

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES E GEOTECNIA  
NUCLETRANS – NÚCLEO DE TRANSPORTES

**CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM  
LOGÍSTICA ESTRATÉGICA E SISTEMAS DE TRANSPORTES**

**AVALIAÇÃO DO MEIO CICLO ESTRUTURADO ATRÁVES DA SIMULAÇÃO**

**Lucas Lage Miranda**

Belo Horizonte, 20 de maio de 2013

Lucas Lage Miranda

## **AVALIAÇÃO DO MEIO CICLO ESTRUTURADO ATRÁVES DA SIMULAÇÃO**

Trabalho apresentado ao Curso de Especialização em Logística Estratégica e Sistemas de Transporte, da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do Título de Especialista em Logística Estratégica e Sistemas de Transporte.

Orientadora: Professora Heloisa Maria Barbosa,  
PhD

Belo Horizonte, 20 de maio de 2013

# **AVALIAÇÃO DO MEIO CICLO ESTRUTURADO ATRÁVES DA SIMULAÇÃO**

Lucas Lage Miranda

Este trabalho foi analisado e julgado adequado para a obtenção de título de Especialista em Logística Estratégica e Sistema de Transporte e aprovado em sua forma final pela Banca Examinadora.

## **BANCA EXAMINADORA**

Prof. Heloisa Maria Barbosa, PhD  
Orientadora

Prof. Ronaldo Guimarães Gouvêa. D.Sc.  
Avaliador

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho à minha mãe, pelos ensinamentos e por tudo que sou hoje.

## **AGRADECIMENTOS**

Às mulheres de minha vida, minha mãe, minha irmã e minha namorada, que são meu suporte para tudo nessa vida.

Aos meus amigos de trabalho, pela colaboração.

À MODELLE, principalmente aos Mestres Eduardo, André e Rodrigo, pelo eterno aprendizado, suporte e amizade.

À professora Heloísa, pela orientação e incentivo.

*“O que pensamos ou no que acreditamos não tem muita importância. A única coisa relevante é o que fazemos.”*

(John Ruskin)

## RESUMO

Este trabalho apresenta um método de otimização semafórica para o hipercentro de grandes centros urbanos que prioriza o fluxo de pedestres, sem prejudicar o fluxo dos veículos motorizados. O estudo, aqui chamado de Meio Ciclo Estruturado, propõe que, com aplicação do modelo, pode-se ter como resultado uma grande redução do tempo de viagem não somente para os veículos, mas, principalmente, para os pedestres, que têm visto, cada vez mais, os órgãos gestores das grandes cidades privilegiarem o transporte motorizado. O sistema proposto foi aplicado através do simulador de tráfego *Aimsun*. Para isso, seguiu-se um caminho metodológico, o qual iniciou-se com a macrossimulação de toda a rede metropolitana de Belo Horizonte. Para delimitação da área de interesse de estudo, utilizou-se ferramenta específica do *software*, a qual se fez um “recorte” na malha viária da RMBH, obtendo-se a matriz O/D da região simulada. Gerada a rede de estudo e a matriz de deslocamento dos veículos, aplicou-se um dos instrumentais mais avançado na simulação de tráfego que consiste na simulação híbrida. O estudo aplicou em uma mesma plataforma, macro, meso e microsimulação de tráfego. Para avaliar a eficácia do Meio Ciclo Estruturado, considerou-se como área de estudo o trecho da Av. Amazonas entre Av. Afonso Pena e Av. Augusto de Lima no hipercentro de Belo Horizonte. Após concluídas as etapas de modelagem, calibração e validação da situação atual, aplicou-se o modelo na região de estudo obtendo-se bons resultados, como a redução significativa de tempos de atraso e viagem tanto para os pedestres, quanto para o tráfego geral. Consequentemente, houve aumento da velocidade média, o que resultou em uma maior fluidez do sistema e uma redução significativa do tempo de espera dos pedestres nas travessias.

Palavras-chave: simulação de tráfego, microsimulação, otimização semafórica.

## **ABSTRACT**

This paper presents a traffic signal optimization method for hypercenter of large cities to give priority to pedestrian flow without affecting motorized vehicle flow. The study, here called “Structured Half Cycle”, proposes the application of a model which may result in a large reduction in travel time not only for vehicles, but mainly for pedestrians, who have witnessed local authorities increasingly favoring motorized modes of transportation. The proposed system was implemented in the traffic simulator Aimsun. A methodological approach was adopted, which began with macroscopic simulation of the entire metropolitan network of Belo Horizonte. In the definition of the study area, a specific software tool was used to delineate the road network, in order to obtain the O/D matrix of the simulation area. After generating the study network and vehicle trips matrix, one of the most advanced instruments of traffic simulation was applied, hybrid simulation. The instrument uses macroscopic, mesoscopic, and microscopic traffic simulation in the same platform. In order to evaluate the effectiveness of the Structured Half Cycle, the road stretch of Amazonas Avenue between Afonso Pena Avenue and Augusto de Lima Avenue was considered as the study area in the Belo Horizonte hypercenter. After concluding the modeling steps, calibration, and validation of the current situation, the model was applied in the study area, obtaining good results, such as a significant reduction in delays and travel times for both pedestrians and general traffic. There was an increase in average speed, which resulted in a more fluid system and a significant reduction in waiting time for pedestrian crossings.

Keywords: traffic simulation, microscopic simulation, traffic signal optimization.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ciclo Normal Interseção Tipo.....	23
Figura 2 – Meio Ciclo Estruturado Interseção Tipo.....	24
Figura 3 – Rede de Simulação Híbrida .....	33
Figura 4 – Em destaque a área de microssimulação.....	34
Figura 5 – Rede macroscópica, em destaque, a rede de simulação híbrida.....	38
Figura 6 – Exemplo dos três níveis de simulação .....	40
Figura 7 – Fluxograma do processo de simulação .....	42
Figura 8 – Cadastro das linhas por PED.....	43
Figura 9 – Exemplo de planilha de programação semafórica .....	45
Figura 10 – Carregamento na simulação do cenário atual (30 min. de simulação) ..	49
Figura 11 – Interseções onde foi aplicado o Meio Ciclo Estruturado.....	50
Figura 12 – Carregamento do cenário atual após 1 hora de simulação .....	54
Figura 13 – Carregamento do cenário proposto após 1 hora de simulação.....	55
Figura A1 – Croqui da interseção da Av. Afonso Pena com Av. Amazonas .....	62
Figura A2 – Croqui da interseção da Av. Amazonas com R. São Paulo e R. dos Tamoios .....	64

Figura A3 – Croqui da interseção da Av. Amazonas com R. Curitiba e R. dos Tupis .....	65
Figura A4 – Croqui da interseção da Av. Amazonas com R. Padre Belchior .....	67
Figura A5 – Croqui da interseção da Av. Amazonas com R. dos Goitacazes e R. Santa Catarina.....	68

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Volume Pesquisado X Simulado .....	47
Gráfico 2 – Resultado da Regressão Linear .....	48

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultados do ajuste macro .....	36
Tabela 2 – Comparativo dos cenários atual e proposto .....	52
Tabela A1 – Programação semafórica atual da interseção da Av. Afonso Pena com Av. Amazonas .....	63
Tabela A2 – Programação semafórica proposta para a interseção da Av. Afonso Pena com Av. Amazonas.....	63
Tabela A3 – Programação semafórica atual da interseção da Av. Amazonas com R. São Paulo e R. dos Tamoios .....	64
Tabela A4 – Programação semafórica proposta para a interseção da Av. Amazonas com R. São Paulo e R. dos Tamoios .....	65
Tabela A5 – Programação semafórica atual da interseção da Av. Amazonas com R. Curitiba e R. dos Tupis.....	66
Tabela A6 – Programação semafórica proposta para a interseção da Av. Amazonas com R. Curitiba e R. dos Tupis .....	66
Tabela A7 – Programação semafórica atual da interseção da Av. Amazonas com R. Padre Belchior .....	67
Tabela A8 – Programação semafórica proposta para a interseção da Av. Amazonas com R. Padre Belchior .....	68
Tabela A9 – Programação semafórica atual da interseção da Av. Amazonas com R. dos Goitacazes e R. Santa Catarina .....	69

Tabela A10 – Programação semafórica proposta para a interseção da Av. Amazonas com R. dos Goitacazes e R. Santa Catarina.....	69
---	----

## LISTA DE ABREVIATURAS

Macro – Macrossimulação

Meso – Mesossimulação

Micro – Microssimulação

## LISTA DE SIGLAS

BRT – *Bus Rapid Transit*

CIT – Controle Inteligente de Tráfego

DENATRAM – Departamento Nacional de Trânsito

DER – Departamento de Estradas de Rodagem

ITS – *Intelligent Transportation System*

OPAC – *Optimization Policies for Adaptive Control*

PED – Ponto de Embarque e Desembarque

RMBH – Região Metropolitana de Belo Horizonte

SCATS – *Sydney Coordinated Adaptive Traffic System*

SCOOT – *Split Cycle Offset Optimization Technique*

SETOP – Secretaria de Estado de Transportes e Obras Públicas

TRANSYT – *Traffic Network Study Tool*

TRL – *Transport Research Laboratory*

TSS – *Transport Simulation Systems*

UTMS – *Universal Traffic Management System*

UTOPIA – *Urban Traffic Control System Architecture*

UVP – Unidade Veicular Padrão

VISSIM - **V**erkehr **I**n **S**tädten **SIM**ulationsmodell (modelo de simulação das cidades)

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	18
1.1	O que é o Meio Ciclo Estruturado .....	22
1.2	Objetivos .....	24
1.2.1	Objetivo Geral .....	24
1.2.2	Objetivos Específicos.....	25
1.3	Estrutura do Documento.....	26
2	REFERENCIAL TEÓRICO .....	27
3	METODOLOGIA .....	31
4	APLICAÇÃO DO MEIO CICLO ESTRUTURADO .....	32
4.1	Descrição da área de estudo .....	32
4.2	Macrossimulação do Tráfego .....	34
4.2.1	Calibração da Rede Macroscópica .....	35
4.3	Rede de Simulação Híbrida .....	37
4.3.1	Cenário Atual – Detalhamento da Sub-rede .....	41
4.3.2	Calibração e Validação da Rede Híbrida .....	46
4.4	Cenário Proposto .....	49

4.5	Limitações do Estudo .....	50
5	ANÁLISE E RESULTADOS.....	52
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	56
	REFERÊNCIAS .....	58
	ANEXO .....	62

## 1 INTRODUÇÃO

O crescimento do número de pessoas vivendo nas cidades, a sobrecarga na infraestrutura, a poluição, os ruídos, além dos profundos impactos causados no meio ambiente, têm, por consequência, a deterioração da qualidade de vida de seus habitantes (VILLAÇA, 1998). Os problemas relacionados ao trânsito urbano, principalmente aos transportes e aos congestionamentos, acabam por agravar ainda mais este quadro. O acelerado processo de urbanização, aliado à falta de efetivo planejamento, responde em grande parte pelas deficiências dos serviços de transporte nas principais cidades brasileiras (BNDES, 1997, p. 01).

A cidade é um palco privilegiado, em permanente transformação, onde se desenrola todo um conjunto de atividades humanas, acumulando e registrando as riquezas decorrentes deste processo histórico. É uma construção coletiva que, ao refletir o dia a dia de seus habitantes e responder às suas demandas atuais, prepara e direciona o futuro (TECTRAN, 2012, p. 02).

A questão do trânsito nas grandes cidades merece destaque sob o aspecto social e econômico, já que faz parte da vida diária das pessoas de todo o mundo. Diversos são os meios de locomoção por via terrestre existentes e a forma como se articulam nas cidades determina a dinâmica da rede viária de trânsito e transporte. Esta dinâmica é particular de cada localidade, e a sua formação é uma combinação da mesoestrutura urbana com as políticas de uso do solo (VILLAÇA, 1998 *apud* MIRANDA, 2008, p. 04).

Os deslocamentos diários dos indivíduos, principalmente da sua residência para o local de trabalho ou estudo, implicam uma série de etapas com características próprias de frequência, tempo de viagem e conforto. Nas grandes aglomerações urbanas, esses deslocamentos estão concentrados em determinadas rotas básicas ou “corredores viários” e em determinadas horas do dia. Daí, a maioria dos problemas de congestionamentos (COELHO, 2008, p.03).

Belo Horizonte, mesmo sendo uma cidade projetada, o que pressupõe um desenvolvimento planejado e orientado, viu logo de início os operários envolvidos em sua implantação ocuparem parcelas de solo localizadas após os limites propostos. Este desvio de processo teve continuidade ao longo dos anos, criando toda uma conformação viária externa à Avenida do Contorno, que não articula adequadamente com o tecido interno do município. O traçado dos grandes eixos externos seguiu a conformação radial dos deslocamentos, criando corredores que, mais tarde, se confirmaram como importantes vias no atendimento aos veículos de transporte de passageiros e de carga (TECTRAN, 2012, p. 02).

Outro aspecto importante relativo à configuração do sistema viário do Município diz respeito ao fato que existe enorme carência de ligações transversais, obrigando que viagens, tanto de transporte público, quanto de automóveis, mesmo com destinos diferentes do Centro da cidade, sejam realizadas utilizando o sistema viário desta área, sobrecarregando de forma bastante significativa a capacidade do sistema de circulação da Área Central (LOGIT, 2010, p. 39).

A organização do sistema viário, a lógica de distribuição dos pontos de embarque e desembarque, o grande número de transferências realizadas, da preservação de espaços para o atendimento das operações de carga e descarga de mercadorias e o caráter de passagem de algumas regiões, fazem do Hipercentro um palco de inúmeros conflitos, sobretudo entre pedestres, ônibus e automóveis (LOGIT, 2010, p. 59).

Em relação à circulação de pedestres, o espaço não está adequado aos fluxos que circulam diariamente na região. Os principais problemas referem-se ao posicionamento do mobiliário urbano e aos conflitos entre os fluxos de passagem e os usuários do transporte coletivo à espera do embarque (LOGIT, 2010, p. 59).

De modo geral, as cidades têm um ciclo estabelecido que, mais ou menos, apresenta a seguinte configuração: no pico da manhã, a área central ainda está relativamente vazia, já que as atividades da manhã se operacionalizam em uma escala progressiva (escola às 7:00 h, escritórios às 8:00 h, comércio às 9:00 h,

bancos às 10:00 h, etc.), enquanto à tarde, além das atividades terem o seu encerramento em horários próximos, tem-se de conviver com algumas que estão se iniciando (turno da noite). Neste sentido, os principais problemas na operação típica dos centros urbanos são verificados no pico da tarde quando o sistema viário e a infraestrutura de tráfego são mais demandados.

No movimento de entrada (pico da manhã), qualquer problema operacional tende a se manter localizado no corredor em que se iniciou, podendo até mesmo facilitar e aliviar a operação de entrada para outros acessos. Já na saída (pico da tarde), devido ao efeito concentrador da área e à complexa interligação do sistema viário (grande rede de interseções semaforizadas), qualquer incidente de operação, como a obstrução de um cruzamento de vias, pode causar repercussões progressivas que comprometem diversas saídas.

Durante os horários de pico, o sistema viário do Centro e dos corredores está operando próximo ao limite da sua capacidade. Tal característica é maximizada com a presença de controle através de semáforos na grande maioria das interseções, onde os efeitos pontuais de má operação são rapidamente propagados. Tem-se efetivamente, como resultado, uma redução da produtividade das vias no período da tarde, e o foco na redução dessa deficiência configura-se como o maior desafio estratégico para os responsáveis pelo tráfego da cidade.

O sistema viário urbano é formado por vias de diferentes características que, em virtude de sua disposição, se interceptam em diversos pontos. As interseções entre as vias são locais que merecem atenção especial dentro do contexto de gerenciamento do tráfego, pois nestes locais existe uma série de conflitos potenciais que, eventualmente, resultam em acidentes caso o tipo de controle de tráfego estabelecido para o local não seja o mais adequado (BERTONCINI e DEMARCHI, 2005, p. 01).

Para que exista fluidez e segurança do tráfego no local, faz-se necessária a implantação de elementos de controle tais como placas, semáforos, rotatórias ou, até mesmo, intervenções maiores como rebaixamento viário e utilização de viadutos, dentre outros. Conforme a localização, os tipos de vias e a quantidade de veículos

que circulam por estas, existe um tratamento mais indicado, visando ao ordenamento dos fluxos de tráfego e à segurança dos motoristas e pedestres (BERTONCINI e DEMARCHI, 2005, p. 01).

À medida que os volumes de tráfego aumentam, deixa de ser possível gerir o ordenamento e a disciplina do tráfego em cruzamentos através de medidas simples, baseadas essencialmente no desenho geométrico, ou em medidas de regulação apenas por prioridades. Por outro lado, a adoção de soluções em desnível requer alto investimento financeiro e grandes áreas, que, muitas vezes, inviabilizam a implantação.

Deste modo o recurso à sinalização luminosa em cruzamentos aparece como uma medida de gestão de tráfego cujo custo de instalação e manutenção é relativamente baixo e que apresenta níveis de eficácia elevados. Entretanto quando indevidamente utilizados, criam situações propícias a acidentes. Assim sendo, é necessário verificar primeiro se o semáforo é realmente indispensável para aquele local (AKISHINO, 2004, p. 01). Quando um semáforo é instalado indevidamente, ocasiona:

- Espera desnecessária, impaciência;
- Estímulo ao desrespeito, descrédito do semáforo;
- Pedestres expostos a avanços imprevisto dos veículos.

Não é fácil encontrar critérios que, de forma simples, permitam saber quais condições justificam a instalação de sinais luminosos em cruzamentos. Há uma grande variedade de indicadores que poderiam ser utilizados, mas convirá que o número seja reduzido para que não se perca o objetivo do estudo. As variáveis utilizadas na definição dos critérios de instalação geralmente estão associadas à segurança e às condições de operação, traduzidas pelo volume de veículos (COSTA *et al*, 2005, p. 05).

O controle do tráfego de veículos nas grandes cidades, especialmente nos horários de pico, é um dos mais sérios problemas urbanos enfrentados na atualidade. O tempo despendido nos congestionamentos traz às pessoas, às cidades e ao meio ambiente diversas consequências negativas.

A partir do atual momento observado no cotidiano dos grandes centros urbanos, justificou a criação deste estudo, que visa apresentar para os órgãos gestores de transporte e tráfego, que através de pequenas modificações, como otimização semafórica, pode-se melhorar a atual situação das grandes cidades que se encontra em seu limite devido à falta de fluidez do tráfego.

### **1.1 O que é o Meio Ciclo Estruturado**

O que se presencia no centro de Belo Horizonte são semáforos abertos, mas veículos imóveis devido ao grande volume de tráfego acumulado no quarteirão posterior. Isso ocorre devido à pequena extensão dos quarteirões do hipercentro e os tempos de ciclo dos semáforos não serem compatíveis a essa extensão. Além desses fatores, deve-se considerar também, veículos entrando e saindo das garagens, ônibus parando nos pontos de embarque e desembarque, veículos de carga, táxi, pedestres, dentre outros, o que contribui, ainda mais, para se criar um cenário de diversos conflitos.

Leve-se em consideração um semáforo com ciclo de 120 segundos, no qual a primeira fase tem 60 segundos, sendo 57 de verde e 3 de amarelo. O volume de veículos que consegue passar pelo semáforo em 57 segundos é de 28 veículos por faixa, já que um veículo leva em média 2 segundos para passar pelo semáforo. Agora, multiplicam-se estes 28 veículos por 5 metros, comprimento médio dos veículos no hipercentro das grandes cidades, então tem-se uma fila de 140 metros por faixa. Como acumular esses veículos sendo que os quarteirões no hipercentro de Belo Horizonte são bem menores?

Ao mesmo tempo, estes longos ciclos fazem com que o pedestre perca a paciência de esperar as oportunidades destinadas a eles e atravesse intempestivamente, se expondo a riscos. Portanto, o objetivo da engenharia de tráfego focada em um trânsito melhor, é trabalhar na tentativa de redução dos ciclos semafóricos de modo que o pedestre tenha mais oportunidades de atravessamento por uma determinada taxa de tempo. Por exemplo, em uma interseção, no qual o ciclo é de 120 segundos,

o pedestre tem 40 possibilidades por hora de atravessamento. Se, por hipótese, trabalhássemos com um ciclo de 60 segundos, ele passaria a ter duas vezes mais oportunidades de atravessamento, reduzindo também o número de pessoas que ficariam contidas a espera de oportunidade para atravessar. Atualmente, as ilhas que são utilizadas para o atravessamento ficam muitas vezes transbordando de pessoas, incorrendo em outra possibilidade de risco.

Entretanto, quando trabalha-se com ciclos menores o engenheiro enfrenta uma contradição, exatamente nas interseções onde se atendeu o pedestre com um vermelho total, isto é, um estágio próprio, a redução do ciclo em função deste “tempo perdido” se faz inviável, já que acarreta grandes congestionamentos. A saída proposta aqui, o Meio Ciclo Estruturado, é segregar os tempos de verde de cada fase em dois momentos, um antes da interfase e o outro após. Com isso cria-se uma maior rotatividade na seção, reduzindo os tempos de viagem não somente para os veículos, mas principalmente, para os pedestres que têm enfrentado a cada dia que se passa ciclos maiores e cada vez mais privilegiando somente os veículos.

Ainda dentro do exemplo, dos 120 segundos dedicados ao ciclo, 61 segundos são destinados para a Fase A, 15 segundos para a interfase e, por fim, 44 segundos para a Fase B (Figura 1). Assim como apresentado na Figura 2, com o Meio Ciclo Estruturado os tempos de verde se dividem em dois momentos: o primeiro antes da interfase e o outro logo após.

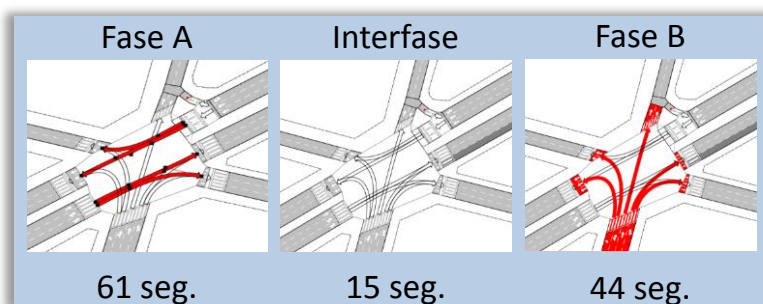


Figura 1 – Ciclo Normal Interseção Tipo

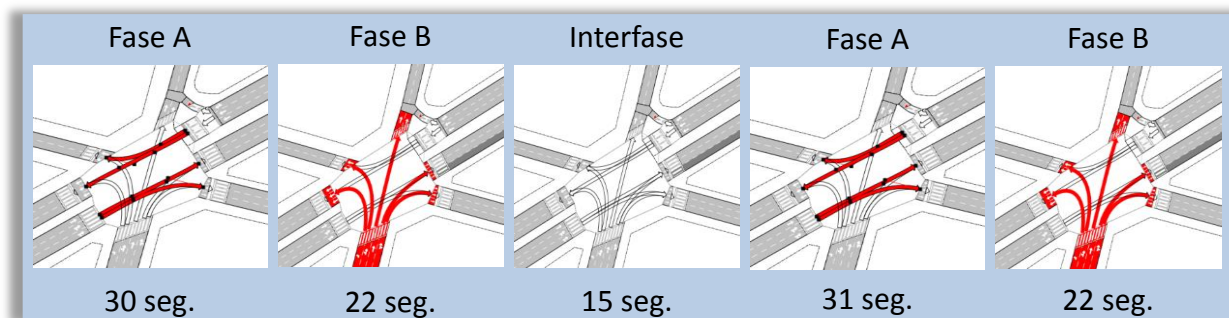


Figura 2 – Meio Ciclo Estruturado Interseção Tipo

Apesar da redução do tempo de verde efetivo no ciclo (os valores apresentados nas Figuras 1 e 2 incluem os tempos de amarelo, que são repetidos no final de cada fase), há uma redução expressiva nos tempos de viagem e atraso, o que será demonstrado nos resultados do estudo. Isso ocorre pois com Meio Ciclo cria-se uma configuração compatível com a extensão dos quarteirões do hipercentro.

Não se conhece cidade no qual o modelo já foi implantado. Este ainda é um conceito criado pela empresa de consultoria de transporte e tráfego TECTRAN e que está sendo testado por ela em estudos desenvolvidos para a prefeitura de Belo Horizonte para implantação do modelo no hipercentro desta cidade.

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo Geral

As soluções de gerenciamento de tráfego são frequentemente avaliadas através de simulações. A preocupação crescente com os modos de transporte não motorizados exige que os pedestres também sejam considerados nestas avaliações (JACOBSEN, 2011, p. 15). Isto se faz presente no atual cenário de Belo Horizonte, onde está sendo implantado um sistema de ônibus de alta capacidade: o BRT (*Bus Rapid Transit*). Este sistema utiliza grandes estações nas quais centenas ou milhares de pedestres chegam e saem das plataformas ao mesmo tempo.

“A representação do comportamento de pedestres e motoristas em travessias, em que ocorrem os principais atrasos decorrentes da interação entre eles, é um aspecto crítico nas simulações” (JACOBSEN, 2011, p. 15). Os simuladores de tráfego, que durante anos representaram apenas os veículos, recentemente incorporaram modelos para representar o comportamento de pedestres. Estes modelos permitem avaliar, por exemplo, qual a solução de gerenciamento de tráfego que minimiza os atrasos de todos os usuários, enquanto historicamente eram avaliados apenas os atrasos dos veículos (JACOBSEN, 2011, p. 11).

Aproveitando a evolução dos *softwares* de simulação, o que se propõe neste trabalho é avaliar os resultados, tanto para os pedestres quanto para os veículos, da aplicação do Meio Ciclo Estruturado nos semáforos de grandes centros urbanos.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

Os objetivos específicos deste estudo compreendem:

- Avaliar através da simulação híbrida, a aplicação do modelo na Av. Amazonas entre as praças Sete e Raul Soares, trecho crítico do hipercentro de Belo Horizonte, onde diariamente motoristas e pedestres têm enfrentado grandes problemas de congestionamento;
- Fazer uma análise comparativa entre o cenário atual e o proposto;
- Apresentar os ganhos, tanto para o tráfego geral, quanto, principalmente, para os pedestres devido à aplicação do modelo.

### **1.3 Estrutura do Documento**

Esta monografia é composta por seis capítulos. Esta introdução compõe o primeiro capítulo. Em seguida apresenta-se o referencial teórico no Capítulo 2 com foco no controle de tráfego por semáforos e na simulação de tráfego. O Capítulo 3 descreve a metodologia adotada neste trabalho. A aplicação do meio ciclo estruturado está detalhada no Capítulo 4. Os resultados e a análise comparativa entre os cenários, atual e proposto, são apresentados no Capítulo 5. No último capítulo foram expostas as considerações finais do estudo. Por fim são apresentadas as Referências Bibliográficas e documentos complementares no Anexo.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Simulação é a imitação de um processo ou sistema ao longo do tempo (BANKS *et al.*, 1999 *apud* LIMONTA, 2002, p. 03). O principal objetivo é de se prever o impacto de mudanças no sistema real, antes mesmo dessas serem implantadas. Também pode ser usada para estudar sistemas durante suas fases de desenvolvimento.

A simulação de tráfego vem sendo, a cada dia, uma ferramenta de uso mais frequente na engenharia de tráfego, pois elimina a necessidade de testes de campo, que demandam tempo, apresentam riscos e são, muitas vezes, impossíveis de serem realizados. Fornece a oportunidade de testar novas estratégias ou alternativas de gerenciamento de viagens antes da sua implantação, e representam ambientes de tráfego que mudam com o tempo, como volumes de tráfego e incidentes que causam congestionamento. (MAIOLINO E PORTUGAL, 2001 *apud* COELHO, 2008, p.09).

Os modelos microscópicos simulam os movimentos dos veículos individuais baseados em três algoritmos básicos: *car-following* (comportamento dos motoristas ao seguirem o veículo à frente), *lane-changing* (modelando o comportamento desenvolvido nos processos de ultrapassagem) e *gap acceptance* (focado no aproveitamento de brechas de tempo no fluxo de veículos) (TSS, 2011).

Segundo TSS (2011), estes modelos são eficazes, inclusive na avaliação de condições de tráfego altamente congestionadas, de configurações geométricas complexas e em estudos que avaliam os impactos no sistema ocasionados por modificações das condições padrões de tráfego. As características operacionais de tráfego também são influenciadas pelas condições da pista, inclinação vertical e curvas horizontais.

Os veículos, nestes modelos, entram numa rede de transportes usando uma distribuição estatística (processo estocástico) e são observados no seu percurso pela rede em pequenos intervalos de tempo, como um segundo ou uma fração de

segundo. Ao entrar na rede, a todo veículo é atribuído um motorista, com padrões diferentes de comportamento, e um destino.

Por dividir o período de análise em várias partes, um modelo de simulação pode avaliar a formação, dissipação e duração de um congestionamento. Considerando-se que é analisado todo um sistema interligado, modelos de simulação podem computar a interferência que ocorre quando um congestionamento se forma em uma localização e impacta na capacidade de outra (TECTRAN, 2011, p. 80).

Além disto, a manipulação de matrizes permite não só modelar as condições atuais do tráfego, como também utilizar os modelos de previsão da demanda futura. Uma vez estabelecidos os desejos de deslocamento na área de estudo, os veículos passam a buscar a melhor rota para alcançar seu destino, adotando os mesmos critérios que seriam utilizados por um condutor em uma situação real (TECTRAN, 2011, p. 17).

Quando os pedestres são incluídos na simulação, o programa passa a considerar a interação entre pedestres e veículos. Desta forma, os resultados da simulação de pedestres são extraídos juntamente com os resultados do tráfego geral. Aos pedestres é concedido prioridade, e um modelo de brecha de aceitação é aplicado nos cruzamentos, garantindo que os veículos levem em consideração a atuação dos pedestres. Se o cruzamento é sinalizado ou não, o simulador considera os tempos de travessia dos pedestres e as posições ao determinar quando os veículos podem seguramente cruzar a interseção.

Nas grandes cidades, estima-se que cerca de 50% dos tempos de viagens e 30% do consumo de gasolina são gastos com os veículos parados nos cruzamentos, esperando que o sinal passe do período vermelho para o verde (DENATRAN, 1979 *apud* LEITE E ALVES, 2004, p. 01).

No controle de tráfego, o semáforo é um dispositivo que controla o fluxo de várias vias conflitantes que se interceptam em um cruzamento. A autorização da passagem é dada, ou não, através dos sinais luminosos verde e vermelho (JÚNIOR, 2002 *apud* LEITE e ALVES, 2004, p. 01). As grandezas temporais mais importantes dos

semáforos são o intervalo, o ciclo e a fase. O intervalo é o período de tempo em que todas as indicações do semáforo permanecem estáticas, o ciclo é a sucessão de indicações no semáforo que se repetem periodicamente, e a fase é uma parte do ciclo dedicada a um conjunto de movimentos que recebem o direito de passagem simultaneamente (LEITE e ALVES, 2004 *apud* BECKMAN, 2009, p. 22).

Conforme Sousa *et al.* (2000), o controle centralizado do tráfego urbano pode adotar três estratégias: operação em tempo fixo, seleção dinâmica de planos e operação em tempo real.

A primeira estratégia, operação em tempo fixo, consiste na utilização de planos de controle semaforico determinados previamente por meio de dados históricos do tráfego. A escolha do plano a ser usado é feita por programação horária (um plano para cada período do dia) (LOUREIRO *et al.*, 2003, p. 02). Estes planos são calculados antecipadamente por programas específicos de dimensionamento de planos semaforicos, como o *software* TRANSYT (*Traffic Network Study Tool*). Este programa determina planos otimizados variando defasagens e tempos de verde de um plano inicial, buscando minimizar uma medida de custo que reflete as paradas e o atraso de veículos numa rede semaforica (TRL, 1999).

A segunda estratégia consiste na seleção de planos semaforicos predefinidos, com base em dados coletados por detectores veiculares em campo. Da mesma forma, os planos também são calculados previamente por programas específicos de dimensionamento de planos semaforicos (LOUREIRO *et al.*, 2003, p. 02).

Na terceira estratégia, operação em tempo real, a programação semaforica é determinada dinamicamente por sistemas dedicados, com base em dados do tráfego coletados por laços detectores em campo (OLIVEIRA, 1997). Esta estratégia apresenta a característica de operar, de forma isolada ou coordenada, grupos de interseções semaforizadas, denominados de subáreas, buscando determinar dinamicamente seu tempo de ciclo, repartições de verdes e defasagens ótimas. “Dentre os sistemas destinados à otimização semaforica, os mais utilizados são: SCATS (Austrália), SCOOT (Inglaterra), UTOPIA (Itália), UTMS (Japão), PROLYN (França) e OPAC (EUA)” (WOOD, 1993 *apud* LOUREIRO *et al.*, 2003, p. 02)

Loureiro *et al.* (2003) realizaram um estudo em seis interseções semaforizadas em Fortaleza, que teve como objetivo comparar o desempenho da operação com planos de tempo fixo dimensionados pelo TRANSYT *versus* o controle adaptativo, em tempo real, do sistema SCOOT. Os resultados encontrados mostraram uma crescente superioridade do controle em tempo real sobre planos fixos à medida em que as demandas de pico atingem seu ápice.

A mesma análise foi aplicada em um outro estudo desenvolvido por Pereira e Ribeiro (2007), no qual avaliaram a performance do controle semafórico real em 20 trechos da área central de Belo Horizonte. Os resultados obtidos reafirmam os de Loureiro *et al.* (2003), de que o tempo de percurso quando o sistema em tempo real está em operação é significativamente menor. No caso de Belo Horizonte, 13 dos 20 trechos apresentaram redução do tempo de viagem quando o controle em tempo real está ativo. Já na análise global, somatória dos tempos de viagem de todos os trechos, houve uma redução de 16% na média do tempo de percurso.

### 3 METODOLOGIA

A metodologia para o desenvolvimento do estudo está dividida em seis etapas. A primeira etapa consiste na determinação da área de estudo, que compreende a região da Av. Amazonas entre as avenidas Afonso Pena e Augusto de Lima, excluindo-se a Praça Raul Soares.

A segunda etapa envolve a realização do estudo macroscópico da região. A macrossimulação de tráfego consiste na simulação do comportamento agregado do tráfego. Essa simulação reproduz a escolha das rotas percorridas pelos veículos entre dois pontos (origem e destino) da cidade. Nesta etapa também é feita a calibração da rede. Para isso, foram utilizadas contagens de veículos obtidas diretamente com a BHTRANS (Empresa de Transportes e Trânsito de Belo Horizonte) de diversos pontos localizados nas principais vias da cidade.

Após a calibração da rede macroscópica iniciou-se a terceira etapa do estudo, que consiste na criação da área onde será aplicada a simulação híbrida. Esta consiste em um processo que permite aplicar a mesossimulação e a microssimulação ao mesmo tempo. Este ponto é de grande importância para os estudos de tráfego, pois é dessa forma que se reproduz na área de estudo as consequências dos congestionamentos que ocorrem fora da área. Somente através da simulação híbrida seria possível simular os congestionamentos que ocorrem nas vias adjacentes da Av. Amazonas e que têm impacto direto na área de estudo.

A próxima etapa consiste em uma nova calibração, mas dessa vez com o foco maior na área de estudo. Após este procedimento inicia-se a quinta etapa com a criação da rede proposta, na qual será aplicado o Meio Ciclo Estruturado.

A sexta etapa refere-se à análise comparativa entre os cenários (atual e proposto), por meio de diversos índices de desempenho como densidade, fluxo, fila fora do sistema, tempo de atraso, tempo de viagem e velocidade média.

## 4 APLICAÇÃO DO MEIO CICLO ESTRUTURADO

Atualmente existem diversos simuladores de tráfego no mercado, *Aimsun*, *Vissim*, *Paramics*, dentre outros, cada qual com as suas peculiaridades. Mas devido a disponibilidade, por parte da empresa TECTRAN, de uma licença para a consolidação deste estudo, o utilizado para realizar as simulações foi o *Aimsun*. Segundo a TSS (2011), desenvolvedora do *software*, este é um simulador de tráfego e pedestres que leva em consideração diversos parâmetros como as estatísticas do comportamento dos motoristas e dos pedestres, dos mais cordiais aos mais agressivos, e dos diferentes tipos de veículos com suas particularidades, como velocidade e capacidade de aceleração, que interferem no desempenho global do tráfego, gerando pontos de conflito e aumento dos tempos de viagem.

### 4.1 Descrição da área de estudo

A área selecionada para o estudo híbrido, apresentada na Figura 3, compreende a área delimitada ao norte pelo complexo da Lagoinha, ao leste pela Av. do Contorno, ao sul pela Av. Brasil e Rua Alvarenga Peixoto e a oeste pela interseção das avenidas Tereza Cristina e do Contorno.

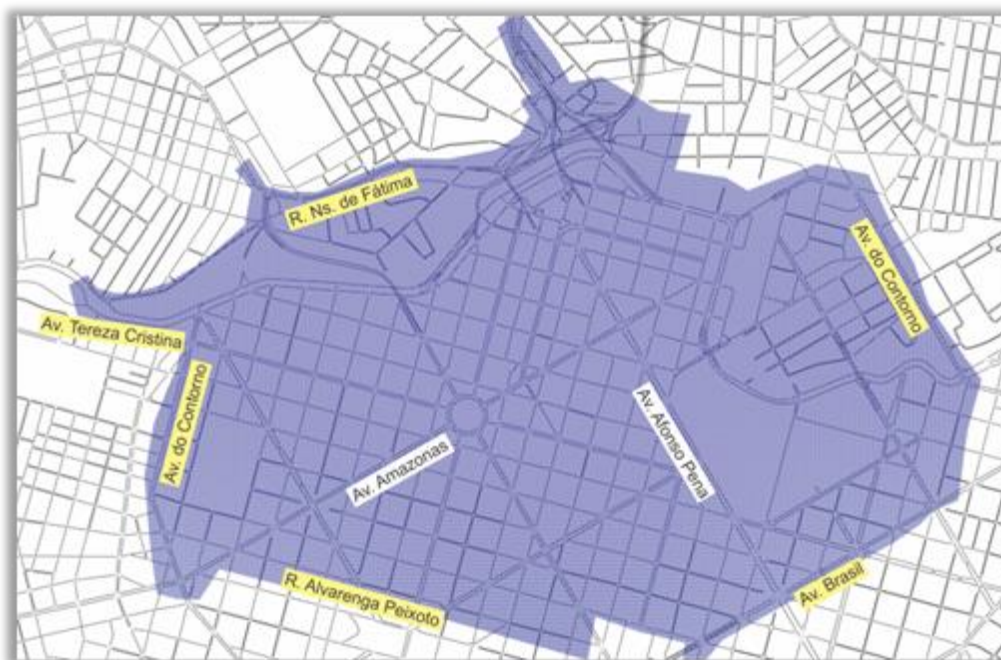


Figura 3 – Rede de Simulação Híbrida

Dentro desta área, determinou-se para o *software* em qual trecho será aplicada a microssimulação, ou seja, a área de aplicação do Meio Ciclo Estruturado. Para este estudo considerou-se o trecho da Av. Amazonas entre Av. Afonso Pena e Av. Augusto de Lima. A Figura 4 apresenta em destaque vermelho a área de microssimulação.

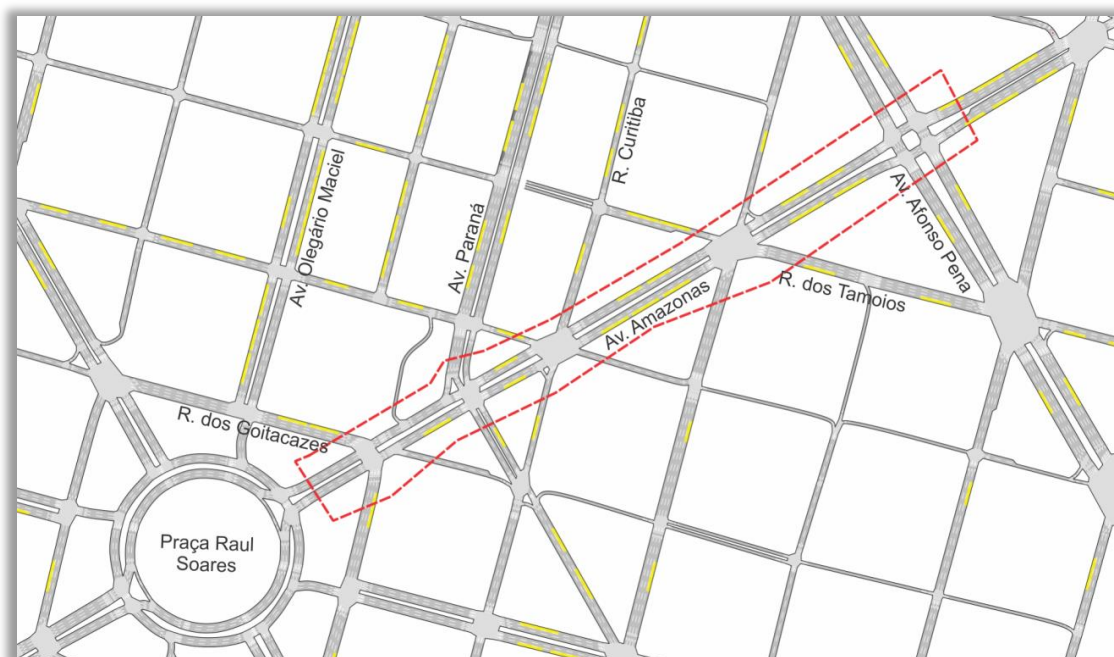


Figura 4 – Em destaque a área de microsimulação

## 4.2 Macrossimulação do Tráfego

O estudo iniciou-se pela macrossimulação do tráfego. Para isso, utilizou-se uma rede representativa com características físico-operacionais da malha viária da Região Metropolitana de Belo Horizonte - RMBH. Essa rede possui recursos para definição de proibição de movimentos em interseções, atributos como velocidade e capacidade, permitindo a reprodução fiel do sistema viário simulado.

A base utilizada é de propriedade da empresa TECTRAN e foi desenvolvida pela consultora para a Prefeitura de Belo Horizonte no Programa de Estruturação Viária de Belo Horizonte (VIURBS). A disponibilidade desta rede viabilizou a execução deste estudo, já que se trata de uma rede viária bastante extensa e complexa, construída pela Consultora em anos de trabalho e atualizada constantemente em diversos trabalhos realizados por ela.

#### 4.2.1 Calibração da Rede Macroscópica

A calibração da rede é essencial, pois através dela é feita a representação fiel do tráfego. Quanto melhor calibrada a rede, mais próximos da realidade e confiáveis são os seus resultados.

Para a calibração da rede macroscópica, foram utilizados dados de contagens volumétrica de veículos, registrados pelos radares localizados nos principais corredores da cidade: Av. Presidente Antônio Carlos, Av. Dom Pedro I, Av. Cristiano Machado, Av. Amazonas e Av. Dom Pedro II, dentre outros. Além de dados das principais vias do hipercentro, Av. Do Contorno e Av. Afonso Pena. Ao todo foram fornecidos pela BHtrans, dados de 42 pontos, no qual foi contabilizado o volume de tráfego por sentido e por tipo de modo (automóvel, moto, caminhão e ônibus).

Os volumes de tráfego foram convertidos em Unidade de Veículo Padrão (UVP) e inseridos na rede como detectores em seus devidos locais. Para a conversão cada tipo de veículo possui um valor correspondente, o automóvel corresponde a 1,0 UVP, o ônibus a 2,5 UVP, o caminhão a 2,0 UVP e a motocicleta a 0,2 UVP (TECTRAN, 2008, p. 11).

Feito isto, utilizou-se uma ferramenta específica do *software*, no qual através de processos iterativos é feito o ajuste da matriz até que os resultados do carregamento da rede se aproximem dos valores de tráfego fornecidos. O resultado é uma nova matriz mantendo as proporções das viagens anteriormente alocadas, mas com os volumes aproximados das contagens realizadas em campo. Este procedimento tem como finalidade atualizar os valores da matriz O/D para o tráfego atual.

Após o ajuste, é feita uma nova simulação com a nova matriz e a partir desta é efetuada a validação dos dados. A validação é feita pela Estatística GEH, criada em 1970 por *Geoffrey E. Havers*, amplamente utilizada na engenharia de tráfego para comparar dois volumes de tráfego. Embora sua fórmula matemática seja semelhante ao teste qui-quadrado, este não é um teste estatístico verdadeiro. Trata-se de uma fórmula empírica que provou ser bastante útil, conforme especificado na Equação 1.

$$GEH = \sqrt{\frac{2(x - y)^2}{x + y}}$$
Equação 1

No qual: x e y são os valores simulados e pesquisados, respectivamente.

Segundo o *Design Manual for Roads and Bridges* (Manual de Projeto de Estradas e Pontes) publicado inicialmente na Inglaterra no ano de 1992, é considerada satisfatória a calibração de uma rede quando esta atende aos seguintes requisitos:

- Não possui pontos ajustados com valores do GEH acima de 10;
- 85% destes pontos devem possuir o GEH menor ou igual a 5.

A Tabela 1 apresenta os resultados do ajuste da matriz utilizando o GEH.

Tabela 1 – Resultados do ajuste macro

ID	Volume Pesquisado	Volume Simulado	GEH	ID	Volume Pesquisado	Volume Simulado	GEH
37405	2.917	2.531	7	55700	644	849	8
37978	1.421	1.421	0	56437	943	908	1
38521	1.369	1.126	7	61051	2.910	2.949	1
38564	802	1.011	7	62089	3.043	3.043	0
39510	1.772	1.789	0	64627	3.638	3.310	6
40964	1.150	1.186	1	64823	3.688	3.954	4
42190	463	490	1	65139	737	710	1
42451	1.051	1.229	5	65886	484	400	4
42458	2.524	2.279	5	66698	355	397	2
42505	1.257	1.322	2	69425	531	497	1
42837	1.596	1.884	7	71771	698	714	1
42846	1.677	1.703	1	72468	3.025	2.993	1
43122	2.975	2.977	0	85563	4.784	4.440	5
43126	1.180	1.170	0	85571	839	701	5
43134	1.238	1.221	0	85572	398	369	1
43202	1.724	2.028	7	85574	707	811	4
44288	356	397	2	85588	2.866	2.892	0
48517	3.747	3.790	1	85589	737	555	7
50560	747	692	2	85594	603	729	5
51002	510	485	1	85599	329	254	4
53107	189	252	4	85600	664	823	6

Conforme apresentado na Tabela 1, não há valores de GEH maiores do que 10, entretanto, apenas 74% dos pontos estão entre 0 e 5. Apesar dos resultados não serem totalmente satisfatórios, considerou-se válida a calibração devido ao grau de complexidade da rede, sobretudo pelos dados de contagem não serem da mesma data, além de tratar-se apenas da primeira etapa da calibração.

Ao realizar um processo de calibração de rede macroscópica, trata-se a demanda de tráfego, que ao ser confrontada com o volume de tráfego real pesquisado, podem-se ter algumas divergências, já que o volume pesquisado é condicionado à capacidade da via, e não à demanda. Casos nos quais a demanda é maior que a capacidade viária, ou seja, pontos onde há congestionamento na rede, não terão um bom ajuste, já que a alocação de tráfego tende a ser maior que o volume pesquisado. No entanto, essa divergência nos valores não quer dizer que os resultados são errôneos.

Posteriormente, na segunda etapa da calibração, considerando agora somente a área de estudo, será utilizado um recurso bastante avançado em questão de ajuste de matriz, o qual permite especificar os pontos da rede em que se observam congestionamentos. O programa considera os pontos congestionados no processo de ajuste da matriz, restringindo somente o limite inferior nestes casos. Ou seja, caso observados 500 veículos/h em uma via que está congestionada, ao realizar o processo de ajuste de matriz, o programa tentará fazer com que no mínimo 500 veículos sejam alocados para aquela via, aceitando como correto também valores maiores que este.

### **4.3 Rede de Simulação Híbrida**

Após a calibração da rede macroscópica, inicia-se a terceira etapa do estudo, que consiste na criação da Rede Híbrida. Para isso, foi feito um recorte na rede macroscópica delimitando somente a área de interesse do estudo. A Figura 5 apresenta a rede macroscópica, e em destaque de azul a área em que será aplicada a simulação híbrida.

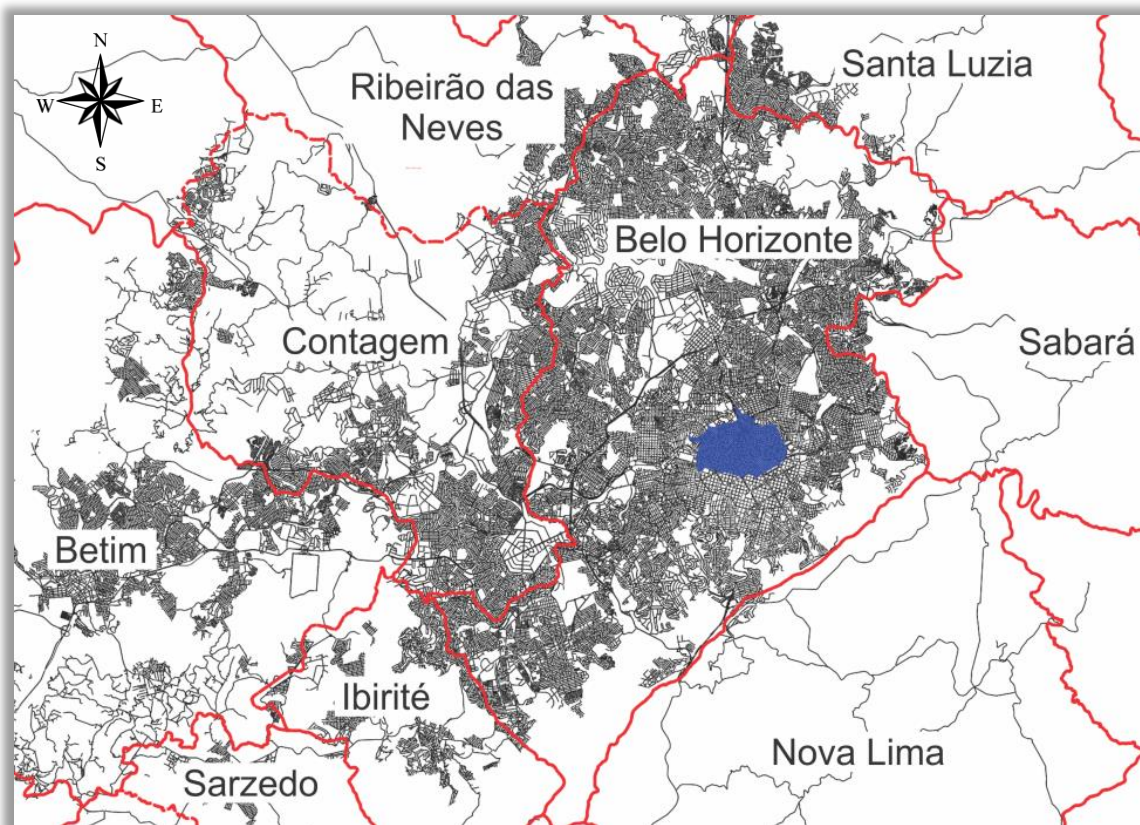


Figura 5 – Rede macroscópica, em destaque, a rede de simulação híbrida

As abordagens micro, meso e macro, apesar de compartilharem alguns conceitos comuns, são baseadas em diferentes tipos de rede de tráfego. Todas elas têm em comum o modelo de demanda em termos de uma matriz de origem/destino, cujos dados representam o número de viagens da origem selecionada para o destino escolhido, para um determinado período de tempo e motivo de viagem.

Utilizando-se a abordagem macroscópica, é possível planejar e avaliar as demandas de tráfego, calibrar matrizes, além de avaliar quantos veículos seriam atraídos devido a uma modificação na estrutura e ou malha viária, utilizando-se métodos de alocação de tráfego baseado nos princípios de *Wardrop*. Estes foram criados por John Glen Wardrop (1952), no qual o seu primeiro princípio diz que: “Os tempos de viagem de todas as rotas utilizadas são iguais ou menor do que aquela que seria experimentado por um único veículo em qualquer rota não utilizada.” Este diz respeito ao equilíbrio do usuário, no qual cada motorista escolhe a melhor rota para si. Dessa forma, há um equilíbrio da rede, no qual o tempo de viagem entre as rotas existentes tendem a ser iguais.

Empregando como base os resultados das alocações de tráfego advindas do modelo macroscópico, recorta-se uma área menor para, a partir daí, estender a análise, utilizando agora uma aproximação que considere maiores informações. Utilizam-se para tanto as abordagens mesoscópica e microscópica, nas quais os veículos são simulados individualmente, considerando respectivamente o comportamento de cada veículo a cada evento e a cada décimo de segundo.

A simulação mesoscópica permite obter resultados detalhados de cada trecho da rede, além de indicadores de desempenho inalcançáveis quando utilizada a abordagem macroscópica. Porém, por ser uma versão simplificada da abordagem microscópica, tem algumas limitações quando comparada a esta última. Dentre estas limitações, está a impossibilidade de visualizar o comportamento dos veículos na rede (animação), de testar equipamentos e políticas de ITS (*Intelligent Transportation System*), de simular o comportamento de ônibus ao parar em seus pontos de embarque e desembarque, além da dificuldade de simular trechos com alta incidência de entrelaçamentos (*weaving*), dentre outras.

De forma a se extrair o que há de melhor de cada abordagem, utilizou-se a simulação híbrida, ou seja, as abordagens meso e micro de forma simultânea, nas quais, para uma região maior e que exige menor detalhe de informações, utiliza-se o modelo mesoscópico e para a área específica, foco do estudo, utiliza-se o modelo microscópico. A simulação híbrida permite uma análise eficiente e menos sujeita a erros, já que a base utilizada para as análises é compartilhada por ambos os modelos simultaneamente. A Figura 6 exemplifica como são aplicados em uma mesma rede os três níveis de simulação.

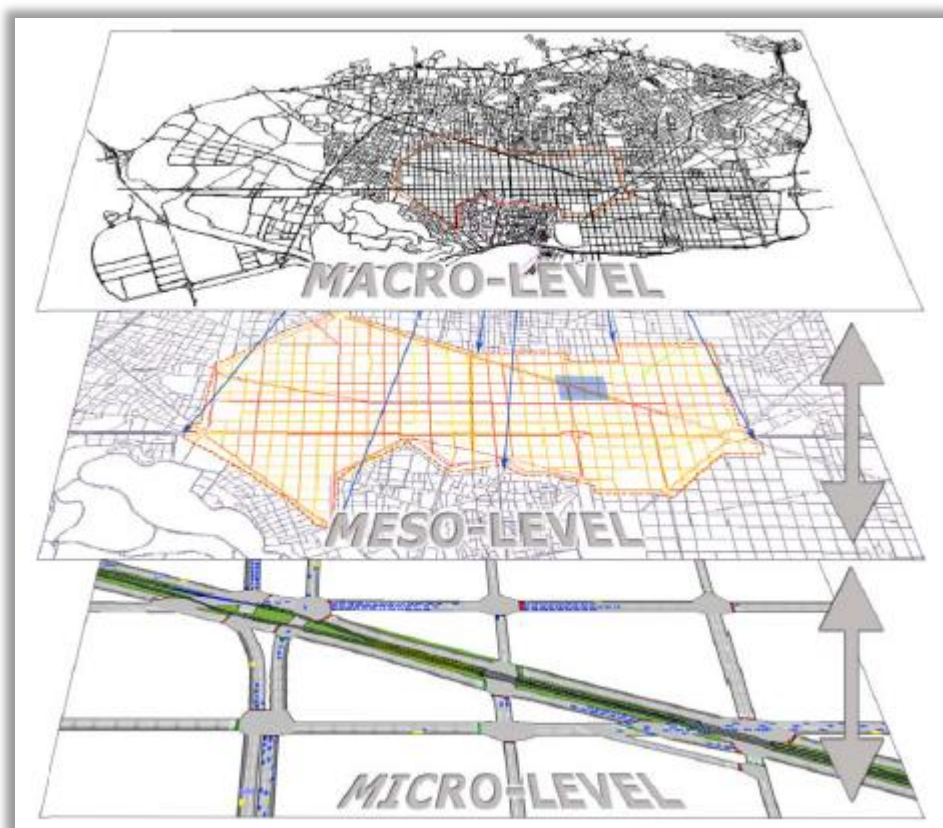


Figura 6 – Exemplo dos três níveis de simulação

Fonte: *Aimsun*, 2011

Para a construção da matriz O/D a ser utilizada nesta etapa, percorreu-se um procedimento metodológico iniciado pela delimitação da área de interesse do estudo. Utilizando ferramenta específica, fez-se um “recorte” na malha viária da RMBH, a partir do qual obteve-se a matriz da região simulada.

A hora escolhida para o estudo foi das 17 às 18 horas, pois o pico da tarde configura-se como o horário em que o sistema viário está mais demandado. Isso ocorre, pois, nesse intervalo, o sistema viário está sobrecarregado devido ao encerramento de algumas atividades como escolas, faculdades, funcionários de bancos e até mesmo funcionários de empresas públicas e privadas, além da interseção com algumas atividades que estão se iniciando no turno da noite. Devido a estes fatos, segundo a TECTRAN (2012), os principais problemas na operação típica dos centros urbanos são verificados no pico da tarde.

Diferente de uma rede de macrossimulação de tráfego, uma rede híbrida necessita de informações mais detalhadas sobre o sistema viário a ser estudado. Detalham-se a seguir os passos e algumas informações utilizadas na preparação da sub-rede, assim como o processo de calibração desta.

#### **4.3.1 Cenário Atual – Detalhamento da Sub-rede**

A situação deste estudo fica mais complexa pelo atual momento de mudanças e obras, sobretudo a futura implantação do BRT em Belo Horizonte. A partir deste contexto, foi necessária uma visita de campo com intuito de identificar essas mudanças e adicioná-las à rede de simulação. Como resultado, foi conhecido o atual funcionamento do tráfego, bem como as informações listadas a seguir:

- ✓ Número de faixas das vias;
- ✓ Sinalização horizontal e vertical;
- ✓ Localização dos pontos de embarque e desembarque de passageiros (PED);
- ✓ Especificação de faixas exclusivas para o transporte coletivo;
- ✓ Verificação do funcionamento dos semáforos;
- ✓ Alterações no sistema viário devido às obras.

Estas informações adicionais contribuirão para incrementar o nível de fidelidade da simulação comparando-a à situação real de tráfego, colaborando para o processo de calibração da rede que será apresentado. A conclusão desta etapa de atualização permite chegar à última parte de extenso processo, como é apresentado no fluxograma da Figura 7.

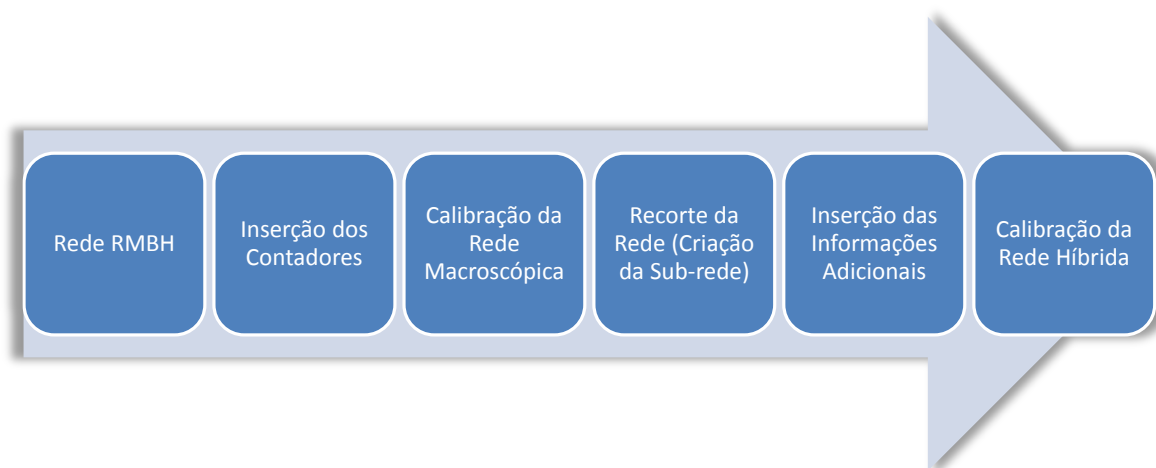


Figura 7 – Fluxograma do processo de simulação

#### **4.3.1.1 Informações Adicionais**

Como já descrito, devido às grandes mudanças que estão ocorrendo no hipercentro de Belo Horizonte, houve a necessidade de levantamento de informações como o atual itinerário do transporte público na área de estudo e programação dos semáforos.

#### **4.3.1.2 Linhas de Transporte Público**

Para se obter com fidelidade o funcionamento atual das linhas de transporte público na rede viária em estudo, foram levantados todos os pontos de embarque e desembarque de passageiros que estão alocados dentro da área de estudo (Figura 8).



Figura 8 – Cadastro das linhas por PED

As informações sobre o itinerário, assim como a frequência de viagens das linhas gerenciadas pela BHTRANS e pelo DER foram retiradas do portal de cada órgão e conferidas com o material obtido em campo.

#### 4.3.1.3 Semáforos

Foram verificados na visita feita a campo os semáforos em funcionamento e os desativados devido às obras.

A Figura 9 exemplifica uma planilha de programação semafórica utilizada pela BHTRANS. Este exemplo corresponde a interseção da Av. Afonso Pena com a Av. Amazonas. Nesta planilha tem-se o croqui, no qual são apresentados a localização dos semáforos de veículos e de pedestres. Os semáforos que iniciam com a letra S, consistem os destinados aos veículos, já os que iniciam com a letra P, destinam-se aos pedestres. A direita do croqui têm-se os planos semafóricos separados pelos dias da semana e o horário de início de cada plano. Abaixo do croqui, estão as fases semafóricas, que neste caso são duas, a primeira para a Av. Afonso Pena e

segunda para a Av. Amazonas. Abaixo do quadro das fases, têm-se dois quadros, no qual apresentam o início e término dos tempos de verde, amarelo e vermelho de cada semáforo apresentado no croqui. Sob estes quadros, são apresentados os valores dos tempos das fases e das interfases. E por fim, a direita destes são apresentados os valores de ciclo e defasagem.

Todos os dados referentes aos planos semaforicos (ciclo, defasagem, tempos de verde, fases, dentre outros), utilizados na simulação, foram retirados destas planilhas, disponibilizadas pela BHTrans.

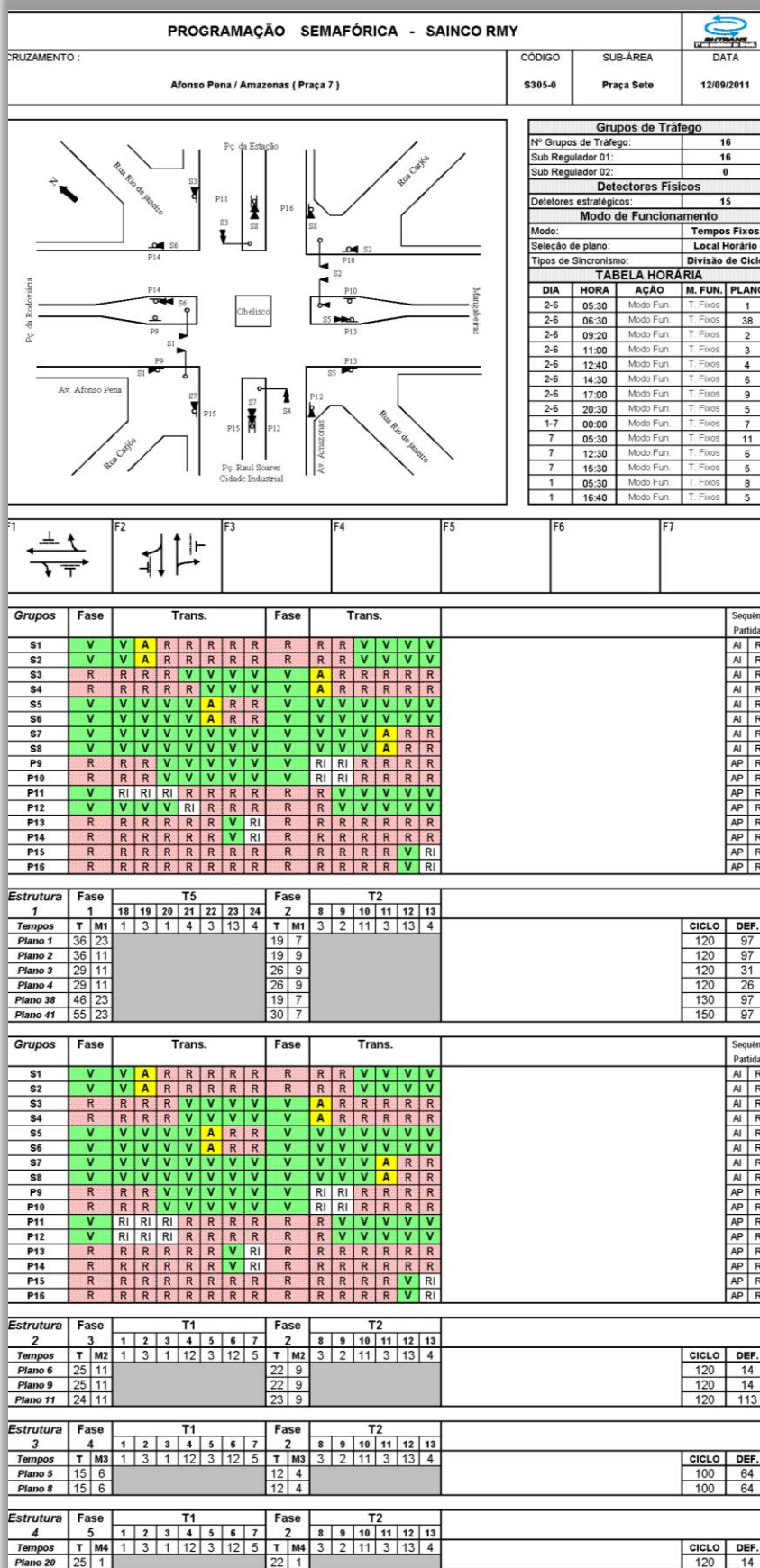


Figura 9 – Exemplo de planilha de programação semafórica

### 4.3.2 Calibração e Validação da Rede Híbrida

Para o processo de calibração, atribuiu-se contadores à rede para comparar o fluxo obtido da simulação com o volume obtido através das pesquisas de campo. A calibração do sistema consiste em um processo no qual são alterados diversos parâmetros do sistema viário, como os algoritmos de escolha de rota e parâmetros de comportamento do condutor. Um sistema é considerado válido quando os resultados da microssimulação da rede, ao serem confrontados com os dados coletados em campo, não apresentam diferenças significativas. Quando um modelo não for considerado válido, devem-se realizar os ajustes necessários nos parâmetros do modelo com o objetivo de alcançar os objetivos pretendidos.

Utilizando dados volumétricos dos radares localizados nas principais vias do hipercentro de Belo Horizonte, calibrou-se a “nova rede”, usando parâmetros mais detalhados. Diferente de uma rede de macrossimulação de tráfego, uma rede híbrida necessita de maiores informações, como localização de pontos de embarque e desembarque de passageiros, especificação de faixas exclusivas para o transporte coletivo, localização das faixas de pedestres e detalhamento das configurações semaforicas. Essas informações adicionais permitem uma maior fidelidade da simulação quando comparando-a à situação real de tráfego.

Esta etapa se difere da primeira etapa de calibração (calibração macroscópica) em dois aspectos:

1 – Esta calibração utiliza uma maior quantidade de dados reais coletados em relação ao tamanho da área estudada;

2 – A ferramenta utilizada nesta segunda etapa da calibração permite especificar em quais os pontos pesquisados onde foram observados congestionamentos, permitindo ao *software* uma maior liberdade para lidar com os volumes de tráfego nestes trechos, conforme explicado anteriormente.

Neste estudo, o processo de validação do sistema ocorreu fazendo-se uma comparação estatística, utilizando o método de regressão linear, de todos os fluxos

coletados por pesquisas na hora de pico com o número de veículos que executaram tais movimentos durante uma hora de simulação. Diferentemente do modelo macro, na microssimulação, o volume de tráfego observado no modelo deve ser equivalente ao pesquisado em campo, principalmente, quando se observa congestionamento na situação real, devendo a simulação reproduzir esse congestionamento.

Os resultados da calibração da rede estão representados nos Gráficos 1 e 2. No Gráfico 1, os pontos em azul representam o volume de automóveis pesquisados em cada aproximação, e os pontos pretos mostram o volume de automóveis contabilizados durante a simulação.

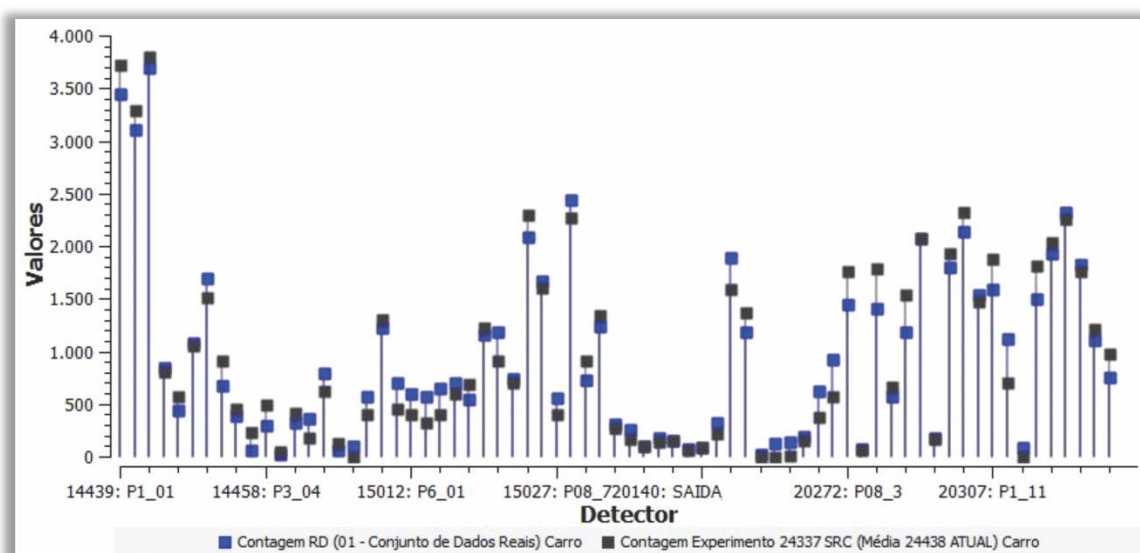


Gráfico 1 – Volume Pesquisado X Simulado

Nota-se que a simulação foi capaz de reproduzir com eficiência o volume de veículos observado em campo nas pesquisas de tráfego. Fato este que pode ser comprovado através da análise da regressão linear entre a contagem veicular e os valores de veículos ajustados pelo modelo (Gráfico 2), que apresenta um coeficiente de ajuste linear acima de 98%.

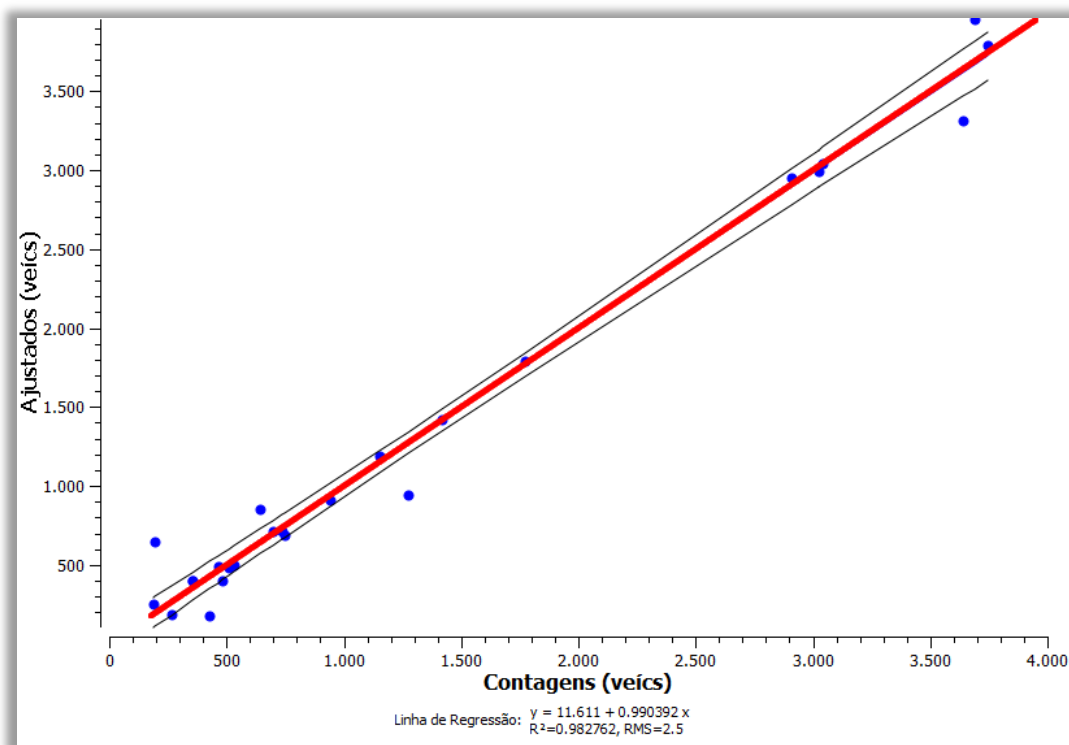


Gráfico 2 – Resultado da Regressão Linear

A partir da simulação do sistema atual, é possível concluir que, conforme mostra a imagem capturada aos 30 minutos de simulação (Figura 10), a Av. Amazonas se encontra na sua capacidade de atendimento, gerando retenções nas interseções do trecho em estudo. Na imagem abaixo, os automóveis e ônibus da BHTrans (linhas municipais) estão representados de azul, eles se distinguem pelo tamanho, e os vermelhos são ônibus da SETOP (linhas intermunicipais). Os retângulos amarelos são pontos de embarque e desembarque de passageiros.

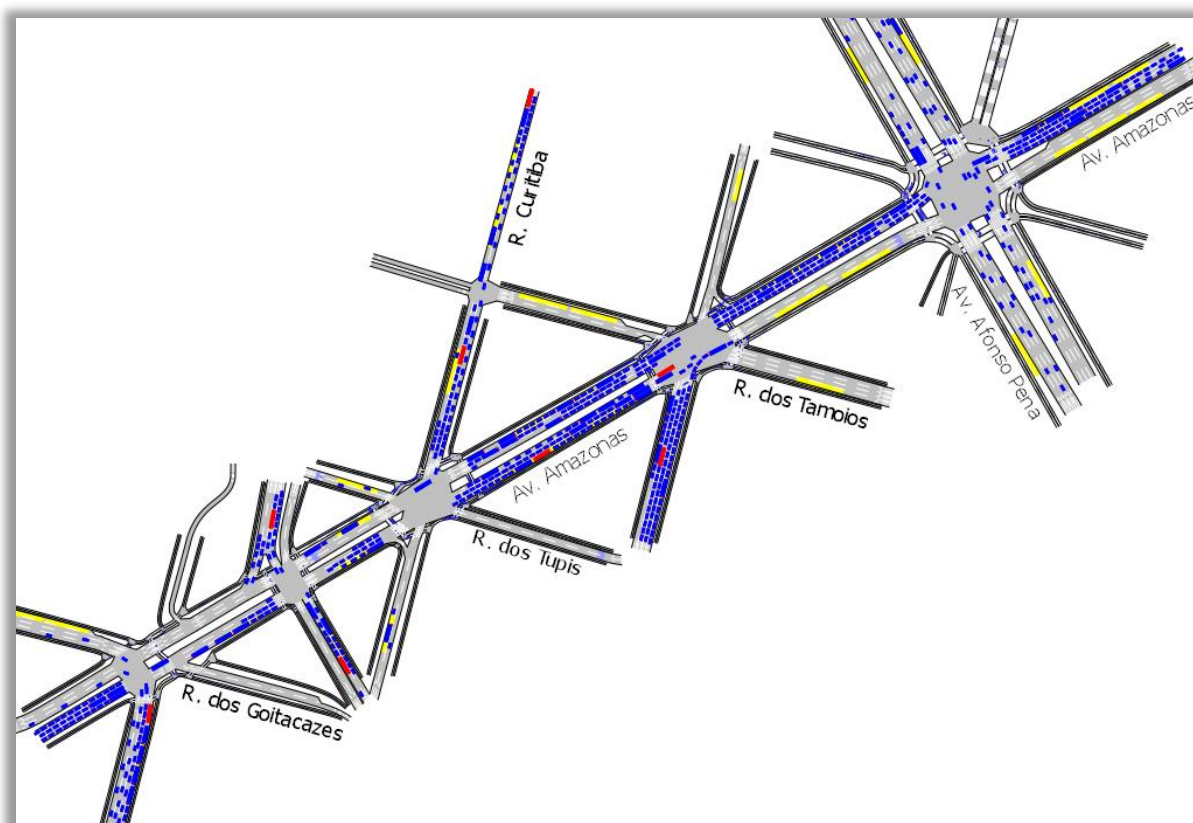


Figura 10 – Carregamento na simulação do cenário atual (30 min. de simulação)

Baseando-se nos resultados da calibração da rede (Gráficos 1 e 2) e na análise visual da microssimulação (Figura 10), conclui-se que o modelo de simulação conseguiu reproduzir de forma aceitável as condições de tráfego da região e se mostrou apto para ser utilizado na etapa seguinte do estudo, quando servirá de base para aplicação do Meio Ciclo Estruturado.

#### 4.4 Cenário Proposto

Terminadas as etapas de modelagem, calibração e validação do cenário atual, inicia-se a etapa de teste da eficiência do Meio Ciclo Estruturado. Para isso, foi aplicado o modelo nas cinco interseções dentro da área de microssimulação (Figura 11). Estas são:

1. Av. Afonso Pena com Av. Amazonas;
2. Av. Amazonas com ruas São Paulo e Tamoios;

3. Av. Amazonas com ruas dos Tupis e Curitiba;
4. Av. Amazonas com Av. Paraná e Rua Padre Belchior;
5. Av. Amazonas com ruas Santa Catarina e dos Goitacazes.

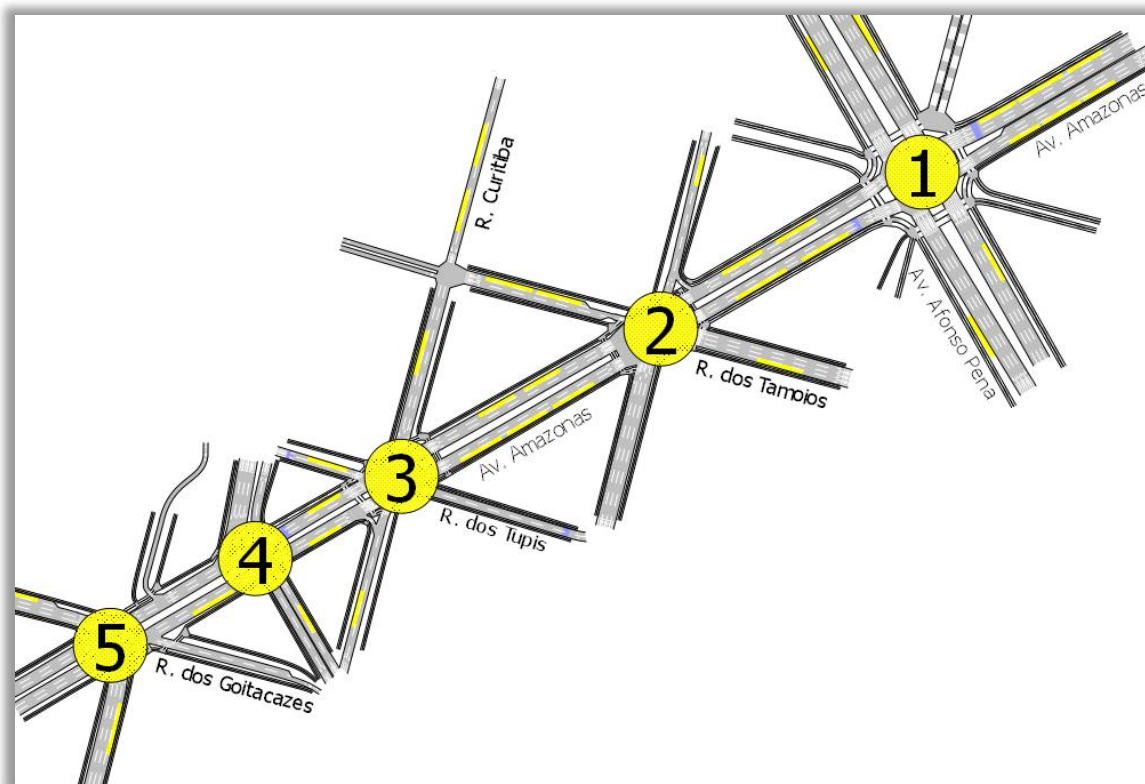


Figura 11 – Interseções onde foi aplicado o Meio Ciclo Estruturado

As programações das interseções no cenário atual, assim como as programações para o cenário proposto, são apresentadas em Anexo.

#### 4.5 Limitações do Estudo

Apesar de modelos de simulação de veículos serem desenvolvidos e calibrados há décadas para representar o comportamento de motoristas em diferentes situações, aqueles que representam pedestres ainda encontram-se menos desenvolvidos. Na interação entre pedestres e veículos em travessias, os modelos que utilizam ferramentas de simulação não apresentam evolução equivalente aos utilizados na interação entre veículos.

Segundo Jacobsen (2011), o modelo de aceitação de brechas utilizado pelos simuladores permite a representação de travessias onde a sinalização e a preferência nas travessias é obedecida pelos pedestres e motoristas. Existe dificuldade em representar, no entanto, alguns comportamentos frequentes em travessias brasileiras, tais como pedestres atravessando durante o sinal vermelho em travessias semaforizadas e veículos ignorando a preferência de pedestres em faixas de segurança.

Dessa forma, na simulação de travessias semaforizadas foi considerado que os pedestres somente atravessam a via quando o semáforo está aberto. Já em travessias não semaforizadas, o pedestre sempre tem preferência.

Outra limitação do *software* consiste em não conseguir simular, com perfeição, deslocamentos de pedestres em grandes pelotões. Como no trecho em estudo há travessias com grandes volumes de pedestres, devido à restrição apresentada, a simulação foi feita com o máximo de pedestres possível, de forma que se consiga fluidez nas calçadas.

No item seguinte, os resultados dos cenários atual e proposto são apresentados e discutidos.

## 5 ANÁLISE E RESULTADOS

Os resultados são obtidos após o término de 1 hora de simulação e os valores dos indicadores são uma média de 10 simulações de cada cenário (atual e proposto). Dessa forma, é possível captar e considerar toda a variação que possa ocorrer no sistema, aproximando-se mais ainda do mundo real, onde o que ocorre em um dia não se repete necessariamente em outro.

Conforme pode ser observado na Tabela 2, o cenário proposto apresentou melhor desempenho em todos os indicadores.

Tabela 2 – Comparativo dos cenários atual e proposto

		Veículos			Pedestres		
		Atual	Proposto	Proposto/ Atual	Atual	Proposto	Proposto/ Atual
Densidade (unid./km)	↓	7,6	5,4	-29%	15,2	15,0	-1%
Fluxo (unid./h)	↑	12.967	13.267	2%	3.629	3.628	0%
Fila Fora do Sistema (unid.)	↓	292	44	-85%	1	1	0%
Tempo de Atraso (seg./km)	↓	217	167	-23%	573	454	-21%
Tempo de Viagem (seg./km)	↓	231	206	-11%	1.385	1.186	-14%
Velocidade Média (km/h)	↑	15,6	17,5	12%	2,6	3,0	17%

↑ maior = melhor  
↓ menor = melhor

A densidade é uma medida das condições de conforto operacional, associada diretamente com o nível de serviço. Embora no caso em que se analisa uma rede geral ela seja uma média de todos os trechos, deixando de refletir problemas operacionais específicos, ela é um bom indicador do grau de utilização das vias. Neste estudo, houve uma redução de 29% deste índice para os veículos, o que indica um ganho significativo no nível operacional da região. Devido à restrição do *software*, já descrita, de não tratar de forma realista o deslocamento de pedestres em pelotões, este indicador pode ser considerado apenas para os resultados dos veículos.

Além da densidade, outro indicador de desempenho importante a ser analisado é o fluxo de veículos atendidos no sistema. Este mostra quantos veículos conseguiram completar sua viagem na rede durante o período de simulação. Analisando este

indicador, é possível dizer que o cenário atual apresenta problemas de capacidade, ou seja, há congestionamentos neste sistema. Isso se comprova devido ao significativo ganho de fluxo da rede proposta, sem alteração do volume de veículos nos cenários (a grandeza da matriz O/D é a mesma para ambos os cenários). Praticamente não houve alteração no fluxo de pedestres entre os cenários analisados, isso ocorre devido ao baixo volume de pedestres que o *software* conseguiu tratar.

Merece destaque a significativa redução no Tempo de Viagem e Atraso. O tempo de atraso consiste o tempo que o veículo perde por não conseguir trafegar na velocidade desejada, mais o tempo parado nos semáforos ou em congestionamentos. Estes indicadores, juntamente com a velocidade média, são os índices que devem ser analisados para os pedestres, pois, apesar do baixo volume de pedestres na simulação, estes avaliam o ganho nos principais pontos críticos para os pedestres, as travessias semaforizadas. Dessa forma, os veículos e pedestres estão gastando menos tempo e estão parando menos até chegarem aos seus destinos.

A fila fora do sistema corresponde aos veículos que no final do período de simulação não conseguiram entrar no sistema. Como se pode perceber, houve uma redução de 85%, o que indica uma maior fluidez no sistema proposto. Já para os pedestres, não houve alteração devido ao baixo volume simulado.

A velocidade média, indicador de mais fácil compreensão, apresentou um aumento de 12% para os veículos e de 17% para os pedestres, comprovando eficácia do sistema proposto.

Os resultados acima comprovam a proposta do estudo, que através da aplicação do Meio Ciclo Estruturado, os ganhos são significativos para os pedestres e para os veículos, mesmo com a redução do tempo de verde efetivo. Isso ocorre porque com o Meio Ciclo Estruturado, as acumulações de veículos são compatíveis com a extensão dos quarteirões presentes no hipercentro de Belo Horizonte. Criando assim, maior rotatividade em uma mesma seção, reduzindo os tempos de atraso e viagem.

Apesar das limitações do *software*, principalmente tratando-se dos pedestres, o modelo conseguiu avaliar os principais pontos críticos, que são as interseções semaforizadas, apresentando bons resultados no cenário proposto.

Além dos indicadores comentados, o *Aimsun* tem como saída resultados visuais que são de fácil compreensão, como imagens da simulação em tempo real. A Figura 12 apresenta o cenário atual após uma hora de simulação.

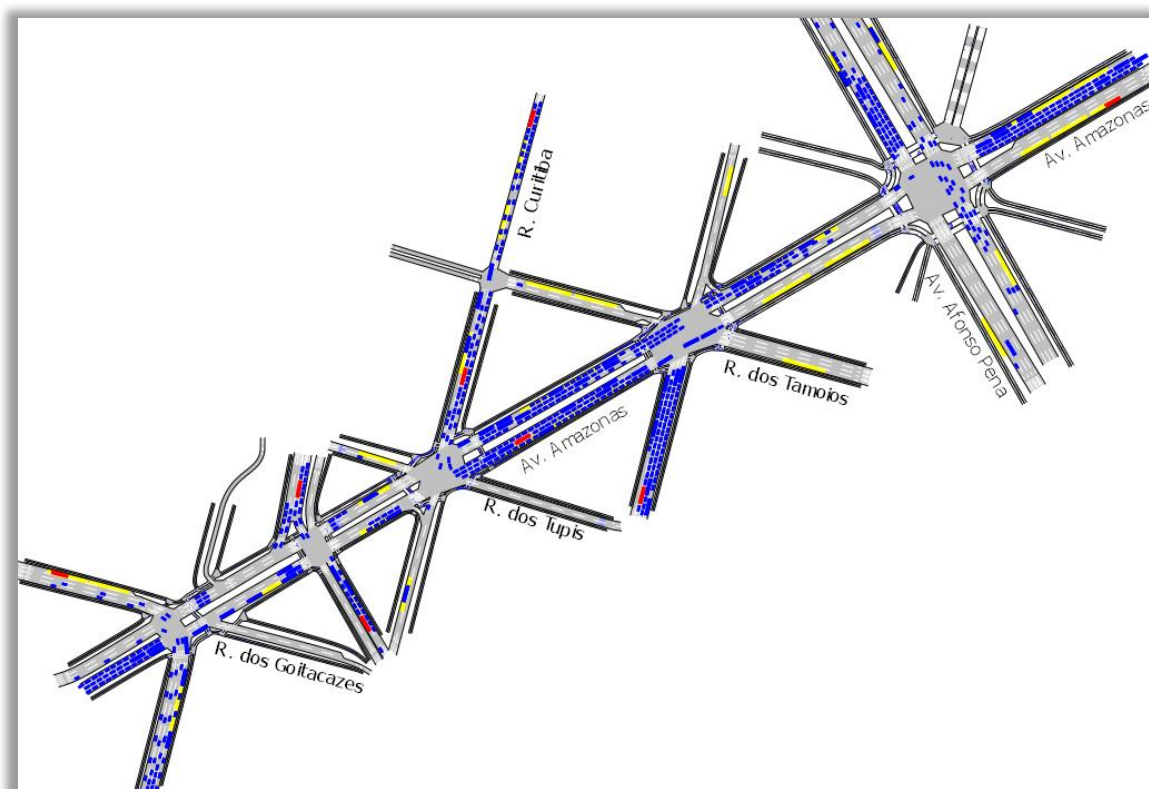


Figura 12 – Carregamento do cenário atual após 1 hora de simulação

Já a Figura 13 apresenta o mesmo instante, mas dessa vez para o cenário proposto.

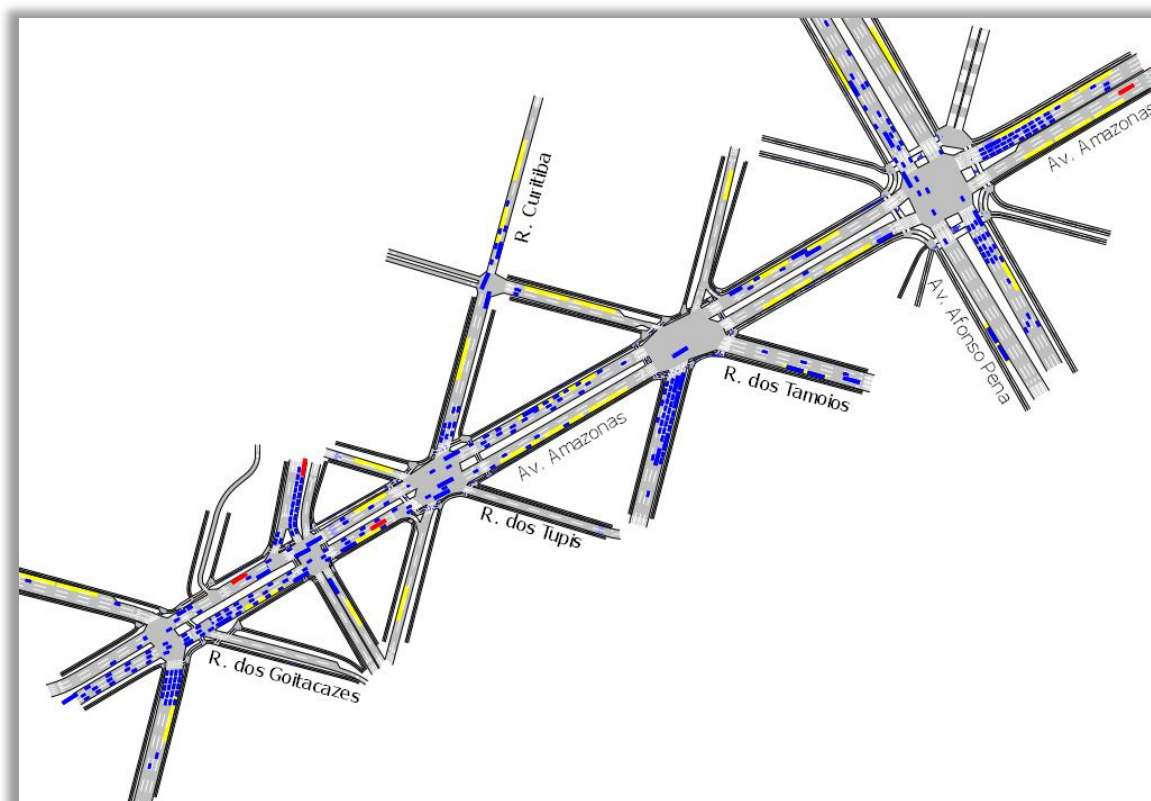


Figura 13 – Carregamento do cenário proposto após 1 hora de simulação

Fazendo a comparação das figuras, é notória a diferença do carregamento entre os cenários analisados ao final da simulação. Observa-se que no cenário proposto há maior fluidez, na qual pode ser comprovada pelo menor acúmulo de veículos (maior espaços vazios) nos semáforos, além da maior quantidade de seções vazias. A comparação desses cenários também indica a eficiência do Meio Ciclo Estruturado.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve como foco avaliar a aplicação do Meio Ciclo Estruturado, que tem como objetivo reduzir os tempos de viagem para pedestres e veículos, através da otimização dos tempos semaforicos. Especificamente, a aplicação do modelo ocorreu na Av. Amazonas entre as praças Sete e Raul Soares, trecho crítico do hipercentro de Belo Horizonte, onde diariamente motoristas e pedestres têm enfrentado grandes congestionamentos.

Para o desenvolvimento do estudo, utilizaram-se instrumentais avançados de simulação que conseguem aplicar em uma mesma plataforma macro, meso e microssimulação de tráfego. Para tanto, foi utilizado o *software Aimsun*, aplicativo que obedece, entre outros parâmetros, às distribuições estatísticas do comportamento dos motoristas, dos mais cordiais aos mais agressivos, e dos diferentes tipos de veículos com suas particularidades, como velocidade e capacidade de aceleração.

O trabalho iniciou-se pela calibração da rede macroscópica, para isso utilizou-se uma rede da Região Metropolitana de Belo Horizonte e pesquisas de tráfego localizadas nos principais corredores. Após esta etapa, determinou-se para o *software* qual seria a área de simulação híbrida. Uma nova calibração foi feita, agora demandando mais detalhes da rede como pontos de embarque e desembarque de passageiros, programações semaforicas, localização das faixas exclusivas para o transporte coletivo, dentre outros. Após esta nova calibração e inserção dos pedestres na rede de simulação, foi aplicado o Meio Ciclo Estruturado e extraídos os resultados para comparação.

Apesar dos modelos de simulação de veículos estarem bem desenvolvidos e calibrados para representar o comportamento dos motoristas, os modelos que representam a interação entre pedestres e veículos não apresentam a mesma evolução. Por isso, algumas restrições ainda são encontradas nos simuladores quanto à representação das decisões dos pedestres sobre atravessar no sinal vermelho em travessias semaforizadas e das decisões dos veículos de ignorarem a

faixa de pedestre. Dessa forma, na simulação de travessias semaforizadas foi considerado que os pedestres somente atravessam a via quando o semáforo está aberto. Já em travessias não semaforizadas, o pedestre sempre tem preferência.

Apesar das restrições presentes na aplicação do Meio Ciclo Estruturado, este apresentou resultados bastante satisfatórios. Houve um ganho significativo de velocidade média, para os veículos este foi de 12% e já para os pedestres foi de 17%. Com isso, o tempo de viagem sofreu uma redução 11% para os veículos e de 14% para os pedestres. Outros parâmetros também tiveram bons resultados, como a densidade veicular que diminuiu 29%, a fila fora do sistema que diminuiu em 85%, além da grande redução dos tempos de atraso e de viagem.

O Meio Ciclo Estruturado é indicado para qualquer interseção, na qual seja necessária a instalação do semáforo, mas principalmente, em áreas onde há grande movimentação de pedestres, automóveis e ônibus, por exemplo, hipercentro de grandes centros urbanos. É de extrema importância que a instalação seja feita em toda a área de influência e não apenas em interseções isoladas, pois dessa forma é possível fazer o sincronismo entre os semáforos implantados.

Sugere-se como trabalhos futuros a replicação desses instrumentos em outras cidades brasileiras ou até mesmo em outros países, para verificar diferenças entre comportamentos dos pedestres. E como os *softwares* de simulação estão em constante evolução, sugere-se também a busca por simuladores que minimizem as limitações enfrentadas neste estudo, de forma adequar esta simulação mais próxima da realidade.

## REFERÊNCIAS

- Akishino, P. (2004). *Algumas Técnicas de Engenharia de Tráfego na Redução e Prevenção de Acidentes de Trânsito*. Apostila Técnica.
- Banco Nacional do Desenvolvimento (BNDES). (1997). *Informe Infra-estrutura, nº 7*. Informe Setorial, Área de Projetos de Infra-estrutura.
- Banks, J., Carson, J. S., Nelson, B. L., & Nicol, D. M. (1999). *Discrete – Event System*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall.
- Beckman, R. N. (2009). *Simulador de Tráfego Urbano para Ambientes Configuráveis*. Trabalho de Conclusão do Curso de Ciência da Computação, Universidade da Amazônia, Belém, PA.
- Bertoncini, B. V., & Demarchi, S. H. (2005). *Impacto nas Medidas de Desempenho Operacional Devido à Substituição de Interseção Semaforizada por Rotatória*. XIX Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, Recife, PE.
- Coelho, R. S. (2008). *Estudo Comparativo entre Macro e Micro Simulação de Tráfego*. Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- Costa, A. H., Seco, Á. J., & Vasconcelos, A. L. (2005). *Sinais Luminosos*. Texto Didático.
- DENATRAN. (1979). *Serviços de Engenharia: Manual de Semáforos*. Ministério da Justiça. Brasília, Brasil.
- Iravani, H., & Aashtiani, H. Z. (1999). Use of intersection delay functions to improve reliability of traffic assignment model. *14th Annual International EMME/2 Conference*.

- Jacobsen, A. C. (2011). *Microssimulação da Travessia de Pedestres*. Dissertação de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Júnior, J. F. (2002). *Controle de tráfego urbano: Projeto com apoio de algoritmo genérico e simulação*. Dissertação do Mestrado em Ciência da Computação, Escola de Engenharia Elétrica e de Computação - UFG, Goiânia.
- Leite, G. F., & Alves, A. C. (2004). *Implementando um Simulador de Tráfego Urbano para uma Interseção com Semáforos*. Anais I - Encontro Regional de Modelagem e Análise Computacional de Sistema, Universidade Católica de Goiás, Departamento de Computação, Goiânia.
- Limonta, A. P. (2002). *Racionalização dos Processos de Produção, Transporte e Espalhamento de Concreto Asfáltico Usinado à Quente Através de um Modele de Simulação*. Dissertação de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Logit Engenharia Consultiva. (2010). *Plano de Mobilidade Urbana de Belo Horizonte*. Relatório Técnico, Belo Horizonte.
- Loureiro, C. F., Neto, P. M., & Meneses, H. B. (2003). *Metodologia de Avaliação Espacializada do Desempenho Operacional de Diferentes Estratégias de Controle Semafórico Centralizado*. Relatório Técnico CTAFOR, Fortaleza, CE.
- Maiolino, C. E., & Portugal, L. S. (2001). *Simuladores de Tráfego para Análise de Desempenho de Corredores de Ônibus e de sua Área de Influência*. XV ANPET, 01.
- Miranda, L. L. (2008). *Estudo das principais intervenções do VIURBS na Regional Barreiro*. Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

- Oliveira, M. G. (1997). *Produção e Análise de Planos Semafóricos de Tempo Fixo usando Sistemas de Informações Geográficas*. Tese de Mestrado, PET/COPPE/UFRJ.
- Pereira, G., & Ribeiro, M. V. (2007). *Controle de Tráfego em Tempo Real: Novos Paradigmas, Dificuldades e Primeiros Resultados – O Caso do Controle Inteligente de Tráfego (CIT)*. 16º Congresso Brasileiro de Transporte e Trânsito.
- Sousa, K. L., Monteiro, E. P., Rambaiolle, C., Factori, E., & Ejzenberg, A. C. (2000). *Sistema Inteligente de Controle de Tráfego de Santo André*. ANTP, Ano 22, 2º semestre.
- TECTRAN. (2008). *Programa de Estruturação Viária de Belo Horizonte - VIURBS*. Relatório Técnico Síntese, Belo Horizonte.
- TECTRAN. (2011). *Estudo de Tráfego do Hospital Metropolitano de Belo Horizonte*. Relatório Técnico, Belo Horizonte.
- TECTRAN. (2011). *Estudos de Mobilidade para Adequação à Operação Urbana da Savassi*. Relatório Técnico, Belo Horizonte.
- TECTRAN. (2011). *Relatório de Impacto na Circulação do Terminal Portuário de Angra do Reis*. Relatório Técnico, Belo Horizonte.
- TECTRAN. (2012). *Estudo de Tráfego do Empreendimento Granja Werneck*. Relatório Técnico, Belo Horizonte.
- TECTRAN. (2012). *Estudo de Transporte e Tráfego da Av. Cristiano Machado*. Relatório Técnico, Belo Horizonte.
- TRL. (1999). *TRANSYT 11 user guide*. Transportation Research Laboratory.
- TSS - Transport Simulation Systems. (2011). *AIMSUN 7 User's Manual*. Transportation Simulation Systems.

Villaça, F. (1998). *Espaço Intra-Urbano no Brasil* (1 ed.). São Paulo: Studio Nobel.

Wardrop, J. G. (1952). Wardrop on Some Theoretical Aspects of Road Traffic Research. *Road Paper No. 36. Meeting Road Engineering Division.*

Wook, K. (1993). *Urban Traffic Control – Systems Review*. Project Report 41- UG26, Transportation Research Laboratory, Crowthorne, Berkshire, Inglaterra.

## ANEXO

A seguir são apresentadas as programações semafóricas dos cenários atual (BHTrans) e proposto das cinco interseções estudadas, Av. Afonso Pena com Av. Amazonas, Av. Amazonas com ruas São Paulo e Tamoios, Av. Amazonas com ruas dos Tupis e Curitiba, Av. Amazonas com Av. Paraná e Rua Padre Belchior, Av. Amazonas com ruas Santa Catarina e dos Goitacazes.

Em todos os croquis são apresentadas a localização dos semáforos de veículos e de pedestres. Os semáforos que iniciam com a letra S, constituem aqueles destinados aos veículos, já os que iniciam com a letra P, destinam-se aos pedestres.

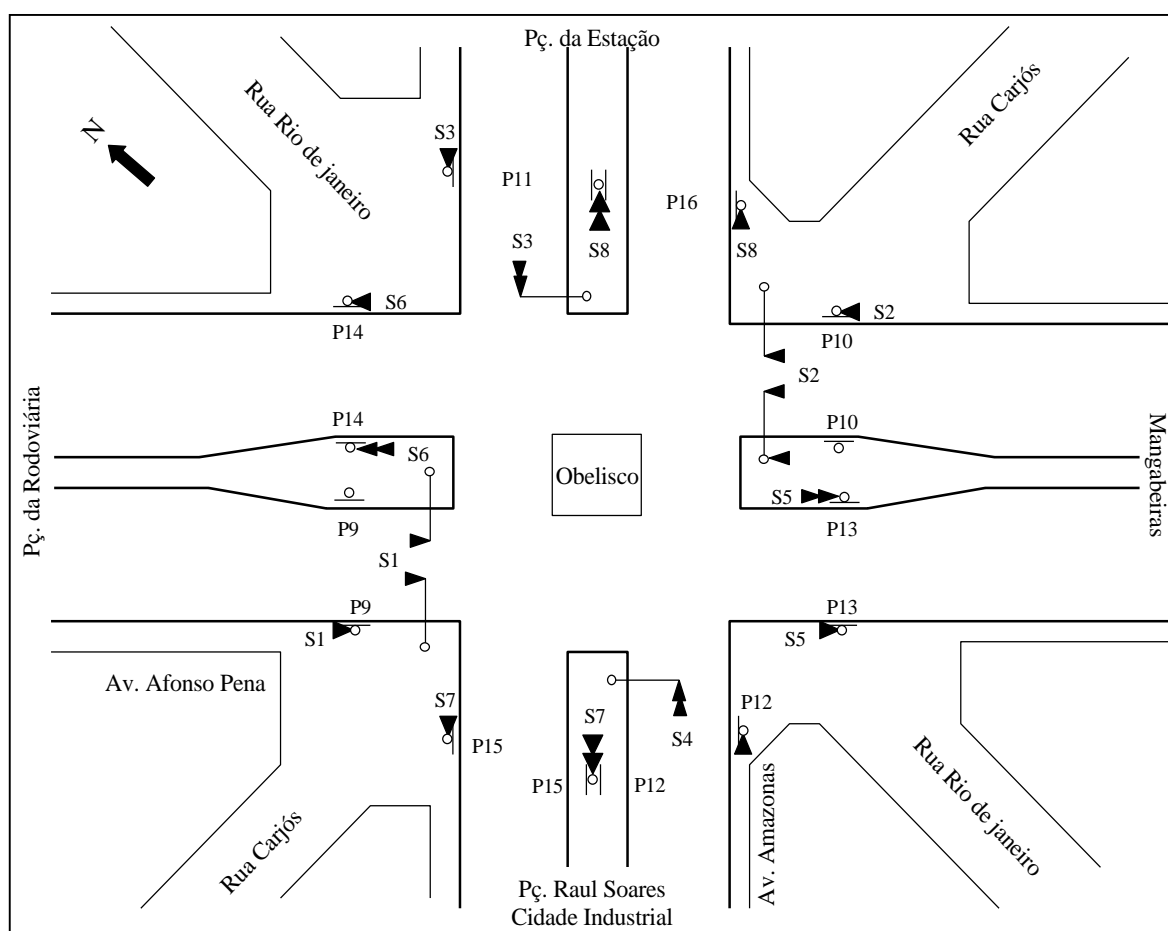


Figura A1 – Croqui da interseção da Av. Afonso Pena com Av. Amazonas

Fonte: BHTRANS, 2011

Tabela A1 – Programação semafórica atual da interseção da Av. Afonso Pena com Av. Amazonas

S1	26	3	60	31
S2	26	3	60	31
S3	30	54	3	33
S4	30	54	3	33
S5	42	3	17	58
S6	42	3	17	58
S7	100	3	17	
S8	100	3	17	
P9	29	55	3	33
P10	29	55	3	33
P11	25	3	59	33
P12	25	3	59	33
P13	45	12	3	60
P14	45	12	3	60
P15	103	13	3	
P16	103	13	3	

Fonte: BHTRANS, 2011

Tabela A2 – Programação semafórica proposta para a interseção da Av. Afonso Pena com Av. Amazonas

S1	11	3	37	32	3	25	9
S2	11	3	37	32	3	25	9
S3	15	20	3	49	21	3	9
S4	15	32	3	37	21	3	9
S5	21	3	18	78			
S6	21	3	18	78			
S7	48	3	17	52			
S8	48	3	17	52			
P9	14	34	3	35	22	3	9
P10	14	34	3	35	22	3	9
P11	11	3	37	32	3	34	
P12	11	3	37	32	3	34	
P13	19	16	3	82			
P14	19	16	3	82			
P15	54	16	3	47			
P16	54	16	3	47			

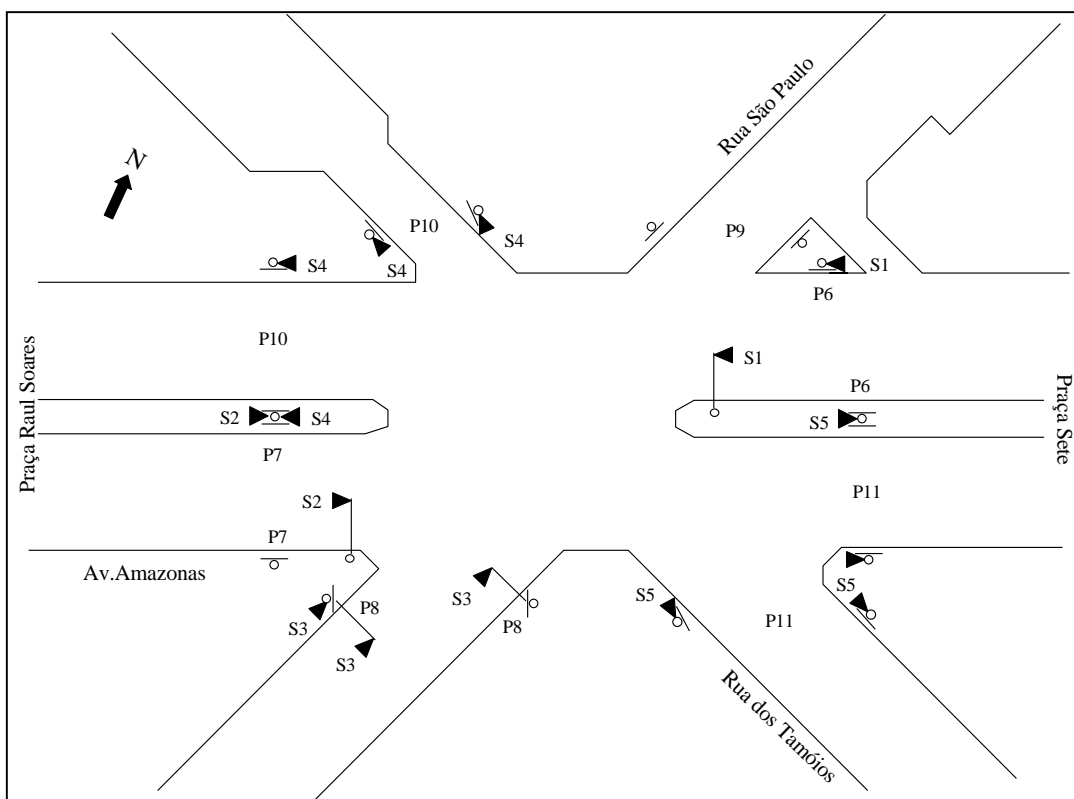


Figura A2 – Croqui da interseção da Av. Amazonas com R. São Paulo e R. dos Tamoios

Fonte: BHTRANS, 2010

Tabela A3 – Programação semafórica atual da interseção da Av. Amazonas com R. São Paulo e R. dos Tamoios

S1	55	3	59	3
S2	50	3	61	6
S3	69		41	3 7
S4	55	3	15	47
S5	55	3	15	47
P6	58		55	3 4
P7	53		57	3 7
P8	65	3	45	7
P9	65	3	52	
P10	58	11	3	48
P11	53	11	3	53

Fonte: BHTRANS, 2010

Tabela A4 – Programação semafórica proposta para a interseção da Av. Amazonas com R. São Paulo e R. dos Tamoios

S1	21	3	39	28	3	25
S2	21	3	39	28	3	24
S3	40		21	3	31	20
S4	22	3	18	77		
S5	22	3	18	77		
P6	30		33	3	29	22
P7	27		34	3	28	23
P8	34		3	28	3	26
P9	34		3	29	3	27
P10	23	18	3	76		
P11	25	16	3	76		

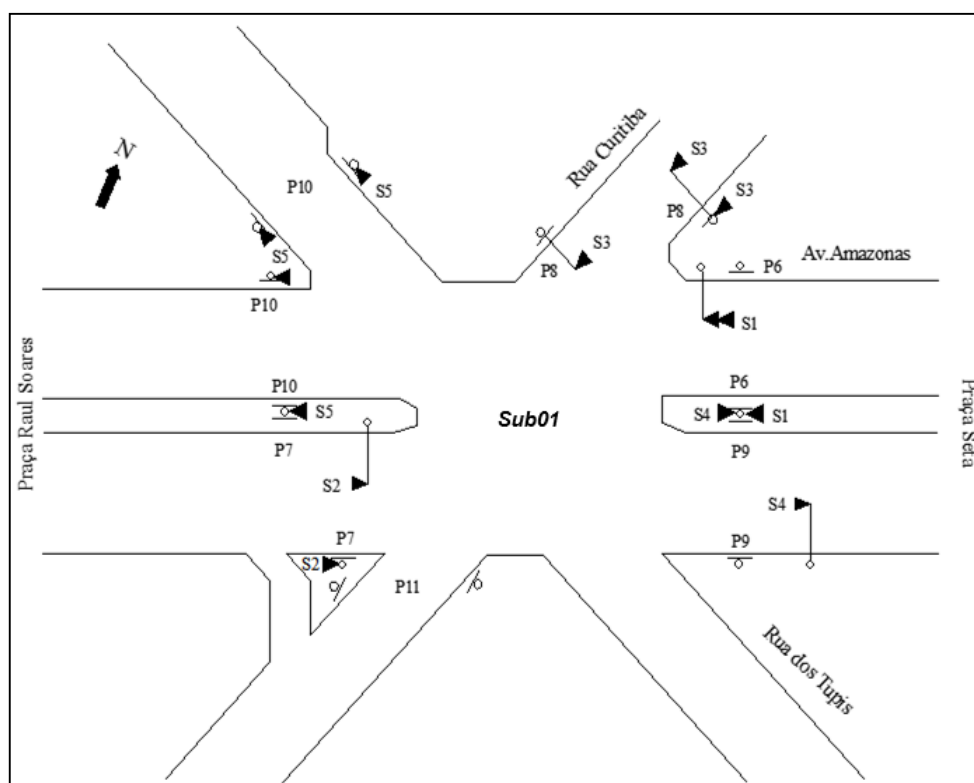


Figura A3 – Croqui da interseção da Av. Amazonas com R. Curitiba e R. dos Tupis

Fonte: BHTRANS, 2012

Tabela A5 – Programação semafórica atual da interseção da Av. Amazonas com R. Curitiba e R. dos Tupis

S1	43	3	71	3
S2	55	3	59	3
S3	58	54	3	5
S4	70	3	19	28
S5	49	3	13	55
P6	46	67	3	4
P7	58	55	3	4
P8	54	3	58	5
P9	73	15	3	29
P10	52	9	3	56
P11	54	3	63	

Fonte: BHTRANS, 2012

Tabela A6 – Programação semafórica proposta para a interseção da Av. Amazonas com R. Curitiba e R. dos Tupis

S1	18	3	46	28	3	21
S2	29	3	35	30	3	18
S3	32	31	3	33	15	3
S4	34	3	17	66		
S5	18	3	16	83		
P6	23	41	3	24	25	3
P7	32	32	3	32	17	3
P8	26	3	39	26	3	22
P9	36	16	3	65		
P10	20	15	3	82		
P11	28	3	37	28	3	21

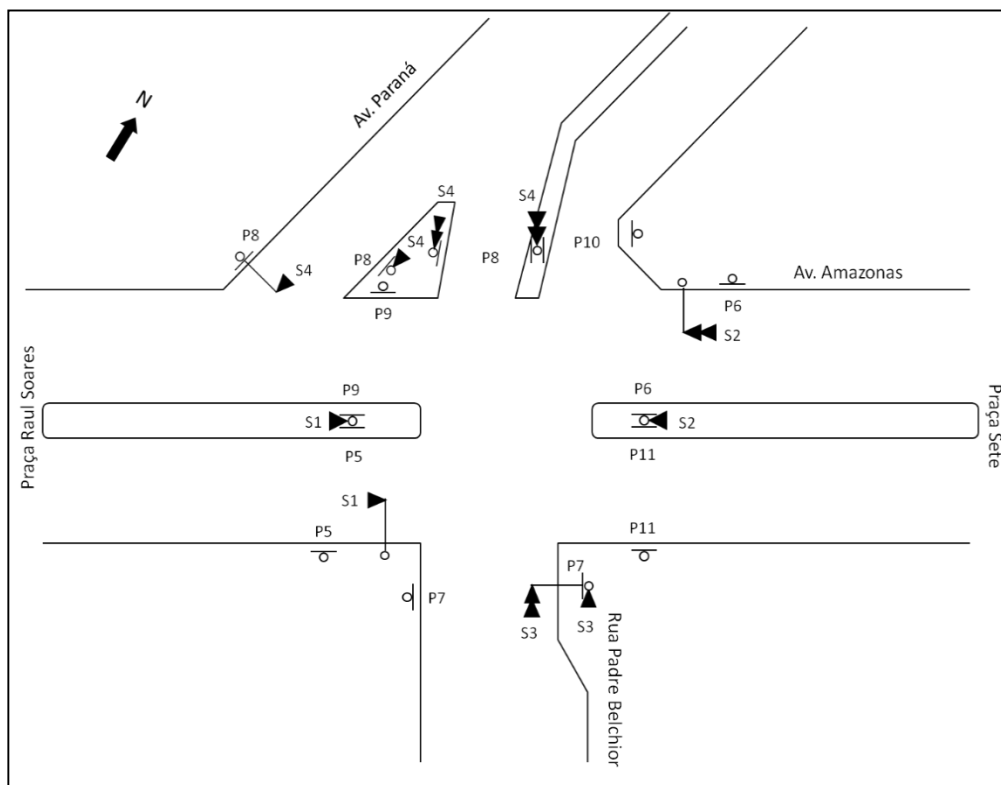


Figura A4 – Croqui da interseção da Av. Amazonas com R. Padre Belchior

Fonte: BHTRANS, 2012

Tabela A7 – Programação semafórica atual da interseção da Av. Amazonas com R. Padre Belchior

S1	57	3	56	4
S2	46	3	67	4
S3	76		35	3
S4	76		35	3
P5	60		52	3
P6	52		60	3
P7	72	3	45	
P8	72	3	41	4
P9	52		60	3
P10	72	3	45	
P11	63	10	3	44

Fonte: BHTRANS, 2012

Tabela A8 – Programação semafórica proposta para a interseção da Av. Amazonas com R. Padre Belchior

S1	28	3	33	29	3	22	
S2	22	3	39	23	3	28	
S3	42		17	35		17	3 3
S4	42		17	35		17	3 3
P5	31		30	31		20	3
P6	26		35	27		24	3
P7	39	3	22	30	3	23	
P8	38	3	24	28	3	24	
P9	27		33	29		22	3 3
P10	39	3	22	30	3	23	
P11	31	14	3	72			

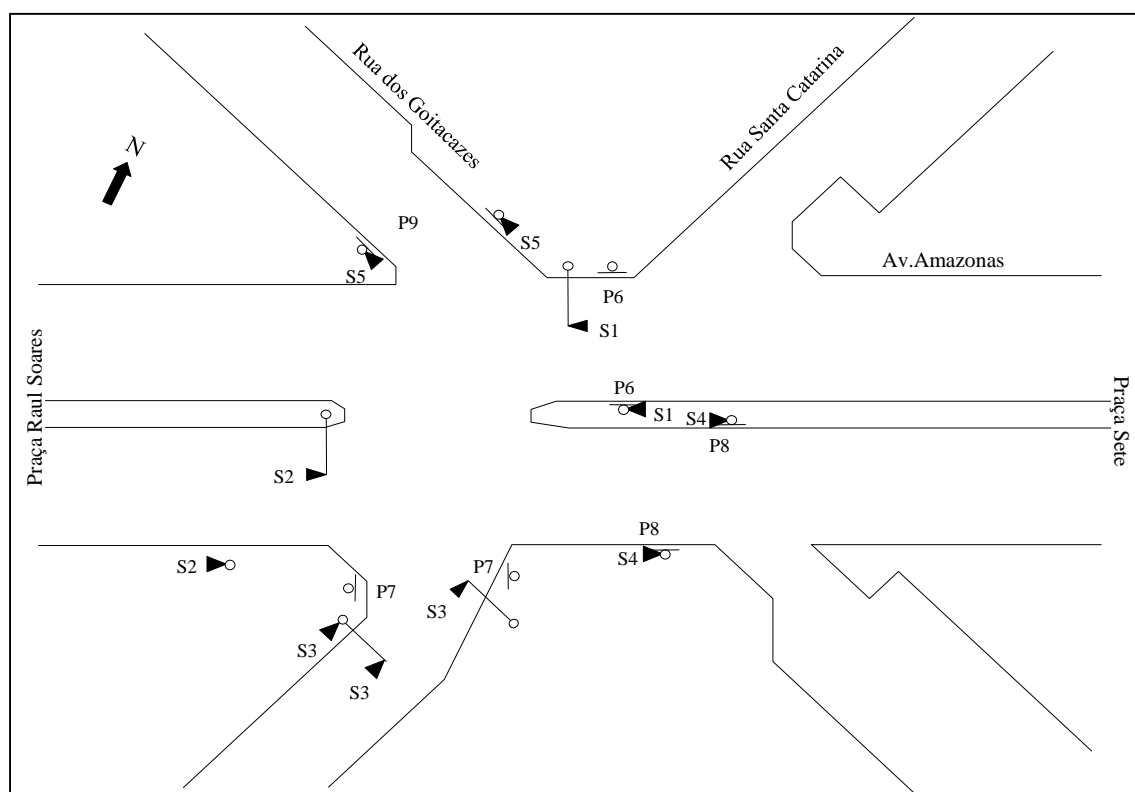


Figura A5 – Croqui da interseção da Av. Amazonas com R. dos Goitacazes e R. Santa Catarina

Fonte: BHTRANS, 2012

Tabela A9 – Programação semafórica atual da interseção da Av. Amazonas com R. dos Goitacazes e R. Santa Catarina

S1	40	3	77
S2	40	3	74
S3	59	54	3
S4	48	3	15
S5	48	3	15
P6	43	73	3
P7	55	3	58
P8	51	11	3
P9	51	11	3

Fonte: BHTRANS, 2012

Tabela A10 – Programação semafórica proposta para a interseção da Av. Amazonas com R. dos Goitacazes e R. Santa Catarina

S1	27	3	35	21	3	31
S2	20	3	41	21	3	31
S3	34	27	3	27	25	3
S4	20	3	16	81		
S5	20	3	16	81		
P6	34	27	3	25	28	3
P7	30	3	31	24	3	29
P8	22	15	3	80		
P9	22	15	3	80		