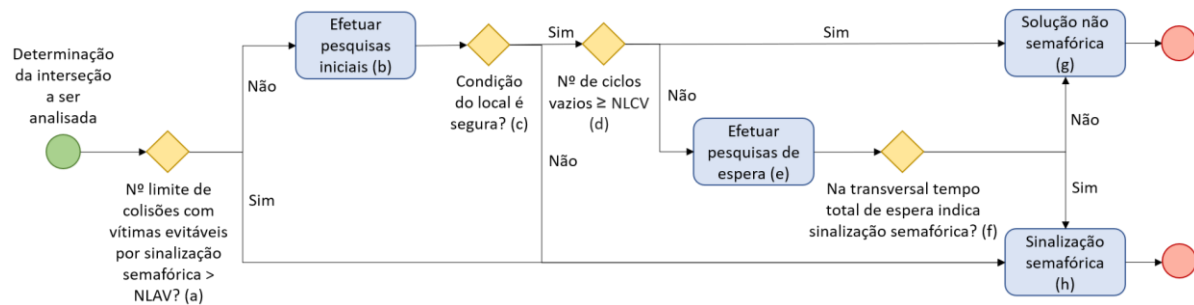
Número de faixas		Condição A		Condição B	
Via preferencial	Via secundária	Volume total na via preferencial, nos dois sentidos	Volume no sentido mais carregado da via secundária	Volume total na via preferencial, nos dois sentidos	Volume no sentido mais carregado da via secundária
1	1	500	150	750	75
2 ou mais	1	600	150	900	75
2 ou mais	2 ou mais	600	200	900	100
1	2 ou mais	500	200	750	100

Outro critério diz respeito ao fluxo veicular das quatro horas de um dia típico, quando o controle semafórico não é necessário por oito horas. A necessidade de instalação do semáforo é considerada se o estudo apontar que, nas 4 horas mais carregadas de um dia típico, os fluxos na via preferencial (dois sentidos) contra os fluxos na aproximação mais carregada da via secundária se localizarem acima da curva da Figura 1, para a combinação de faixas de aproximação.



**Figura 1:** Critério de fluxo veicular das quatro horas (FHWA, 2009)

No caso do Brasil, em 2014, foi publicado, pelo Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN) a Resolução 483/14, que apresentava alterações no texto do Anexo II do Código Brasileiro de Trânsito (CTB). Foi lançado o anexo do Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito, o “Volume V – Sinalização Semafórica” (CONTRAN, 2014). A Figura 2 apresenta o fluxograma com as etapas do método para avaliação da implantação de semáforos.



**Figura 2:** Método para avaliação de implantação de semáforos (critério dos veículos) do DENATRAN (CONTRAN, 2014)

### 3. ESTUDO DE CASO

O método para avaliar as diretrizes de implantação de semáforos (MUTCD e DENATRAN) consiste em selecionar, para uma determinada área, algumas interseções que, hoje, não são semaforizadas. Ao se determinar a implantação dos semáforos, deve-se modelar as interseções e a área escolhida em um simulador de tráfego devidamente calibrado e validado. Com isso, é possível verificar as medidas de desempenho obtidas com a simulação antes e depois da implantação dos semáforos.

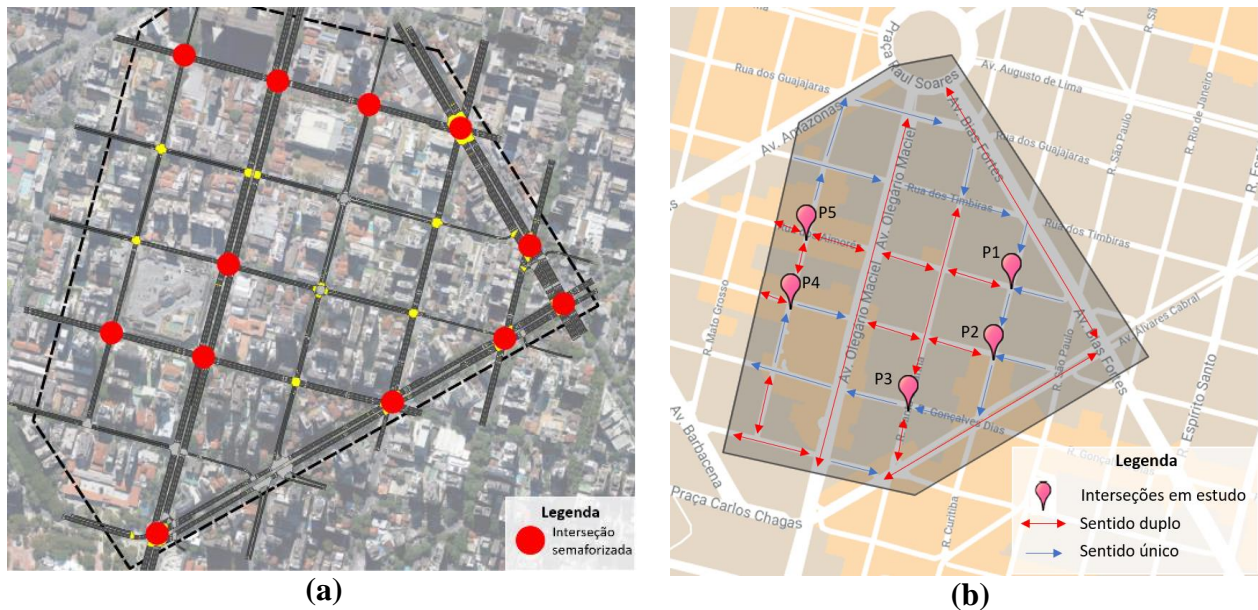
A área de estudo escolhida para análise da implantação de semáforos encontra-se no município de Belo Horizonte (BH), no estado de Minas Gerais (MG), que possui uma população estimada de 2.512.070 habitantes (IBGE, 2019). A frota de veículos de MG figura em 2º lugar no ranking de estados com maior frota (IBGE, 2019). Além disso, o Plano de Mobilidade Urbana de BH (PBH, 2012) indica que, entre 2007 e 2010, cerca de 3,7% da malha viária apresentava um volume de tráfego superior à capacidade das vias, provocando áreas de congestionamentos.

Na Figura 3a, é possível verificar a área da cidade escolhida para análise, devidamente modelada no Aimsun Next versão 8.1 (TSS, 2015), simulador escolhido para realizar a análise, com a indicação das 11 interseções semaforizadas da região. A área selecionada para análise se localiza nos bairros de Lourdes e Santo Agostinho, na região central de BH, limitadas pelas avenidas Amazonas, Bias Fortes e Álvares Cabral, e pelas ruas Rio Grande do Sul e dos Timbiras (Tabela 2 e Figura 3b).

Os dados de demanda utilizados no estudo são de 2018, com um ajuste realizado para o ano de 2019 a partir de uma análise da elasticidade do crescimento da frota total da cidade. Para a rede viária selecionada, foi obtida a Matriz Origem-Destino de viagens (Matriz OD) a partir da matriz OD da cidade, para o período entre 18 h e 19 h, usando a ferramenta *Static OD Adjustment* do Aimsun Next. Foram inseridas, ainda, as programações semafóricas atuais dos semáforos, fornecidas pela prefeitura da cidade.

**Tabela 1:** Interseções analisadas

Numeração	Via preferencial	Via secundária
1	Rua Curitiba	Rua Aimorés
2	Rua Curitiba	Rua Bernardo Guimarães
3	Rua Gonçalves Dias	Rua Santa Catarina
4	Rua Rio Grande do Sul	Rua Bernardo Guimarães
5	Rua Rio Grande do Sul	Rua dos Aimorés

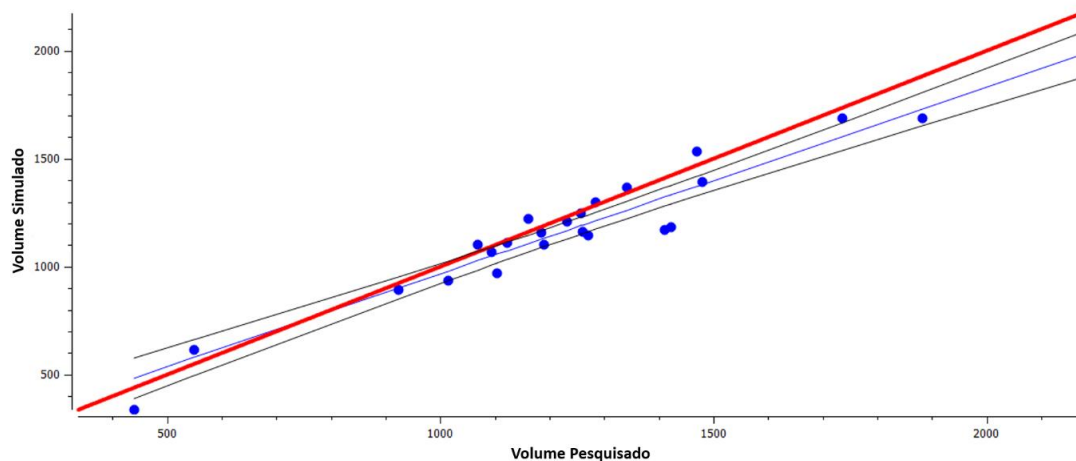


**Figura 3:** Rede viária selecionada na região central de Belo Horizonte modelada no Aimsun Next (a) e com a indicação das interseções não semaforizadas analisadas (b)

Para realizar a simulação microscópica da rede viária selecionada, é necessário calibrar e validar o software de modo que ele represente, adequadamente, as condições de tráfego locais, uma vez que os parâmetros comportamentais do simulador representam a realidade do local onde o simulador foi desenvolvido. Para o presente estudo, foram adotados os valores de parâmetros comportamentais obtidos em um trabalho anterior para a cidade de Belo Horizonte (Magalhães *et al.*, 2017).

Deve-se também avaliar os fluxos de tráfego nas aproximações obtidos na microssimulação, em comparação com o volume real pesquisado em campo. A Figura 4 representa a análise de dispersão desses volumes, que apresentou um coeficiente de ajuste linear de aproximadamente 93%. Esse valor indica que a simulação foi capaz de reproduzir com eficiência o volume de veículos observado nas pesquisas de tráfego.

Além disso, foi obtida a fórmula empírica GEH, que permite comparar dois conjuntos de dado, real e simulado. De acordo com CALTRANS (2002), os valores recomendados de GEH para validação de uma rede são, pelo menos, 85% das variáveis com GEH inferior a 5, todas as variáveis com GEH inferior a 10 e, entre 5 e 10 aceitável mediante revisão de possíveis erros na modelagem. Para este estudo, aproximadamente 85% das seções com contagem apresentaram GEH menor ou igual a 5, enquanto 15% estiveram GEH entre 5 e 10.



**Figura 4:** Resultado da regressão linear do volume pesquisado e simulado - Pico tarde

Pode-se considerar um sistema válido quando os resultados da microssimulação não apresentam diferenças significativas quando confrontados com as condições da situação real, e obedecem ao teste GEH. Além dos dados de tráfego, foi utilizado para validação do cenário atual o mapa de carregamento do *Google Maps*, das 18:30 h, de uma quarta-feira típica, comparando os resultados do carregamento real com o carregamento gerado na simulação. Baseando-se, portanto, nos resultados de calibração da rede, no teste GEH, na regressão linear e na análise visual do carregamento, foi verificado que o modelo de simulação está adequado para reproduzir as condições de tráfego da região. Para aplicação das metodologias de implantação de semáforos, a principal informação utilizada é o volume veicular, obtido através da simulação, para as interseções de interesse.

Para aplicação da metodologia do MUTCD (Tabela 3), para o critério em que se considera o volume de 8 horas, a implantação de semáforo foi justificada em três interseções não semaforizadas: i) Rua Curitiba x Rua Aimorés; ii) Rua Curitiba x Rua Bernardo Guimarães; e iii) Rua Gonçalves Dias x Rua Santa Catarina. Considerando o fluxograma apresentado na Figura 1, para o critério brasileiro sob a ótica dos veículos, foram apontadas as mesmas interseções como necessárias para implantação de semáforos (Tabela 4).

**Tabela 3:** Aplicação do critério da metodologia americana (volume das oito horas)

Interseção	Fluxo horário na via preferencial (veic/h)	Fluxo horário na aproximação mais carregada da via secundária (veic/h)
1	767	264
2	752	323
3	830	448
4	1497	0
5	369	61

**Tabela 4:** Aplicação dos critérios da metodologia brasileira

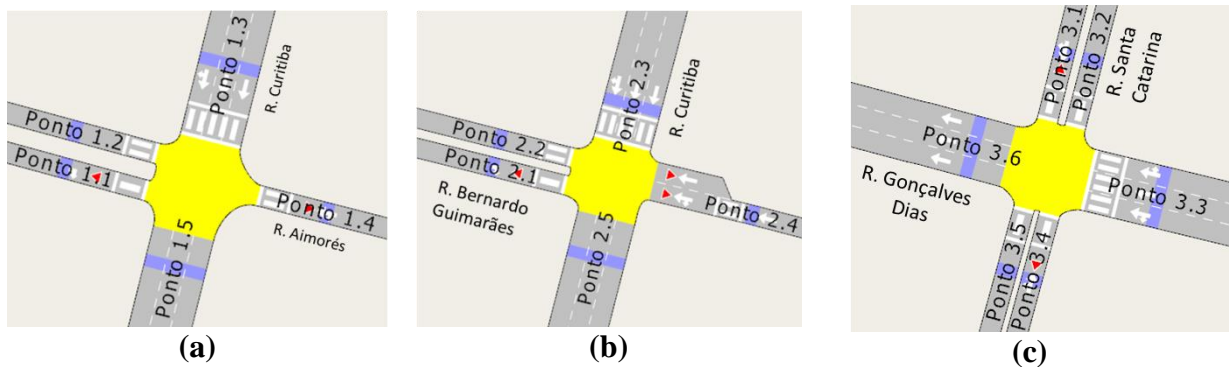
Interseção	Fluxo total das aproximações da via secundária (FTS) – uvp/h	Nº médio de veículos por ciclo nas aproximações secundárias (m)	Nº de ciclos vazios (NCV)
1	264	6,60	0,05
2	522	13,05	0,00
3	461	11,53	0,00
4	0	0,00	40,00
5	81	2,03	5,27

Uma vez definidas as interseções indicadas para implantação dos semáforos, as programações semafóricas foram obtidas a partir do Método de Webster, para aplicação em semáforos isolados e com tempo fixo (Mannering e Washburn, 2013).

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

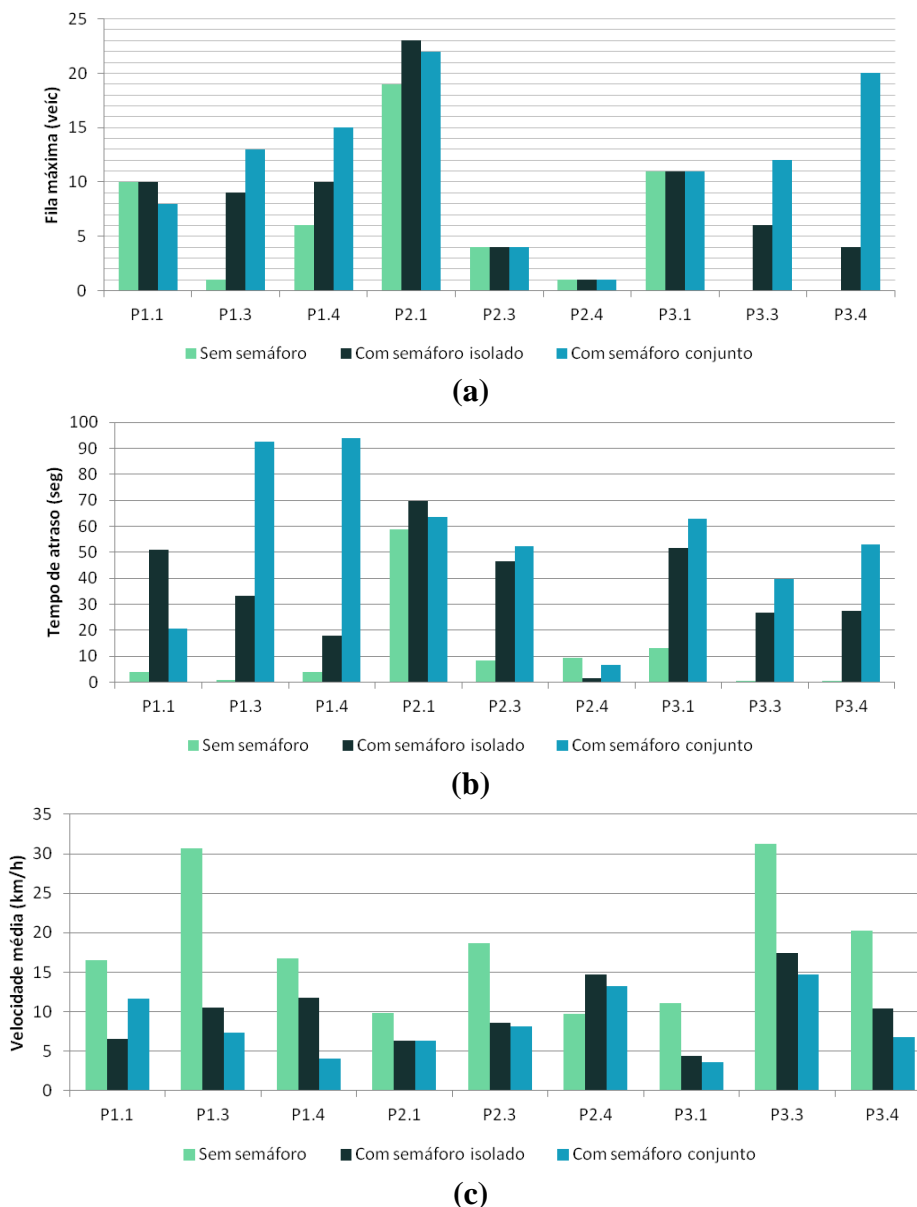
Com a aplicação das metodologias e a definição das estratégias de controle dos semáforos propostos, foram estabelecidos os cenários a serem analisados para avaliação das medidas de desempenho e os impactos no tráfego da região. Optou-se por simular os três semáforos, um de cada vez e, por fim, um cenário com a implantação em conjunto dos equipamentos, resultando em quatro cenários.

Foram analisadas três medidas de desempenho, agrupadas para todas as classes veiculares, por aproximação de cada interseção: fila máxima, atraso médio e velocidade média. Em relação à fila máxima, que equivale ao número de veículos no estado de enfileiramento, de modo geral, em todos os cenários analisados, houve um aumento de comprimento das filas com a implantação dos semáforos. O atraso médio, parcela de tempo indesejada pelos usuários do sistema, também aumentou em todos os cenários analisados após a implantação dos dispositivos. A última medida de desempenho, a velocidade média, representa um aumento do desempenho do sistema se ocorre algum aumento. Foi verificado que ocorreram reduções das velocidades médias em todos os cenários. Na Figura 5, é possível verificar as interseções analisadas. Para cada aproximação (pontos 1.1, 1.2, etc.), foram obtidos os resultados para as três medidas de desempenho avaliadas (Figura 6).



**Figura 5:** Interseções avaliadas: a) Rua Curitiba x Rua Aimorés; b) Rua Curitiba x Rua Bernardo Guimarães; e c) Rua Gonçalves Dias x Rua Santa Catarina

Analisou-se, também, quatro medidas de desempenho para toda a rede, com o objetivo de verificar ganhos e perdas operacionais de um modo global (Tabela 5). Considerando-se que a implantação do semáforo é vantajosa quando a diferença percentual para a fila média, para o tempo de atraso e para o tempo de viagem é negativa (os valores são reduzidos), e para a velocidade ocorre quando essa diferença é positiva, verifica-se que não houve ganho operacional em nenhum dos cenários propostos.



**Figura 6:** Medidas de desempenho obtidas por simulação: a) fila máxima; b) atraso; e c) velocidade média, por aproximação, de acordo com a nomenclatura da Figura 5

**Tabela 5:** Diferenças percentuais das medidas de desempenho em relação ao cenário atual

Medidas de desempenho	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Fila Média (veic)	3,38%	8,46%	2,52%	28,22%
Tempo de Atraso (s/km)	0,97%	5,51%	1,61%	20,96%
Tempo de Viagem (s/km)	0,70%	3,92%	1,05%	14,91%
Velocidade (km/h)	-0,64%	-1,55%	-2,37%	-6,75%

## 5. CONCLUSÕES

Com base na observação das medidas de desempenho, verificou-se que não houve ganhos com a implantação dos semáforos nas interseções analisadas, em relação ao cenário atual. Conclui-se que a aplicação de critérios para auxiliar na decisão de implantação de semáforos deve ser realizada de maneira cautelosa, seguindo todos os passos recomendados pelos

manuais, sendo considerada como um subsídio para a tomada de decisão, e não de forma impositiva. Além disso, pode significar que as diretrizes, sobretudo avaliando-se somente os volumes de tráfego, não devem ser usadas como única condição para a implantação de semáforos em regiões urbanizadas, sendo importante avaliar também o ganho em termos de segurança viária.

A ausência de dados de campo que poderiam ser usadas nas diretrizes do MUTCD e do DENATRAN, como o atraso e o número de acidentes, dificultou a análise global dos resultados encontrados neste trabalho, no que diz respeito à necessidade de implantação de semáforos. Sendo assim, recomenda-se buscar essas informações em trabalhos futuros.

Além disso, conclui-se que a determinação de uma programação semafórica coordenada, e de uma estratégia de controle bem definida, é essencial para a boa operação de um semáforo e melhora nas medidas de desempenho. Especialmente na rede estudada, a definição da melhor defasagem, baseada no comportamento dos pelotões de veículos que circulam entre as interseções, e de um sistema bem coordenado, pode conduzir à obtenção de medidas de desempenho mais satisfatórias para os cenários propostos e, conseqüentemente, para uma maior contribuição para a melhoria do tráfego da região.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPEMIG, pelo apoio financeiro sob o número de processo APQ-03818-18, e ao CNPq, pela Bolsa de Produtividade sob o número de processo 312651/2018-0. Agradecem, ainda, a Aimsun, pelo fornecimento da licença acadêmica do Aimsun Next, e à CAPES, pelo suporte à pesquisa. Agradecem, também, à BHTrans, pela disponibilização dos dados utilizados no trabalho.

#### REFERÊNCIAS

- CALTRANS (2002) *Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Modeling Software*. Departamento de Transportes da Califórnia. Oakland, CA.
- CONTRAN (2014) *Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito – Volume V: Sinalização Semafórica*. Conselho Nacional de Trânsito, Departamento Nacional de Trânsito, Ministério das Cidades, Brasil.
- DETRAN-MG (2018) *Estatísticas de trânsito*. Departamento de Trânsito de Minas Gerais.
- FHWA (2009) *Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways*. Federal Highway. Edição 2009. Washington: Federal Highway Administration.
- IBGE (2019) *Frota de veículos*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
- Magalhães, V., Oliveira, W. S., Maciel, B. C. S., Bessa Júnior, J. E., Moura, M. E. V. e Pinto Júnior, J. M. (2017) Calibração de submodelos comportamentais do simulador Aimsun para Belo Horizonte. Congresso Brasileiro de Mobilidade Urbana 2017, *Anais...*, Associação Nacional de Transportes Públicos.
- Mannering, F. L. e Washburn, S. S. (2013) *Principles of Highway Engineering and Traffic Analysis*. 5.ed. Massachusetts: John Wiley & Sons, Inc., 350 p.
- PBH (2012) *Plano de Mobilidade Urbana de Belo Horizonte*. Prefeitura de Belo Horizonte.
- TSS (2015) *AIMSUN User's Manual – Version 8.1*. Transport Simulation Systems.

---

#### Endereço para contato:

Prof. Dr. José Elievam Bessa Júnior (elievam@etg.ufmg.br ou elievamjr@gmail.com)

Eng. Luisa Fernandes Reis (luisafreiss@gmail.com)

Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Dpto. de Engenharia de Transportes e Geotecnia (DETG)  
Avenida Antônio Carlos, 6.627, Escola de Engenharia, Bloco 1, Pampulha, Belo Horizonte, MG, 31.270-901