

CAROLINA DE MEDEIROS MIRANDA
GUSTAVO MORIGGI FROHLICH
MARCELO TOSHIO OTSUBO
PEDRO HENRIQUE SABINO FERREIRA

GESTÃO SEMAFÓRICA EM TEMPO REAL
ESTUDO DE UM TRECHO DA AVENIDA DOS AUTONOMISTAS NA CIDADE DE
OSASCO E COMPARAÇÃO COM O MODELO DE SÃO PAULO

Primeira entrega do Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado ao curso de Engenharia civil, da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em engenharia civil.

Orientador: Prof. Dr. Gabriel Feriãncic

São Paulo
2018

CAROLINA DE MEDEIROS MIRANDA
GUSTAVO MORIGGI FROHLICH
MARCELO TOSHIO OTSUBO
PEDRO HENRIQUE SABINO FERREIRA

GESTÃO SEMAFÓRICA EM TEMPO REAL
ESTUDO DE UM TRECHO DA AVENIDA DOS AUTONOMISTAS NA CIDADE DE
OSASCO E COMPARAÇÃO COM O MODELO DE SÃO PAULO

Primeira entrega do Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado ao curso de Engenharia civil, da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em engenharia civil.

São Paulo. 11 de Julho de 2018

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Gabriel Feriãncic

Prof. Dr. Cláudio Luiz Marte

Prof. Dr. Miguel Luiz Bucalem

RESUMO

Nesta primeira etapa do projeto, a proposta foi fazer uma caracterização da área de estudos, localizada em um trecho da Av. dos Autonomistas, entre a Av. João Batista e o cruzamento com a Av. Franz Voegeli, bem como realizar um modelo de microssimulação que fosse consistente com a realidade da via. Para tanto, além de um estudo bibliográfico consistente, que também servirá como base para as análises da segunda parte do projeto, foi feita uma visita à região, onde obteve-se dados de semáforos, quantidade de pistas das vias transversais à Av. dos Autonomistas e localização de placas de trânsito e áreas de estacionamento. Além disso, houve o apoio do grupo GPO/Sistran Engenharia, com a autorização da EMTU, que disponibilizou dados fundamentais, como o inventário físico do sistema viário e contagem de veículos. Como resultados, construiu-se um modelo de microssimulação no programa VISSIM e descreveu-se uma metodologia de calibração e validação para ele. Para etapas futuras, pretende-se finalizar os ajustes no modelo, propor cenários alternativos e verificar a aplicabilidade da gestão semaforica em tempo real, tanto em termos locais (na avenida dos autonomistas), com indicadores de trânsito, quanto em globais, pensando nas dificuldades de aplicação em cidades.

Palavras chave: Microssimulação. Modelo. VISSIM. Semáforos. Dificuldades.

ABSTRACT

In this first step, it was proposed to do a characterization of the studied area, located in a segment of the Autonomistas avenue, between Joao Batista and Franz Voegeli avenues, as well as build a microsimulation model consistent with the reality of the road. Therefore, in addition to a consistent bibliographic study that also will support the second part of this project analysis, a visit to the region was made, where the traffic lights data, traffic plates location, crossways number of lanes and parking areas were obtained. Furthermore, the GPO Sistran Engenharia group provided, with the EMTU authorization, fundamental data, the road physical inventory and the vehicle counts. As results, a microsimulation model was created using the software VISSIM and a calibration and validation methodology was described for it. For future steps, it is intended to finish the model adjusts, to propose alternative scenarios and to verify the applicability of real-time traffic light management, not only locally (in the Autonomistas avenue) with traffic indicators, but also globally, thinking about the difficulties of its implementation in the cities.

Key words: Microsimulation. Model. VISSIM. Traffic lights. Difficulties.

Índice de Figuras

Figura 2.1 - Hierarquia funcional das vias urbanas	17
Figura 2.2 - Aproximações e área de conflito	21
Figura 2.3 - Classes de movimentos	22
Figura 2.4 - Critério do número de ramos: interseções de três ramos, quatro ramos e ramos múltiplos (da esquerda para direita).....	24
Figura 2.5 - Critério das soluções adotadas: gota, canalizada, rótula vazada e rótula (sentido horário, a partir da fotografia do canto superior esquerdo)	25
Figura 2.6 - Tipos de interseções em níveis diferentes: trombeta, diamante, trevo completo, semidirecional, direcional e trevo parcial (sentido horário, a partir da fotografia do canto superior esquerdo)	26
Figura 2.7 - Interconexão do tipo Giratório	27
Figura 2.8 - Exemplo de diagrama de estágios	29
Figura 2.9 - Distâncias percorridas pelo veículo nas aproximações	30
Figura 2.10 - Exemplo de diagrama de intervalos luminosos	35
Figura 2.11 - Exemplo de tempo de ciclo conforme o horário do dia.....	37
Figura 2.12 - Rede aberta e rede fechada.....	39
Figura 2.13 - Defasagem em relação a uma interseção de referência	42
Figura 2.14 - Relação dos atrasos em cada via em função da defasagem dos semáforos	42
Figura 2.15 - Defasagem ótima para vias de mão dupla.	43
Figura 2.16 - Diagrama tempo-espaco para via de mão única.....	44
Figura 2.17 - Diagrama tempo-espaco para via de mão dupla.....	44
Figura 2.18 - Esquema de detecção por laço indutivo.....	48
Figura 2.19 - Exemplo de aplicação dos laços virtuais	49
Figura 2.20 - Modelo de funcionamento de um sistema de gestão em tempo real dos semáforos	50
Figura 2.21 - Estrutura do Sistema de Transportes modelado pelo Vissim	55
Figura 2.23 - Influência de 100% de veículos aversos ao risco (azul) ou menos alertas (laranja) na capacidade da via	58
Figura 3.1 - Ilustração de diversos polos geradores de viagens próximos à avenida	64
Figura 3.2 - Trecho de estudos na avenida dos autonomistas	65

Figura A.1 - Inventário Físico do Sistema Viário – Folha 1	84
Figura A.2 - Inventário Físico do Sistema Viário – Folha 2.....	85
Figura A.3 - Inventário Físico do Sistema Viário – Folha 3.....	86
Figura A.4 - Inventário Físico do Sistema Viário – Folha 4.....	87
Figura A.5 - Inventário Físico do Sistema Viário – Folha 5.....	88
Figura A.6 - Inventário Físico do Sistema Viário – Folha 6.....	89
Figura B.1 - Movimentos do ponto 4.....	91
Figura B.2 - Movimentos do ponto 5.....	92
Figura B.3 - Movimentos do ponto 6.....	93
Figura B.4 - Movimentos do ponto 7.....	95
Figura B.5 - Movimentos do ponto 8.....	96
Figura B.6- Movimentos do ponto 9.....	97
Figura B.7 - Movimentos do ponto 10.....	98
Figura C.1 - Posicionamento dos semáforos no trecho de estudo e a configuração dos pontos de contagem	101
Figura C.2 - Movimentos no ponto 5 (semáforo 1)	102
Figura C.3 - Movimentos no semáforo 2.....	103
Figura C.4 - Movimento no semáforo 3	104
Figura C.5 - Movimentos semáforo 4.....	105
Figura C.6 - Movimentos Semáforo 5.....	106
Figura C.7 - Movimentos semáforo 6.....	107
Figura C.8 - Movimento semáforo 7	108
Figura C.9 - Movimentos semáforo 8.....	109

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 - Hierarquia das vias em áreas urbanas e áreas rurais	15
Tabela 2.2 - Características de cruzamentos na hierarquia funcional	16
Tabela 2.3 - Exemplos de classes de movimentos.....	23
Tabela 4.1 - Proporção dos veículos adotada no modelo.....	70
Tabela B.0.1 - Contagem de veículos na HPM do ponto 4.....	91
Tabela B.0.2 - Contagem de veículos na HPM do ponto 5.....	92
Tabela B.0.3 - Contagem de veículos na HPM do ponto 6.....	94
Tabela B.0.4 - Contagem de veículos na HPM do ponto 7.....	95
Tabela B.0.5 - Contagem de veículos na HPM do ponto 8.....	96
Tabela B.0.6 - Contagem de veículos na HPM do ponto 9.....	97
Tabela B.0.7 - Contagem de veículos na HPM do ponto 10.....	99
Tabela C.0.1 - Dados Semáforo 1	102
Tabela C.0.2 - Dados Semáforo 2	103
Tabela C.0.3 - Dados Semáforo 3	104
Tabela C.0.4 - Dados semáforo 4.....	105
Tabela C.0.5 - Dados Semáforo 5	106
Tabela C.0.6 - Dados semáforo 6.....	107
Tabela C.0.7 – Dados semáforo 7	108
Tabela C.0.8 - Dados Semáforo 8	109
Tabela D.0.1 - Linhas de ônibus e dados do modelo	111

LISTA DE ABREVIATURAS

Av	Avenida
Art	Artigo
AVM	Atraso Veicular Médio
CET	Companhia de Engenharia de Tráfego
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CFV	Comprimento de Fila de Veículos
CONTRAN	Conselho Nacional de Trânsito
CNG	Congestionamento
CTB	Código de Trânsito Brasileiro
DENATRAN	Departamento Nacional de Trânsito
DMF	Desvio Padrão Móvel do Fluxo de Tráfego
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
EMTU	Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos de São Paulo
HPA	Hora-Pico de Almoço
HPM	Hora-Pico da Manhã
HPT	Hora-Pico da Tarde
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBOPE	Instituto Brasileiro de Opinião e Estatística
IVO	Índice de Velocidade Operacional
NPV	Número de Paradas de Veículos
PAV	Percentual de Atraso Veicular
PMMU	Plano Municipal de Mobilidade Urbana
PrT	Transporte Privado
PT	Transporte Público
PTV	Planung Transport Verkehr
RMSP	Região Metropolitana de São Paulo
VO	Velocidade Operacional

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	11
1.1.	JUSTIFICATIVA.....	11
1.2.	Objetivos	13
1.2.1.	Objetivos gerais.....	13
1.2.2.	Objetivos específicos	13
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1.	ENGENHARIA DE TRÁFEGO	14
2.1.1.	Classificação das vias	14
2.1.2.	Condições de oferta	19
2.1.3.	Movimentos de aproximações e interseções	20
2.1.4.	Sinalização Semafórica.....	27
2.1.5.	Coordenação semafórica	38
2.2.	GESTÃO DE TRÁFEGO	45
2.2.1.	Medidas de desempenho de tráfego	45
2.2.2.	Gestão de tráfego em tempo real.....	47
2.3.	MODELAGEM DE TRÁFEGO.....	51
2.3.1.	Macromodelos.....	52
2.3.2.	Mesomodelos.....	53
2.3.3.	Micromodelos.....	53
2.3.4.	Vissim.....	54
2.3.5.	Calibração e validação de modelos de microsimulação	62
3.	ÁREA DE ESTUDOS.....	63
3.1.	O MUNICÍPIO DE OSASCO	63
3.2.	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS	64
4.	CONSTRUÇÃO DO MODELO DE MICROSIMULAÇÃO	67
4.1.	DADOS	67

4.1.1. Geometria da Via	67
4.1.2. Contagem de veículos.....	67
4.1.3. Tempos semaforicos	68
4.1.4. Pontos e linhas de ônibus	68
4.2. CONSTRUÇÃO DO MODELO.....	68
4.2.1. Geometria da Via	68
4.2.2. Vehicle Inputs.....	69
4.2.3. Vehicle Routes	70
4.2.4. Proporção de veículos.....	70
4.2.5. Semáforos.....	71
4.2.6. Área de Conflito.....	71
4.2.7. Driving Behavior	71
4.2.8. Contadores.....	72
4.3. CALIBRAÇÃO DO MODELO	72
4.3.1. Parâmetros a serem calibrados	73
4.3.2. Método de calibração e resultados.....	74
4.4. VALIDAÇÃO DO MODELO.....	77
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	78
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79
ANEXO A - INVENTÁRIO FÍSICO DO SISTEMA VIÁRIO.....	83
ANEXO B – CONTAGEM DOS VEÍCULOS	90
ANEXO C – DADOS SEMAFÓRICOS	100
ANEXO D – DADOS DOS PONTOS E LINHAS DE ÔNIBUS	110

1. INTRODUÇÃO

1.1. JUSTIFICATIVA

A popularidade do automóvel e a urbanização das cidades trouxeram um grande problema para a sociedade: os congestionamentos. Desde o governo de Juscelino Kubitschek, o automóvel foi ganhando espaço na vida das pessoas, e o acesso a esse meio de transporte se tornou mais fácil com o passar do tempo, possibilitando existir 43 milhões de veículos (carros, caminhões e ônibus) circulantes no Brasil (SINDIPEÇAS, 2018).

Esse incentivo ao uso do automóvel no país, aliado a um espraiamento das cidades brasileiras, devido a uma falta de planos estratégicos e à extrema valorização imobiliária dos centros das cidades, proporcionou um grande número de movimentos pendulares que geram uma demanda acima da capacidade dos sistemas viários existentes em certos momentos do dia, fazendo com que eles operem saturados ou super-saturados, gerando imensas filas de veículos (congestionamentos).

Esse tempo perdido no trânsito afeta diretamente a qualidade de vida das pessoas, a economia e o meio ambiente. Segundo pesquisa do IBOPE (2010), os paulistanos perdem, em média, 2 h e 42 min por dia nessas grandes filas de veículos. Segundo um estudo da FGV (2014), só em 2012, os congestionamentos causaram uma perda em torno de 40,1 bilhões de reais, na cidade de São Paulo. Além disso, os veículos despejam, todo ano, cerca de 1,7 milhões de toneladas de substâncias nocivas na atmosfera, segundo a CETESB.

Portanto, se conseguirmos uma melhora, mesmo que pequena, no tempo dispendido nas ruas, dentro de veículos, pelas pessoas, o impacto positivo em diversos setores será imenso.

Dentro desse contexto está a gestão do tráfego das cidades, que tem como objetivo gerir o sistema para que ele trabalhe da maneira mais eficiente possível e minimize o tempo de trajeto das pessoas da sua origem ao seu destino.

Pontos-chaves da gestão de tráfego são: temporização de semáforos, velocidade máxima da via, sentido das vias, entre inúmeros outros fatores.

A gestão de tráfego tradicional funciona de uma forma mais estática, ou seja, alguns fatores influenciadores da capacidade viária são definidos segundo alguns critérios, normalmente baseados em séries históricas observadas (volume e composição de tráfego, número de acidentes, etc).

Há alguns anos já estão sendo implantados sistemas de gestão de tráfego em tempo real (também chamados de sistemas inteligentes de gestão) ao redor do mundo, porém ainda há poucas cidades (em sua maioria, grandes cidades), atualmente, que apresentam esse sistema em grande parte do seu sistema viário. Alguns exemplos de cidades que implantaram esse sistema são Moscou, na Rússia, e Viena, na Áustria.

Onde esse sistema de gestão “inteligente” foi implantado, pôde-se observar melhorias significativas no trânsito nas vias da cidade, como redução do tempo perdido nos veículos, redução no número de acidentes, entre outras (VILANOVA, 2005).

Dentro do sistema de gestão em tempo real, ao se focar na gestão semafórica das cidades, podem-se observar, mais especificamente, grandes vantagens desse sistema.

Tradicionalmente, o cálculo do tempo de ciclo de cada semáforo é feito utilizando alguns planos ao longo do dia, de acordo com o volume de veículos de cada via da intersecção. A utilização de planos diferentes busca atender à variação do volume de tráfego ao longo do dia e entre os diversos dias da semana. Essa programação de tempo é feita eletronicamente e é feita manualmente, portanto há uma limitação no número de planos e deve-se haver uma margem de segurança para acontecimentos não esperados, como variação do clima, acidentes, obras, etc. Essas limitações geram um tempo de ciclo maior do que o necessário em diversos momentos do dia, o que aumenta o tempo perdido das pessoas e pode causar um maior número de acidentes, porque, segundo nota técnica da CET, quando as pessoas ficam paradas no semáforo durante um tempo excessivo, a probabilidade desrespeitar a sinalização semafórica aumenta.

Ao se utilizar a gestão em tempo real da temporização semafórica, pode-se haver um número muito maior de “planos” de ciclos ao longo do dia, já que eles são calculados e implementados de forma automática, sendo alterados de acordo com a demanda naquele exato momento, portanto não são necessárias margens de segurança para demandas inesperadas.

Nas cidades brasileiras, esse sistema de gestão ainda está muito pouco presente, porém já pode-se encontrar semáforos “inteligentes” (com gestão em tempo real) em alguns cruzamentos brasileiros. Na maior cidade brasileira, São Paulo, segundo a CET, dos 5742 cruzamentos semaforizados existentes, somente 105 são inteligentes (operam em tempo real).

Essa pequena porcentagem de semáforos inteligentes pode, parcialmente, ser explicada pelo investimento financeiro e complexidade relativamente grandes para implantação do sistema de gestão em tempo real, portanto há a necessidade de demonstrar as grandes vantagens do sistema para que seja justificado esse esforço para mudança do sistema tradicional. A demonstração dessas vantagens pode ser feita por meio de estudos de caso, que mostram os resultados em lugares que já implantaram esse sistema, por meio de simulações computacionais em locais que apresentam problemas de tráfego, porém não têm gestão em tempo real.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivos gerais

Analisar os impactos que a possível implantação da gestão semafórica em tempo real pode gerar em cidades com problemas recorrentes de congestionamentos.

1.2.2. Objetivos específicos

Como objetivos específicos, pretende-se, a princípio, construir um modelo de microsimulação de um trecho da Avenida dos Autonomistas em Osasco, que reproduza da melhor forma possível o cenário atual e após o uso da gestão semafórica em tempo real. Posteriormente, deve-se mostrar, por meio de indicadores de tráfego, a qualidade dessa solução.

Além disso, o projeto visa apresentar uma discussão a respeito das dificuldades de se implantar esse sistema de gestão em cidades e elaborar um estudo de caso comparativo com uma região que já apresenta essa solução e os resultados conquistados neste local.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. ENGENHARIA DE TRÁFEGO

De modo simplificado, entende-se que a engenharia de tráfego tem como finalidade estabelecer um sistema viário que garanta mobilidade e acessibilidade adequada a população, um transporte eficiente de bens, um controle dos impactos ambientais e sociais provenientes do tráfego no meio urbano, tudo isso de modo econômico para garantir uma gestão eficiente de recursos (PIETRANTONIO, 2018).

Dessa forma, diversas atividades são pertinentes ao engenheiro de tráfego, tais como:

- a) Estudo de circulação nas vias;
- b) Classificação das vias, usualmente feita por meio de uma hierarquização funcional, mas com a municipalização do trânsito decretada no *Art.24 do Código de Trânsito Brasileiro - CTB (Lei nº 9.503 de 23 de Setembro de 1997)*; está sendo mais comum o uso de políticas que se adequem às peculiaridades do meio urbano local;
- c) Elaboração de projetos de sinalização de modo a garantir segurança, conforto e fluidez adequadas aos usuários das vias;
- d) Controle semaforico;
- e) Elaborar estratégias de tráfego em situações especiais como em grandes eventos (Fórmula 1, jogos de futebol, shows internacionais, entre outros);
- f) Modificar o sistema viário existente com o estudo das soluções cabíveis (proibições de conversões à esquerda e de estacionar veículos junto à via, são alguns exemplos);
- g) Estudos dos impactos de grandes empreendimentos no sistema viário.

2.1.1. Classificação das vias

Conforme apresentado anteriormente, a classificação das vias é um dos passos fundamentais no planejamento do processo viário, uma vez que dentro das atribuições de um engenheiro de tráfego está incluso o dimensionamento ou a

organização de um sistema viário que atenda as demandas da população de acordo com toda a complexidade do assunto.

Nesse contexto, visando minimizar os impactos decorrentes dos possíveis conflitos quanto à operação de um sistema viário, construiu-se um método de classificação de hierarquia funcional que se configura como o modelo principal adotado no Brasil.

2.1.1.1. Hierarquia do sistema viário

O manual de projeto geométrico de travessias urbanas (2010) classifica as vias de modo funcional, segundo uma hierarquia bem definida, para o atendimento dos deslocamentos dentro de um sistema viário. Dessa forma, essa classificação adota como principais critérios a mobilidade e a acessibilidade, onde o primeiro representa a facilidade de se deslocar e o segundo a facilidade de conectar a origem de uma viagem com o seu destino.

Em termos gerais de classificação do sistema viário, designamos como meio urbano as instalações com mais de 5.000 habitantes e de área rural aquelas com menos de 5.000 habitantes. A tabela 1 apresenta a hierarquia dos sistemas funcionais, tanto em regiões consideradas urbanas, quanto nas rurais.

Tabela 2.1 - Hierarquia das vias em áreas urbanas e áreas rurais

Áreas Urbanas	Áreas Rurais
Arterial Sistema Arterial Principal Sistema Arterial Secundário	Arterial Sistema Arterial Principal Sistema Arterial Primário Sistema Arterial Secundário
Coletor Sistema Coletor	Coletor Sistema Coletor Primário Sistema Coletor Secundário
Local Sistema Local	Local Sistema Local

Fonte: Classificação Funcional do Sistema Rodoviário do Brasil. M.T. DNER - 1974.

Como os estudos que serão feitos nesse projeto serão de cidades adensadas, a questão de áreas rurais não será ressaltada, mas destaca-se que as informações

necessárias podem ser exploradas no *Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais - DNER - 1999*.

Com relação à hierarquia das vias, o anexo I do Código de Trânsito Brasileiro, faz as seguintes definições:

Via de trânsito rápido: Aquela caracterizada por acessos especiais com trânsito livre, sem interseções em nível, sem acessibilidade direta aos lotes lindeiros e sem travessias de pedestres em nível

Via arterial: Aquela caracterizada por interseções em nível, geralmente controlada por semáforo, com acessibilidade aos lotes lindeiros e às vias secundárias e locais, possibilitando o trânsito entre as regiões da cidade;

Via Coletora: Aquela destinada a coletar e distribuir o trânsito que tenha necessidade de entrar ou sair das vias de trânsito rápido ou arteriais, possibilitando o trânsito dentro das regiões da cidade;

Via Local: Aquela caracterizada por interseções em nível não semaforizados, destinada apenas ao acesso local ou áreas restritas.

De modo simplificado pode-se destacar as características que geralmente são encontradas nos cruzamentos das vias que atende a hierarquia funcional:

Tabela 2.2 - Características de cruzamentos na hierarquia funcional

	LOCAL	COLETORA	ARTERIAL	EXPRESSA
LOCAL	Interseções sem controle de tráfego			
COLETORA	Interseções com sinalização de prioridade	Interseções semaforizadas (todos os movimentos permitidos)		
ARTERIAL	Não deve ocorrer	Interseções semaforizadas (alguns movimentos proibidos)	Interseções semaforizadas (alguns movimentos proibidos)	
EXPRESSA	Não deve ocorrer	Não deve ocorrer	Cruzamento em desnível (ou conexão por ramais de acesso)	Cruzamento em Desnível Seções de Entrelaçamento

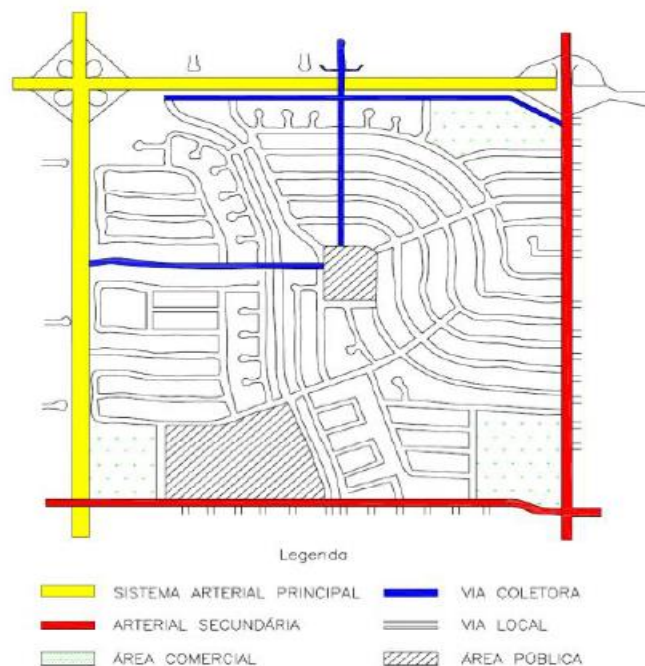
Fonte: PIETRANTONIO, 2018.

De modo complementar, o *Art. 61 do CTB* estabelece em regiões onde não há sinalização regulamentadora no meio urbano, a velocidade máxima da via como:

- a) **Via de trânsito rápido:** 80 km/h;
- b) **Via Arterial:** 60 km/h;
- c) **Via Coletora:** 40 km/h;
- d) **Via Local:** 30 km/h.

Os sistemas arteriais principal e secundário, coletor e local serão aprofundados nos tópicos que virão a seguir, entretanto para ilustrar cada um desses sistemas, destaca-se um exemplo da hierarquia funcional das vias conforme a Imagem 2.1.

Figura 2.1 - Hierarquia funcional das vias urbanas



Fonte: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Publicação IPR-740. 2010.

2.1.1.1.1. Sistema Arterial principal

O sistema arterial principal é aquele que alimenta os principais centros de atividades urbanas, apresentando um volume de tráfego superior aos demais, bem como a característica de acomodar viagens longas, também pela grande extensão de suas vias. Embora seja de extrema importância em um sistema viário, ele representa apenas uma pequena parcela da rede viária.

O sistema arterial principal também é responsável por interligar o sistema com as principais rodovias sejam elas federais, estaduais ou municipais e geralmente apresenta rotas de ônibus urbanas e intermunicipais.

Além disso, devido à natureza das viagens atendidas nesse sistema, quase todas as suas vias apresentam controle de acesso, total ou parcial. Pertencem a esse sistema as vias de trânsito rápido (ou expressas) e as vias arteriais primárias.

2.1.1.1.2. Sistema Arterial Secundário

É o sistema que conecta as vias urbanas com o sistema arterial principal, apresenta extensão intermediária, atende às viagens com grau de mobilidade um pouco inferior e distribui o tráfego por áreas menores do que o sistema principal.

Além disso, o ele pode acomodar linhas de ônibus e prover a continuidade entre as vias e atender todos os casos de sistema arterial que não sejam os movimentos mais importantes.

2.1.1.1.3. Sistema Coletor

A principal função do sistema coletor é captar o tráfego das vias locais das áreas residenciais e o conduzi-lo ao sistema arterial. Dessa forma, ele constitui uma malha contínua com as artérias, permite, em algumas de suas vias, o trânsito de ônibus e têm como características o tráfego em baixas velocidades.

Por fim, deve-se controlar as interseções com as vias locais e coletoras, com o uso de semáforos ou sinais de paradas obrigatórias na via local, ou, no caso de cruzamento entre dois sistemas coletores, aquele com menor volume de tráfego.

2.1.1.1.4. Sistema Local

É o sistema que proporciona acesso às propriedades no meio local, de modo que apresente a menor velocidade de tráfego dentre todos os sistemas, geralmente não contêm rotas de ônibus no meio urbano e deve formar uma rede de ligação com o sistema coletor.

2.1.1.2. *Classificação urbanística*

De fato, a classificação funcional é um elemento concebido de modo a minimizar os conflitos existentes nas vias, entretanto essa classificação apresenta uma série de problemas como a concentração do tráfego nas vias principais, o que leva a um conjunto de impactos no ambiente construído, alterações indesejadas (ou desejadas) no uso do solo, entre outros. Outro exemplo é a não consideração de questões urbanísticas, tais como: entradas de veículos nas edificações, tráfego de pedestres e bicicletas (PIETRANTONIO, 2018).

Dessa forma, existem outras formas de classificação das vias, por exemplo, utilizando conceitos urbanísticos, uma vez que já foi citado que o crescimento da população, bem como as atividades econômicas de uma cidade, está atrelado à malha viária existente e sua projeção para cenários futuros.

No caso da cidade de São Paulo é utilizado um conceito de que vai além dos deslocamentos da população e está atrelado ao plano de desenvolvimento da cidade, segundo a lei 16.050/2014 que dispõe da Política de Desenvolvimento Urbano, o Sistema de planejamento Urbano e o Plano Diretor Estratégico.

2.1.2. Condições de oferta

As condições de oferta da via são influenciadas por diversos fatores, e a classificação da via, como já mencionado, de certa forma as leva em consideração. Há dois tipos básicos de condições de oferta: operação em fluxo contínuo (ou ininterrupto) e operação em fluxo descontínuo (ou interrompido).

2.1.2.1. Fluxo contínuo

A condição de fluxo contínuo é aquela na “qual as condições operacionais são determinadas pela interação entre veículos dentro da corrente de tráfego” (PIETRANTONIO, 2018), ou seja, as possíveis paralisações ocorrem devido somente a razões internas ao fluxo do tráfego, como por exemplo, um acidente. Essa condição é observada normalmente em rodovias, porém há vias arteriais que apresentam condições de fluxo contínuo.

2.1.2.2. Fluxo descontínuo

A condição de fluxo descontínuo é aquela na “qual as condições operacionais são dominadas por interrupções periódicas causadas por elementos externos à corrente de tráfego (usualmente dispositivos de sinalização ou outras correntes de tráfego preferenciais)” (PIETRANTONIO, 2018).

Nas vias urbanas, há a predominância desta condição de tráfego, já que existem inúmeras interseções entre fluxos conflitantes, como será explicado adiante.

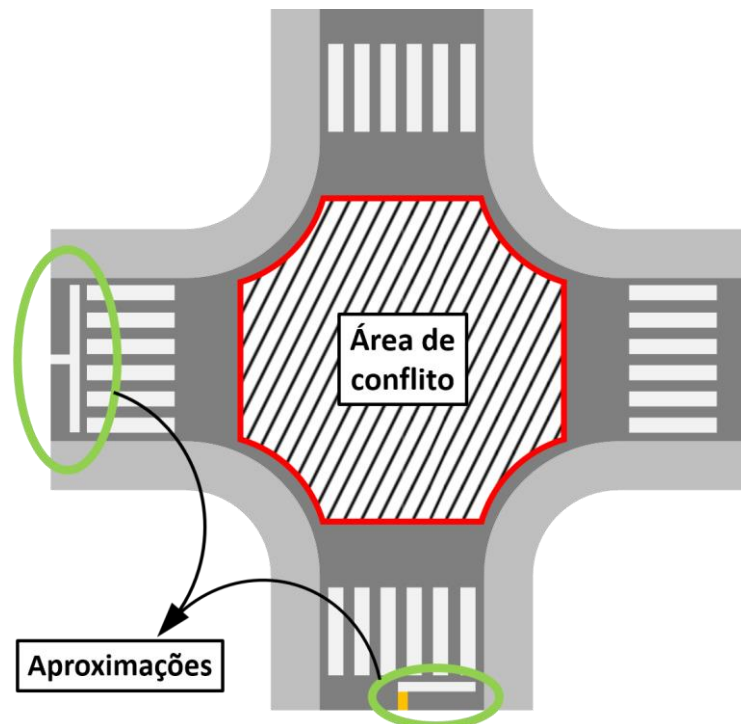
2.1.3. Movimentos de aproximações e interseções

Para introduzir os conceitos de sinalização semafórica, é necessário evidenciar mais algumas definições que irão auxiliar na determinação do tipo de sinalização semafórica a ser utilizada.

2.1.3.1. Movimentos e aproximações

Segundo o Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN, 2014), o termo movimento "é usado para identificar o fluxo de veículos que têm a mesma origem e mesmo destino, e/ou o fluxo de pedestres que se deslocam na mesma direção, mas não necessariamente no mesmo destino". De uma forma mais simplista, pode-se considerar que um movimento seja cada um dos possíveis trajetos que se pode realizar em uma interseção ou em um trecho viário em meio de quadra. Antes de prosseguir, duas outras definições são necessárias para o entendimento das classificações dos movimentos: em primeiro lugar, temos as aproximações, que são os trechos da via por onde os veículos chegam à interseção; em segundo lugar, define-se as áreas de conflito, as quais são as regiões da interseção onde ocorre a interferência de movimentos veiculares a partir de diferentes aproximações. Na imagem 2.2 a seguir, retrata-se de maneira visual os conceitos apresentados anteriormente.

Figura 2.2 - Aproximações e área de conflito



Fonte: Elaboração própria.

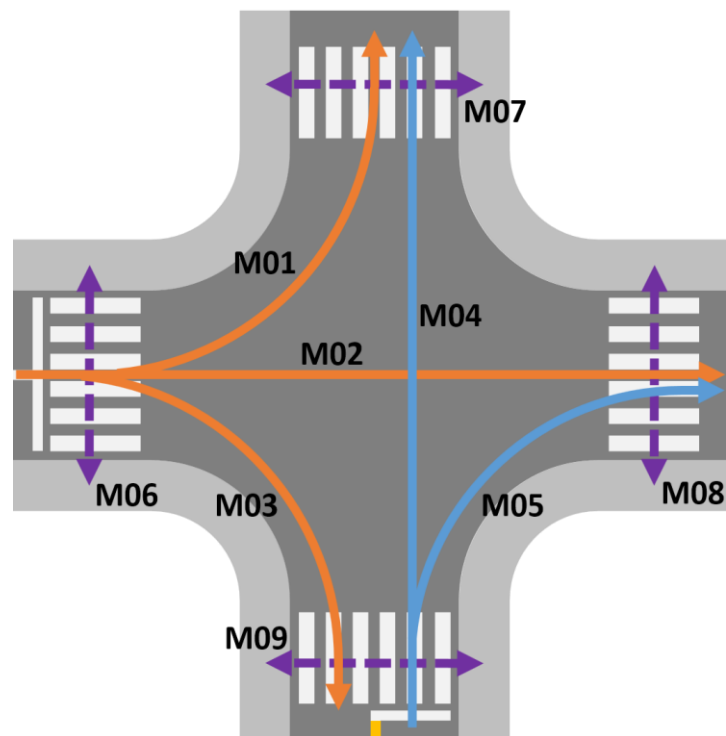
Pode se classificar os movimentos quanto à interação dos seus trajetos. Dessa forma, os movimentos podem ser:

- a) Convergentes, quando possuem diferentes aproximações, mas destinos iguais;
- b) Divergentes, quando possuem a mesma aproximação, mas destinos diferentes;
- c) Interceptantes, quando têm aproximações e destinos diferentes e os trajetos se cruzam em algum ponto;
- d) Não-interceptantes, quando têm aproximações e destinos diferentes, mas os trajetos não se cruzam.

Em algumas ocasiões, para se evitar colisões e acidentes, realiza-se o controle semafórico nas aproximações da área de conflito. Agrega-se os movimentos em duas categorias a fim de estudar o efeito do controle semafórico. Assim, os movimentos podem ser conflitantes, se forem convergentes ou interceptantes; ou não-conflitantes, se forem divergentes ou não-interceptantes.

Como se pode notar no exemplo da imagem a seguir, há 9 movimentos possíveis na interseção. Os movimentos de 1 a 5 são movimentos veiculares, enquanto os de 6 a 9 são movimentos de pedestres.

Figura 2.3 - Classes de movimentos



Fonte: Elaboração própria.

Segundo a classificação apresentada anteriormente, é possível resumir as classes presentes na imagem com a tabela a seguir:

Tabela 2.3 - Exemplos de classes de movimentos

Mov.	M01	M02	M03	M04	M05
M01		Div	Div	Conv	NInt
M02	Div		Div	Int	Conv
M03	Div	Div		NInt	NInt
M04	Conv	Int	NInt		Div
M05	NInt	Conv	NInt	Div	

Fonte: Elaboração própria

Legenda: Conv = Convergentes; Div = Divergentes; Int = Interceptantes; NInt = Não Interceptantes

2.1.3.2. Interseções

Segundo o *Manual de Projetos de Interseções* do DNIT (2005), uma interseção é a área em que duas ou mais vias se unem ou se cruzam, onde todo o espaço é destinado a facilitar os movimentos dos veículos que por ela circulam. As interseções são elementos de descontinuidade em uma rede viária e representam situações críticas que devem ser tratadas de forma especial. No projeto de interseções, deve-se assegurar a circulação ordenada dos veículos e manter o nível de serviço da via, garantindo a segurança nas áreas em que as suas correntes de tráfego sofrem a interferência de outras correntes, internas ou externas. Há dois tipos de interseções: em nível e em níveis diferentes.

2.1.3.2.1. Interseções em nível

As interseções em nível podem ser classificadas em função do número de ramos, das soluções adotadas e do controle de sinalização. Segundo o primeiro critério, os tipos de interseções podem ser: de três ramos ou "T", de quatro ramos e

de ramos múltiplos (o caso de cinco ou mais ramos). Na imagem a seguir, tem-se ilustrações dos tipos descritos.

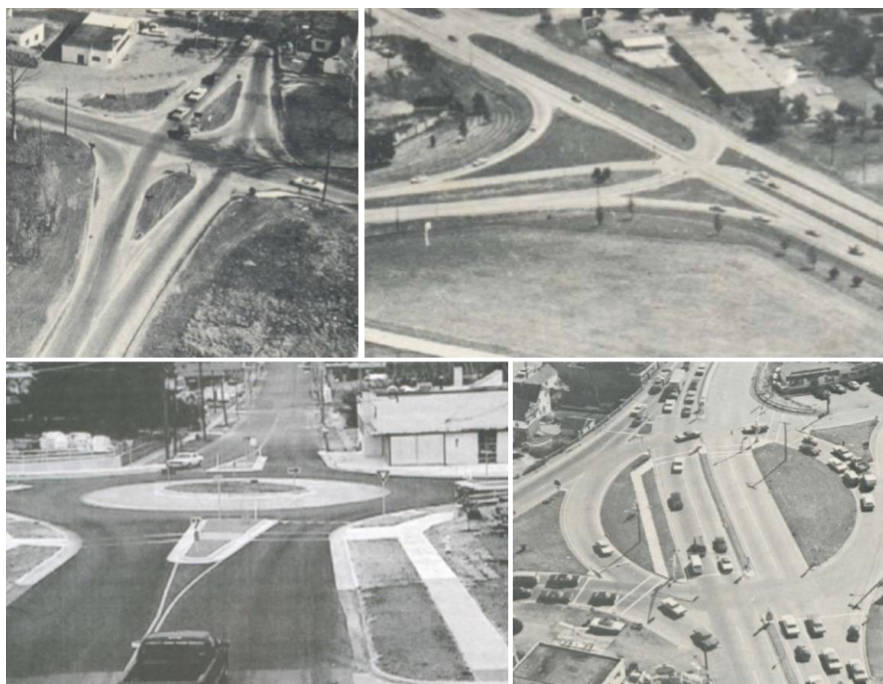
Figura 2.4 - Critério do número de ramos: interseções de três ramos, quatro ramos e ramos múltiplos (da esquerda para direita)



Fonte: Bernardinis (2018)

Pelo segundo critério, é preciso verificar quais foram as soluções adotadas para se evitar conflito de movimentos na interseção. Dependendo do volume de tráfego nas vias envolvidas, uma ou outra solução é necessária. Na imagem a seguir pode-se verificar os tipos de interseções por esse critério, os quais são: mínima (sinalização horizontal e vertical, apenas), gota, canalizada, rótula (ou rotatória) e rótula vazada.

Figura 2.5 - Critério das soluções adotadas: gota, canalizada, rótula vazada e rótula (sentido horário, a partir da fotografia do canto superior esquerdo)



Fonte: Manual de Projeto de Interseções, DNIT (2005).

Por último, segundo o terceiro critério, são consideradas a presença ou ausência de sinalização semafórica (luminosa). No primeiro caso, conta-se apenas com sinalização horizontal e vertical; no segundo, com semáforos.

2.1.3.2.2. Interseções em níveis diferentes

As interseções em níveis diferentes podem ter ou não troca de fluxos de tráfego entre as vias que se interceptam. Quando não há troca de fluxo de tráfego, denomina-se cruzamento em níveis diferentes sem ramos e designa-se passagem superior quando a via principal passar sobre a secundária ou passagem inferior quando a via principal passar sob a secundária. No caso de troca de fluxo de tráfego, chama-se de interconexão e são classificadas em sete tipos básicos:

- a) Interconexão em “T” ou “Y”: quando a interconexão possui três ramos. Há um caso especial, quando uma das correntes de tráfego de um ramo executar giro próximo de 270° e é denominada de “trombeteira”;
- b) Diamante: quando a via principal apresenta uma saída à direita antes e uma entrada à direita após o cruzamento, para cada sentido;

- c) Trevo completo: quando os movimentos de conversão à esquerda são feitos por laços e à direita por conexões externas aos laços;
- d) Trevo parcial: quando há eliminação de um ou mais ramos de um trevo completo, restando pelo menos um laço;
- e) Direcional: quando os principais movimentos de conversão à esquerda são realizados com ramos direcionais. No caso de todos os movimentos serem feitos por ramos direcionais, a interconexão diz-se totalmente direcional;
- f) Semidirecional: quando os principais movimentos de conversão à esquerda são realizados por ramos semidirecionais;
- g) Giratório: quando há utilização de rótula na via secundária.

A seguir, ilustra-se os tipos de interseções em níveis diferentes.

Figura 2.6 - Tipos de interseções em níveis diferentes: trombeta, diamante, trevo completo, semidirecional, direcional e trevo parcial (sentido horário, a partir da fotografia do canto superior esquerdo)



Fonte: Manual de Projeto de Interseções, DNIT (2005).

Figura 2.7 - Interconexão do tipo Giratório



Fonte: Manual de Projeto de Interseções, DNIT (2005).

2.1.4. Sinalização Semafórica

Segundo o MANUAL BRASILEIRO DE SINALIZAÇÃO DE TRÂNSITO (2014), a sinalização semafórica é o subsistema de sinalização viária que apresenta indicações luminosas para transmitir mensagens específicas aos usuários da via pública. Dessa forma, ela regulamenta o direito de passagem ou sobre situações especiais na via.

Além disso, a sinalização semafórica pode ser dividida segundo a sua função da seguinte forma:

- a) Sinalização semafórica de regulamentação:** Apresenta a função de controlar uma seção ou intersecção de via, por meio de sinalização semafórica luminosa, onde o sinal transmitido concede as orientações que os condutores de veículos, bem como os pedestres devem adotar. Com isso, altera-se o direito de passagem entre veículos e/ou pedestres de modo seguro para o trecho adiante;
- b) Sinalização semafórica de advertência:** Apresenta a função de advertir o condutor sobre possíveis elementos perigosos na via, de modo que ele

seja estimulado a reduzir sua velocidade e adotar medidas de precaução para seguir no trecho adiante.

No escopo desse projeto só será abordado a sinalização semafórica de regulamentação, onde existem inúmeros tipos de semáforos como: veicular, veicular direcional, pedestres e ciclistas.

Embora existam diferenças entre cada um deles, será detalhado apenas o tipo veicular que se configura como o principal modelo de sinalização existente na região de estudos.

Entretanto, vale salientar que os semáforos de pedestres que também são comuns em algumas seções do projeto, apresentam os focos luminosos vermelho e verde, que operam de modo análogo ao de veículos.

2.1.4.1. Focos luminosos do semáforo de veículos

Os semáforos veiculares se configuram como elementos que garantem ou restringem o direito de passagem dos veículos. Para atender a essas funções a sinalização apresenta três focos luminosos básicos: o Verde, o Amarelo e o Vermelho; que representam as seguintes orientações básicas para os condutores:

- a) Verde:** Quando a sinalização apresenta a cor verde significa que o condutor pode seguir sua trajetória normalmente, de modo que sejam feitos os movimentos consistentes com a via ou interseção;
- b) Amarelo:** A cor amarela indica que o condutor deve parar o seu veículo, ao menos que não haja mais tempo hábil para realizar essa ação de modo seguro. Neste caso, ele deve prosseguir trajeto;
- c) Vermelho:** A cor vermelha representa o impedimento do condutor de prosseguir sua trajetória, de modo que essa condição só será alterada quando aparecer a cor verde no semáforo.

Dessa forma, os semáforos para veículos são elementos que apresentam a função de permitir ou proibir a passagem de veículos na via por meio do uso da sinalização verde e vermelha, respectivamente. Entretanto é necessário o uso de uma cor intermediária, no caso o amarelo, que garanta uma interrupção menos

brusca do movimento dos veículos na via e, por consequência, um maior grau de segurança aos usuários.

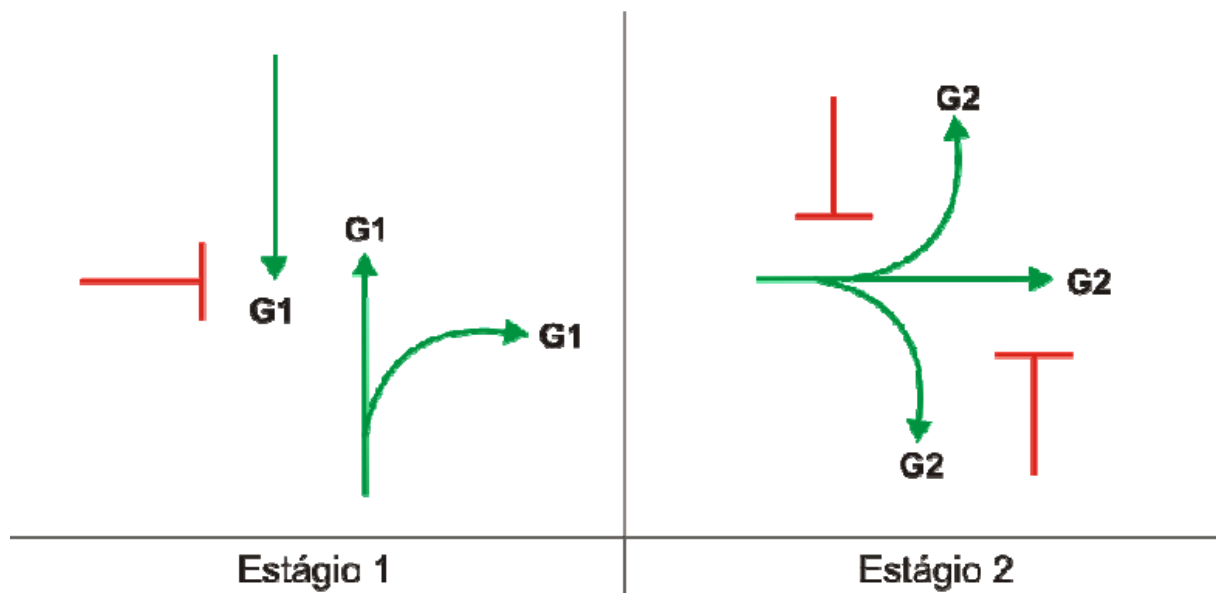
2.1.4.2. Estágio

Define-se estágio como o intervalo de tempo que um ou mais grupos de tráfego recebem o direito de prosseguir trajeto de modo simultâneo. Dessa forma, o período de estágio compreende o tempo de verde e o tempo de entreverdes que o segue.

2.1.4.2.1. Diagrama de estágio

O diagrama de estágios é a representação gráfica dos movimentos que podem ser realizados em cada estágio do ciclo. Ele ilustra pela cor verde quais movimentos estão autorizados e pela cor vermelho quais estão proibidos, em cada estágio do ciclo.

Figura 2.8 - Exemplo de diagrama de estágios



Fonte: Manual brasileiro de sinalização de trânsito. Vol. V - Sinalização semafórica (2014).

2.1.4.3. *Entreverdes*

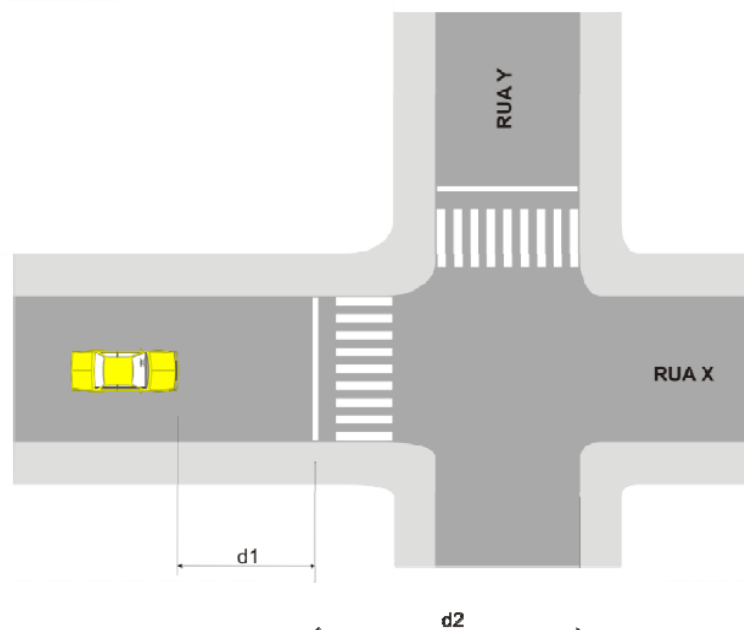
Define-se entreverdes como o intervalo de tempo equivalente ao final do verde de um estágio e início do verde do estágio subsequente, de modo que, seja a soma dos tempos de amarelo e vermelho geral (ou de segurança). Dessa forma, o período entreverdes se configura como o intervalo de segurança total.

Destaca-se que como o período de entreverdes é um valor de segurança, ele se configura como um número fixo que não deve ser alterado, mesmo em planos semaforicos diferentes.

2.1.4.3.1. Tempos de amarelo

O tempo de amarelo corresponde ao tempo necessário para que um condutor que trafega com a velocidade máxima da via consiga reagir a mudança do foco luminoso e frear o veículo antes de encontrar a linha de retenção. A imagem 2.9 mostra que a distância até a linha de retenção, d_1 , bem como a distância entre a linha de retenção e o término da área de conflito, d_2 .

Figura 2.9 - Distâncias percorridas pelo veículo nas aproximações



Fonte: Manual brasileiro de sinalização de trânsito. Vol. V - Sinalização semaforica (2014).

O cálculo do tempo de amarelo pode ser feito pela expressão:

$$t_{am} = t_{pr} + \frac{v}{2(a_{ad} \pm i.g)} \quad (1)$$

Onde:

t_{am} = tempo de percepção e reação do condutor (geralmente, adota-se 1s);

v = Velocidade sinalizada na via ou a sua determinação pela regulamentação estabelecida pelo CTB no critério de hierarquização funcional das vias, valor em m/s;

a_{ad} = Máxima taxa de frenagem admissível em via plana (geralmente, adota-se 3m/s²);

i = inclinação da via na aproximação do semáforo, sendo positivo em rampas ascendentes e negativo em descendentes, valores em m/m;

g = aceleração da gravidade (9,81m/s²);

Destaca-se que o tempo de amarelo não deve ser superior a três segundos para vias com velocidade limite igual ou inferior a 40km/h, superior a quatro segundos naquelas com velocidades entre 50 e 60km/h e superior a cinco segundos quando a velocidade limite for 70km/h.

Complementarmente, o tempo máximo de amarelo não deve ser superior a cinco segundos independente da velocidade da via. No caso em que a equação 1 tiver resultado superior a cinco segundos, adota-se o tempo de amarelo igual a cinco segundos e o tempo restante é destinado ao tempo de vermelho geral, que também compõe o tempo de entreverdes.

2.1.4.3.2. Tempo de vermelho geral ou segurança

O tempo de vermelho geral é o tempo necessário para que o veículo que ultrapassou a linha de retenção saia da zona de conflito com segurança. No diagrama de intervalos luminosos esse período se configura como uma interseção dos períodos de vermelho de dois estágios diferentes, mostrando que o condutor que já ultrapassou a linha de retenção e visualizou o foco luminoso vermelho, não

estará no percurso do usuário da via que vai ganhar a permissão de prosseguir trajeto.

O cálculo do tempo de vermelho geral pode ser feito pela seguinte expressão:

$$t_{vg} = \frac{d_2 + c}{v} \quad (2)$$

Onde:

v = Velocidade sinalizada na via ou a sua determinação pela regulamentação estabelecida pelo CTB no critério de hierarquização funcional das vias, valor em m/s;

c = comprimento do veículo (geralmente, adota-se 5m);

d_2 = comprimento equivalente à trajetória entre a linha de retenção e o término da área de conflito, valores em m.

2.1.4.4. Ciclo

O ciclo corresponde a sequência completa dos estágios de uma sinalização semafórica, ou seja, corresponde à soma dos tempos de estágios programados para o controle de tráfego local.

O tempo de ciclo é uma variável que depende predominantemente do tempo de entreverdes, também conhecido como tempo de perdido e da taxa de ocupação da via. Uma forma teórica de calcular o tempo de ciclo foi demonstrada por WEBSTER (1957):

$$T_c = \frac{T_p}{1 - \sum Y_i} \quad (3)$$

Com:

$$Y_i = \frac{F_i}{FS_i} \quad (4)$$

Onde:

Y_i = Tempo perdido ou tempo de entreverdes, em segundos;

F = Fluxo na via ou demanda na via;

FS = Fluxo de Saturação da via;

Y = Taxa de ocupação do grupos de movimentos críticos do estágio.

Embora seja um modelo consistente em termos teóricos, na prática os tempos resultantes implicam em congestionamentos. Dessa forma, Webster considerou uma série de componentes aleatórios que podem interferir trânsito por meio de tempos de tempos de folga. Assim, utilizando-se tempos folgas na equação 3 ele chegou na seguinte modelo de tempo ótimo de ciclo:

$$T_c = \frac{1,5.T_p + 5}{1 - \sum Y_i} \quad (5)$$

2.1.4.5. Tempos de verde

Conhecendo-se o tempo de entreverdes dos estágios, bem como o tempo de ciclo de um programação semafórica é possível conhecer o tempo de verde, denominado por Webster como tempo de verde efetivo, pela seguinte expressão:

$$T_{v,efet,i} = (T_c - T_p) \cdot \frac{Y_i}{\sum Y_i} \quad (6)$$

Onde:

$T_{v,efet,i}$ = Tempo de verde efetivo do estágio i, em segundos;

T_c = Tempo de ciclo, em segundos;

T_p = Tempo perdido ou tempo de entreverdes, em segundos;

Y_i = Taxa de ocupação do grupo de movimentos críticos do estágio i.

Outra possível maneira de calcular o tempo de verde efetivo é seguindo o conceito do grau de saturação máxima da via, pela seguinte expressão:

$$T_{v,efet,i} = p_i \cdot T_c \quad (7)$$

Onde:

$T_{v,efet,i}$ = Tempo de verde efetivo do estágio i, em segundos;

T_c = Tempo de ciclo, em segundos;

p_i = Fração de verde requerida para o estágio i.

2.1.4.5.1. Tempo de verde mínimo

O tempo de verde mínimo é o menor intervalo de verde que pode ser utilizado, de modo que além de atender às demandas do tráfego local, seja suficiente para que os usuários passem pela via sem que haja um risco demasiado de acidentes.

Os valores do verde mínimos de segurança variam de 10 a 20 segundos, não sendo permitidos valores inferiores a 10 segundos. Seus valores dependem da classificação hierárquica da via, do volume de veículos, da largura da transversal, da composição do tráfego e da presença de pedestres.

2.1.4.5.2. Tempo de verde máximo

O tempo de verde máximo é determinado de modo que não se prolongue demasiadamente o tempo de espera de pedestres e/ou veículos que estão nos movimentos conflitantes. Seu dimensionamento depende das características do tráfego e da via.

2.1.4.6. Diagrama de intervalos luminosos

Considera-se intervalo luminoso o período em que a configuração luminosa dos semáforos permanece inalterada. Dessa forma, o diagrama de intervalos luminosos representa a duração e sequência dos intervalos luminosos e estágios por meio de barras horizontais, de modo a associar os grupos semaforicos correspondentes.

Figura 2.10 - Exemplo de diagrama de intervalos luminosos

DIAGRAMA DE INTERVALOS LUMINOSOS							
INSTANTE (s)	0		30	34	36		74 78 80
G1	[0-30] [30-34] [34-36]		[36-74]		[74-78]		[78-80]
G2	[0-30]		[36-74]		[74-78]		[78-80]
INTERVALOS	1		2	3	4		5 6
DURAÇÃO (s)	30		4	2	38		4 2
% CICLO	38		5	2	48		5 2
ESTÁGIOS	1			2			

Fonte: Manual brasileiro de sinalização de trânsito. Vol. V - Sinalização semafórica (2014).

2.1.4.7. Plano semafórico

O plano semafórico é o conjunto de elementos que caracteriza a programação semafórica de uma interseção ou seção de via em um determinado período do dia. O diagrama de estágios e os intervalos luminosos são partes constituintes do plano semafórico.

Em uma seção ou interseção semaforizada, podem haver controlador semafóricos monoplane e multiplano. Além disso, esse segundo modelo pode operar obedecendo uma série histórica conforme tabelas horárias ou valer-se de controle que se adapta a demanda da via.

2.1.4.7.1. Monoplane

O modelo monoplane estabelece uma configuração de estágios e ciclos constantes ao longo da hora e do dia. Entretanto, apresenta-se como um modelo pouco utilizado atualmente, visto que é praticamente impossível encontrar uma região com intensidade de trânsito constante ao longo do tempo.

No caso em que se utiliza o modelo monoplane, opta-se por dimensionar o plano semafórico de acordo com a solicitação de maior demanda, para que no pior dos casos o trânsito seja administrado adequadamente.

Por um lado, esse modelo consegue atender adequadamente a condição mais crítica, por outro, ele gera ociosidades no restante do dia.

Segundo NETO (2016), essas ociosidades são indesejáveis, pois quando há espera demasiada por parte de motoristas e pedestres que estão no fluxo oposto, ocorre um sério risco de eles ultrapassarem o sinal vermelho e se exporem a acidentes.

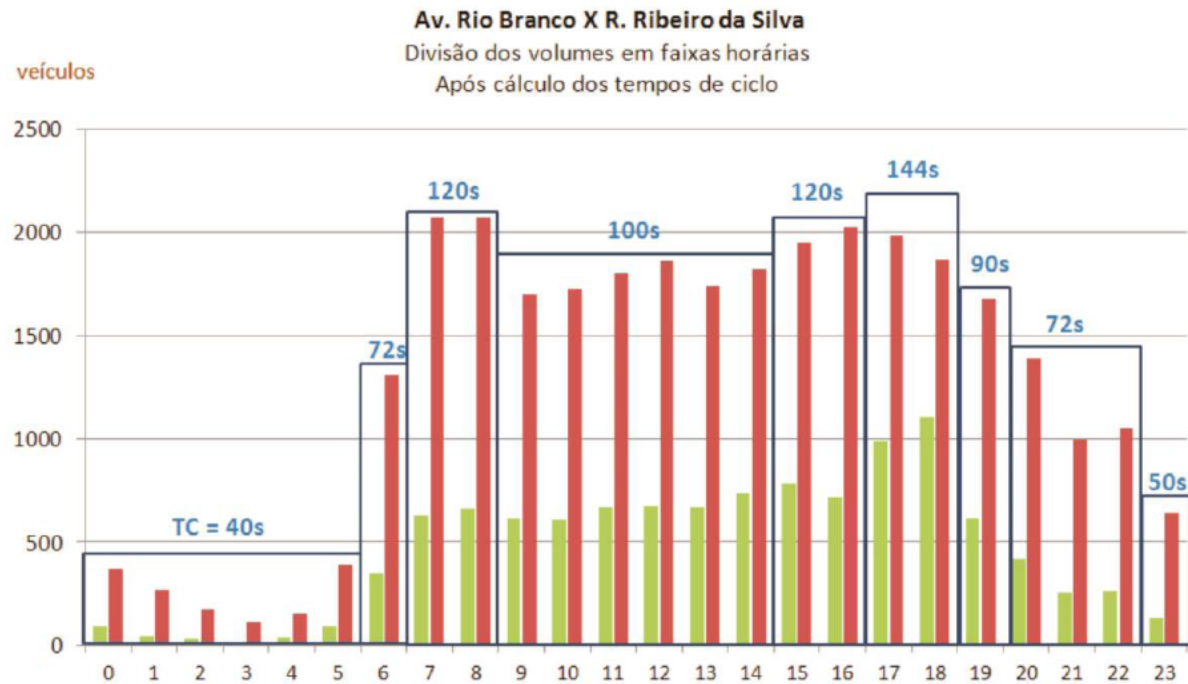
2.1.4.7.2. Multiplano

Por haver ociosidades e riscos de acidentes consideráveis no modelo monopiano, opta-se, na maioria dos casos, por estabelecer uma configuração multiplano. Este modelo considera as variações do trânsito para estabelecer uma série de cenários ótimos.

A configuração multiplano com o uso da tabela horária estabelece uma série de cenários com demandas semelhantes, seja em relação à hora do dia, ou em relação ao dia da semana, fim de semana, entre outros.

A imagem a seguir mostra um exemplo do uso de um gráfico que apresenta a demanda de veículos em uma interseção de acordo com a hora do dia e a determinação dos tempos de ciclo em cada plano semafórico com características semelhantes.

Figura 2.11 - Exemplo de tempo de ciclo conforme o horário do dia



Fonte: Neto (2016)

2.1.4.7.3. Controle adaptativo

Essa forma de controle é chamada de adaptativa, pois não utiliza previsões de tráfego por meio de uma tabela horária, mas sim dispositivos de detecção que fazem a contagem de veículos e atualizam constantemente os dados de demanda.

Dessa forma, por ser um elemento que atualiza os seus dados e não utiliza uma previsão estatística da demanda, esse sistema consegue trabalhar com menores intervalos de segurança, o que reduz o tempo de ciclo de um cruzamento e reduz as ociosidades do sistema, garantindo maior fluidez e segurança.

Por não apresentar os planos semaforicos pré-determinados, utilizam-se os parâmetros simples como tempos de ciclo, tempo de verde, entreverdes, verde mínimo e máximo, para determinar as configurações dos focos luminosos e assim determinar o modelo semaforico ideal para um cruzamento isolado.

2.1.4.7.4. Controle em tempo real

Assim como o controle adaptativo o controle em tempo real utiliza dispositivos de detecção para a contagem de veículos na via e varia os tempos semafóricos de modo a melhor se adaptar ao padrão existente.

Entretanto, o sistema em tempo real necessariamente precisa ser centralizado, ou seja, os dados coletados pelos detectores são processados em um computador central que, por meio de um software, faz os cálculos dos tempos semafóricos necessários.

Outro ponto de destaque é que o sistema em tempo real utiliza um padrão que beneficia toda uma área de controle e não somente um cruzamento fixo como no controle adaptativo.

De modo análogo ao sistema adaptativo, o controle em tempo real minimiza folgas e ociosidades, o que aumenta a segurança e fluidez, embora em alguns cruzamentos o tempo de ciclo possa estar um pouco acima do valor ótimo para beneficiar a rede como um todo.

2.1.5. Coordenação semafórica

A coordenação semafórica é uma estratégia de gestão tráfego que melhora o desempenho da circulação de veículos, uma vez que estabelece diretrizes para que o tráfego em uma rede aberta ou fechada, tenha maior fluidez.

Conforme PIETRANTONIO (2018), o aumento da densidade de semáforos e a saturação das vias no ambiente urbano faz com que seja cada vez mais importante o emprego da coordenação semafórica, em especial em redes de maior porte.

Segundo dados presentes no MANUAL DE SEMÁFOROS (1984), a sincronização de semáforos próximos pode gerar reduções na ordem de 50 a 80% em relação aos atrasos e números de paradas nos seções semaforizadas.

Todos esses aspectos permitem mostrar a importância da coordenação semafórica que será apresenta nos tópicos a seguir.

2.1.5.1. Tipos de sistemas de coordenação semafórica

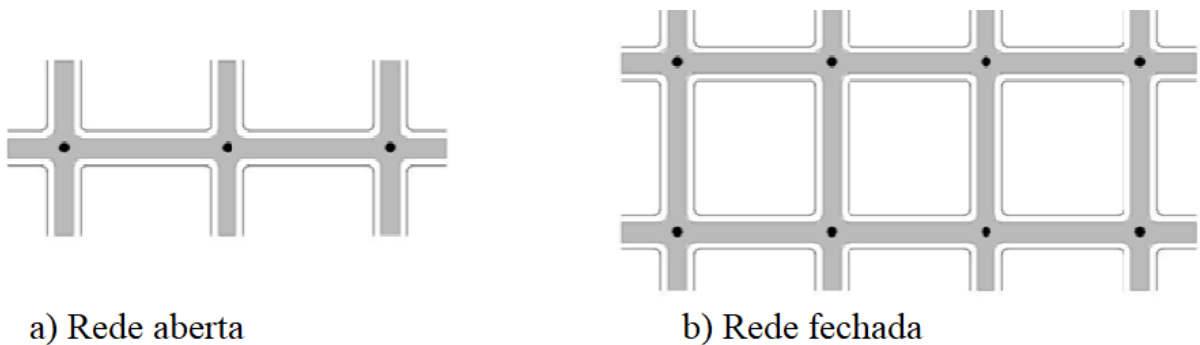
Nos sistemas de coordenação semafórica podem ser utilizados dois tipos de controle, em rede aberta ou em rede fechada.

No primeiro caso, utiliza-se um sistema de controle que prioriza uma via com várias interseções. Por esse motivo, costuma ser empregado em uma via arterial, de modo que se estabeleça uma progressão contínua da corrente de tráfego, por meio de defasagens entre os semáforos que caracterizam uma “onda verde”.

Essa denominação vem do fato de que os veículos trafegando com uma velocidade conhecida passam por interseções sucessivas sem ter seu movimento interrompido por sinalização com foco luminoso vermelho.

Já no segundo caso, considera-se um conjunto de interseções pertencentes a diferentes vias de modo que utilizam-se defasagens consistentes para que toda a rede se beneficie.

Figura 2.12 - Rede aberta e rede fechada



a) Rede aberta

b) Rede fechada

Fonte: Manual brasileiro de sinalização de trânsito. Vol. V - Sinalização semafórica (2014)

No escopo deste projeto será detalhado apenas a coordenação em rede aberta baseada em ondas verdes, uma vez que a região de estudos é o de uma via arterial e pretende-se priorizar o fluxo nela.

2.1.5.2. Ondas Verdes

2.1.5.2.1. Requisitos mínimos

Como já citado a coordenação baseada em ondas verdes gera uma sequência de liberações de movimentos em cruzamentos sucessivos de modo a garantir que os veículos consigam passar por essas interseções sem interrupções. Segundo NETO (2016), são necessários dois requisitos mínimos para esse tipo de coordenação semafórica, são eles:

- a) Todos os controladores de tempo devem seguir uma mesma referência de tempo;
- b) Todos os controladores devem operar com o mesmo intervalo de ciclo (em alguns casos pode acontecer de os semáforos possuírem ciclos diferentes, mas nesse caso eles devem ser múltiplos exatos).

No primeiro caso, a utilização de uma mesma referência de tempo garante que os controladores estarão sincronizados. Já no segundo, pode-se entender que se os semáforos coordenados não tivessem o mesmo intervalo de ciclo, com o passar do tempo os controladores iriam liberar os movimentos de modo desordenado.

Entretanto, ressalta-se que mesmo que o ciclo seja igual entre semáforos, a coordenação pode englobar modelos multiplanos, ou seja, que mudam a programação conforme a demanda, seja ela estimada por dados estatísticos ou por contagem dos veículos.

Outro ponto de destaque é que alguns cruzamentos podem apresentar valores de ciclo acima dos valores ótimos de modo que a rede seja beneficiada como um todo e não somente uma interseção isolada. Assim, calculados os tempos ótimos, adota-se para a rede o valor de ciclo correspondente ao cruzamento com maior demanda.

2.1.5.2.2. Defasagem

Tendo a mesma referência de tempo e o mesmo período de ciclo é fundamental que se estabeleça uma defasagem entre interseções adjacentes. Seu valor é positivo quando está no trecho a frente da interseção de referência e negativo do contrário. Dentre as possíveis formas de efetuar os cálculos em vias de mão única, PIETRANTONIO (2018), destaca:

- a) Defasagem para períodos com baixa demanda de tráfego:

$$\Theta_{ij} = t_{ij} = \frac{L_{ij}}{V_{ij}} \quad (8)$$

- b) Defasagem para condições de maior demanda:

$$\Theta_{ij} = t_{ij} - t_{sj} = \frac{L_{ij}}{V_{ij}} - \frac{n_j}{S_j} \quad (9)$$

- c) Defasagem para sistemas saturados:

$$\Theta_{ij} = \frac{L_{ij} - Z_j}{V_{ij}} - \frac{Z_j}{W_{sj}} \quad (10)$$

Onde:

θ_{ij} = Tempo de defasagem entre os cruzamentos i e j, valores em s;

t_{ij} = Tempo de viagem entre interseções adjacentes, valores em s;

t_{sj} = tempo de dissipação de filas em j, valores em s;

L_{ij} = Distância entre interseções adjacentes, valores em m;

V_{ij} = Velocidade média entre interseções adjacentes, valores em m/s;

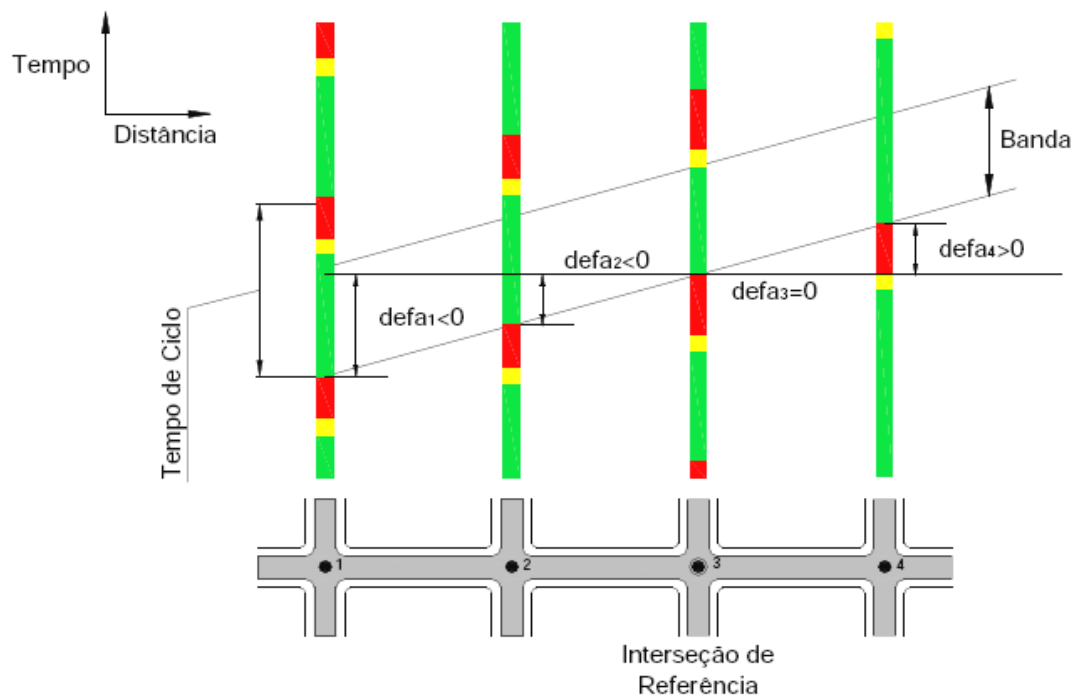
n_j = Fila no vermelho à jusante, valores em número de veículos;

S_j = Fluxo de saturação da via, valores em número de veículos/s;

Z_j = Extensão da fila, valores em m;

W_{sj} = Velocidade de dissipação da fila em j, valores em m/s.

Figura 2.13 - Defasagem em relação a uma interseção de referência

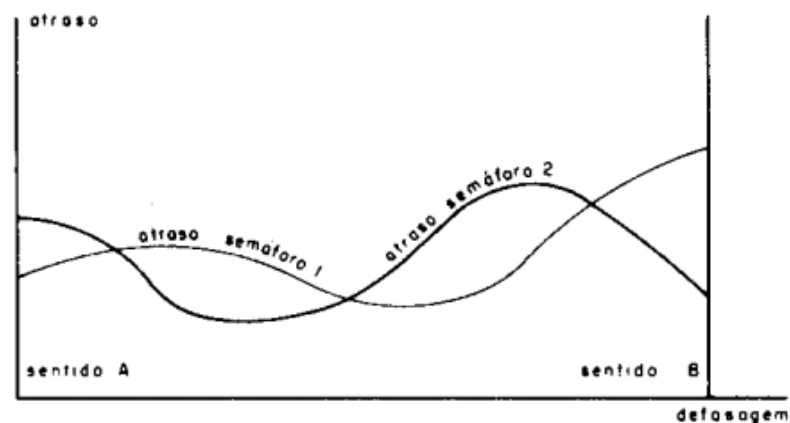


Fonte: Manual brasileiro de sinalização de trânsito. Vol. V - Sinalização semafórica (2014)

Para vias de mão dupla, onde a defasagem e tempo de ciclo ótimo são, em geral, diferentes entre os sentidos é necessário verificar se o benefício para um fluxo não gera atrasos em demasia para o fluxo oposto.

Uma possível abordagem de solução é por meio de um estudo do efeito das defasagens e os atrasos gerados, de modo que, adota-se como valor de defasagem aquele que gera menor soma dos atrasos nos dois sentidos.

Figura 2.14 - Relação dos atrasos em cada via em função da defasagem dos semáforos



Fonte: Manual de semáforos (1984)

Figura 2.15 - Defasagem ótima para vias de mão dupla.



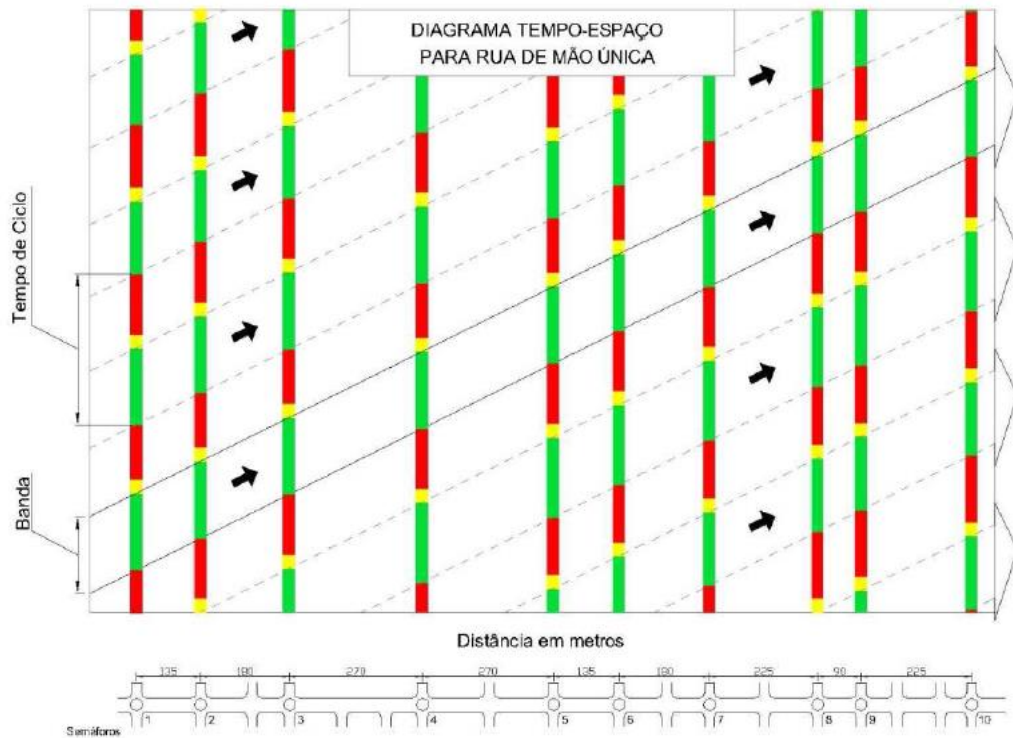
Fonte: Manual de semáforos (1984).

Outro possível método para o cálculo de defasagem é utilizando o diagrama tempo-espço, onde no eixo vertical é representado para cada interseção, o tempo de ciclo e os respectivos tempos de verde, amarelo e vermelho. Já o eixo horizontal mostra as distâncias em metros entre as interseções controladas por semáforos.

Esse método adota como premissa que não existem veículos em fila nas aproximações das interseções, ou seja, para uma via de mão única esse método é equivalente a equação 8.

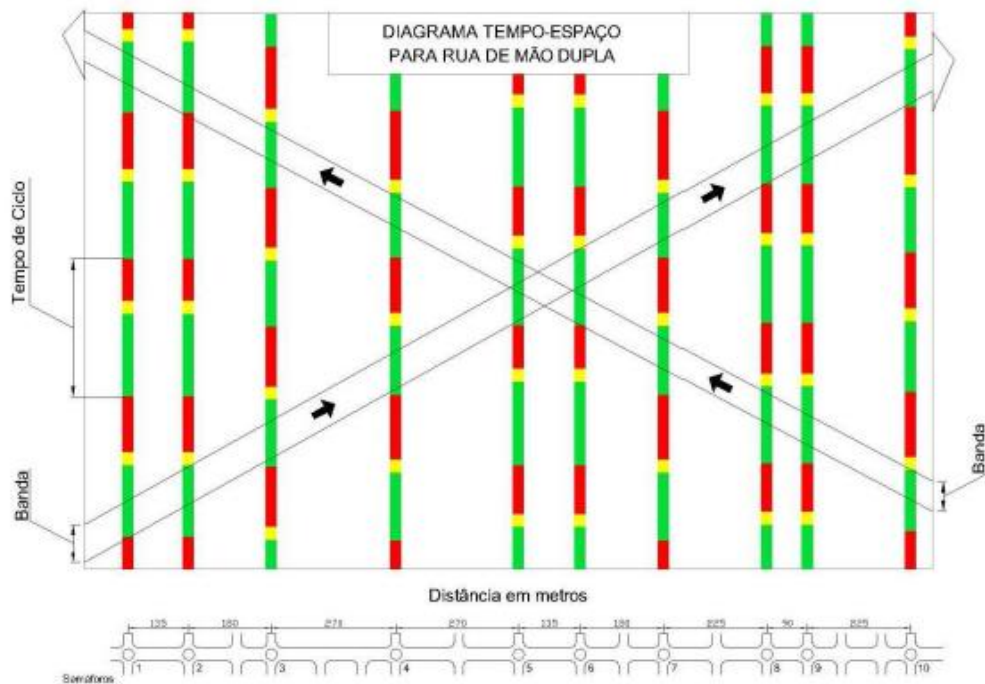
Além disso, o tempo de verde que os veículos percorrerão sem parar é denominado Banda e a inclinação das retas traçadas mostra a velocidade de progressão desejada para os pelotões.

Figura 2.16 - Diagrama tempo-espaco para via de mao unica



Fonte: Manual brasileiro de sinalização de trânsito. Vol. V - Sinalização semafórica (2014)

Figura 2.17 - Diagrama tempo-espaco para via de mao dupla



Fonte: Manual brasileiro de sinalização de trânsito. Vol. V - Sinalização semafórica (2014)

2.1.5.2.3. Ressalvas quanto à necessidade de emprego

O MANUAL DE SEMÁFOROS (1984) apresenta como um dos fatores limitantes da coordenação baseada em ondas verdes a dispersão dos pelotões de tráfego em trajetos muito extensos, ou seja, como os usuários não percorrem as vias com velocidades iguais, os mais rápidos ultrapassam os mais lentos e tendem a alcançar o início do pelotão que está a sua frente.

Dessa forma, os pelotões sucessivos se encontram o que gera uma uniformização do fluxo, eliminando a necessidade de coordenação semafórica.

De modo complementar, o MANUAL BRASILEIRO DE SINALIZAÇÃO DE TRÂNSITO (2014) mostra que os pelotões, geralmente, só são beneficiados pelo sincronismo entre semáforos adjacentes se a distância entre estes for inferior a 800 metros.

Assim, na determinação do uso de coordenação semafórica por ondas verdes é importante que se avalie a sua necessidade, pois uma de suas premissas é a utilização de tempos de ciclo iguais entre semáforos, sendo que alguns deles estão com valores acima do ótimo. Com isso, para cruzamentos muito distantes a coordenação pode ser até mesmo prejudicial a rede como um todo.

Por fim, em vias de mãos duplas é necessário se atentar a priorização do fluxo de veículos em um sentido em detrimento do outro, o que pode levar a uma piora do fluxo da rede como um todo.

2.2. GESTÃO DE TRÁFEGO

2.2.1. Medidas de desempenho de tráfego

Para introduzir os métodos de gestão de tráfego, é necessário que seja apresentado quais são as medidas de desempenho de tráfego, uma vez que é preciso ter parâmetros comparativos que permitam mostrar como o tráfego se comporta diante de diferentes soluções e que permitam a visualização da evolução de soluções ao longo do tempo. Denomina-se solução as medidas implementadas por planejadores de transporte para melhorar o tráfego, mobilidade e acessibilidade. No presente estudo, foca-se em soluções baseadas em semaforização inteligente sendo, portanto, mais relacionada ao desempenho do tráfego geral.

Uma frase atribuída a Peter Drucker, considerado o pai da administração moderna, afirma “*If you can't measure it, you can't improve it*”. Ela tem o objetivo de salientar a necessidade de se obter uma métrica para quantificar o progresso e poder ajustá-lo de acordo com os objetivos das ações adotadas. Da mesma forma, a gestão do tráfego demanda suas próprias métricas para medir o desempenho e a qualidade do tráfego em estudo. Ademais, no caso de gestão em tempo real, as medidas tornam-se imprescindíveis.

Alguns índices adotados para a métrica do desempenho do tráfego são divididos de acordo com objetivos gerenciais específicos (MENESES, LEANDRO e LOUREIRO, 2018):

- a) Diagnóstico espaço-temporal de pontos críticos de congestionamento recorrente
 - Atraso veicular médio (AVM)
 - Congestionamento (CNG)
 - Comprimento de fila de veículos (CFV)

- b) Diagnóstico da fluidez do tráfego urbano
 - Índice de velocidade operacional (IVO)
 - Velocidade operacional (VO)
 - Número de paradas de veículos (NPV)

- c) Avaliar a configuração espacial de sub-áreas de controle de tráfego
 - Percentual de atraso veicular por sub-área (PAV), relativamente ao tempo de viagem

- d) Subsidiar a atualização da programação semafórica de tempo fixo
 - Desvio padrão móvel do fluxo de tráfego (DMF)

A primeira categoria citada permite quantificar a existência e a intensidade do congestionamento de determinado trecho de uma malha viária, com a possibilidade de identificar pontos críticos. A segunda aponta a performance do tráfego nesse trecho e, de acordo com a configuração dos movimentos das interseções, é possível deduzir o que está prejudicando a progressão do fluxo de tráfego. A terceira e a quarta, por fim, servem como subsídios para a gestão semafórica coordenada em sub-áreas da região em estudo.

As ações gerenciais sobre o tráfego urbano precisam de informações para embasá-las e os indicadores de performance permitem interpretação da realidade para a criação de modelos eficientes e eficazes da malha viária urbana.

2.2.2. Gestão de tráfego em tempo real

A gestão de tráfego em tempo real apresenta elementos tecnológicos que monitoram e podem fazer ou não alterações em elementos do trânsito de acordo com a demanda das vias; essas alterações também podem ser feitas por agentes que recebem as informações em tempo real.

Dessa forma, essa solução se configura com elementos que podem reduzir a demanda, como o controle semafórico em tempo real e o controle da velocidade da via de acordo com a demanda, ou aumentar a oferta, como no caso de alterações de rotas de tráfego.

2.2.2.1. Gestão semafórica em tempo real

Como já citado anteriormente, o controle semafórico em tempo real utiliza elementos de contagem de veículos, de modo que os planos semafóricos não se limitem às variações de demandas percebidas por um conjunto de dados de uma série histórica. Dessa forma, os planos semafóricos são atualizados constantemente de acordo com as variações do número de veículos da via.

Com isso, busca-se otimizar, por meio de softwares, os tempos de ciclo e de verde em um conjunto coordenado de semáforos, de modo a reduzir o número de paradas e minimizar os atrasos na rede.

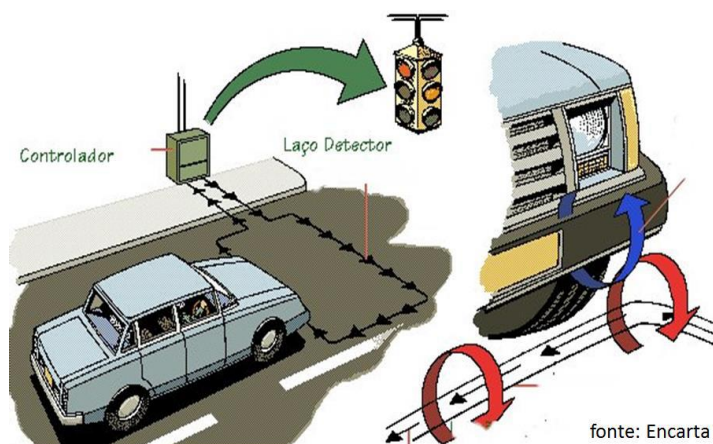
2.2.2.1.1. Arquitetura de um sistema de controle em tempo real de semáforos

Nesse tipo de sistema, a detecção da demanda de veículos é feita através de detectores localizados em todas as aproximações da interseção semaforizada. Esses detectores podem ser de dois tipos: laços indutivos localizados no pavimento ou câmeras.

a) Laços indutivos

Um cabo metálico é enrolado dentro de um corte feito no pavimento. Esse cabo é enrolado e por ele passa corrente elétrica, que gera um campo magnético; ao passar um veículo, esse campo magnético é alterado e o veículo é contado.

Figura 2.18 - Esquema de detecção por laço indutivo



fonte: Encarta

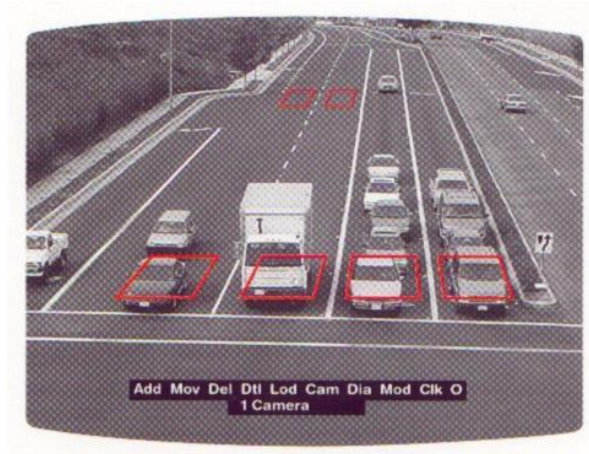
Fonte: Imagem retirada do Boletim Técnico 38 – CET

b) Câmeras

Esse sistema opera com laços detectores virtuais, que são criados por um software específico e gerados na imagem captada pela câmera, que deve ser fixa e deve estar posicionada de forma que capture todo o trecho em que há a passagem de veículos e deve-se realizar a detecção.

A detecção é feita através da diferença de pixels entre o fundo da imagem e os veículos.

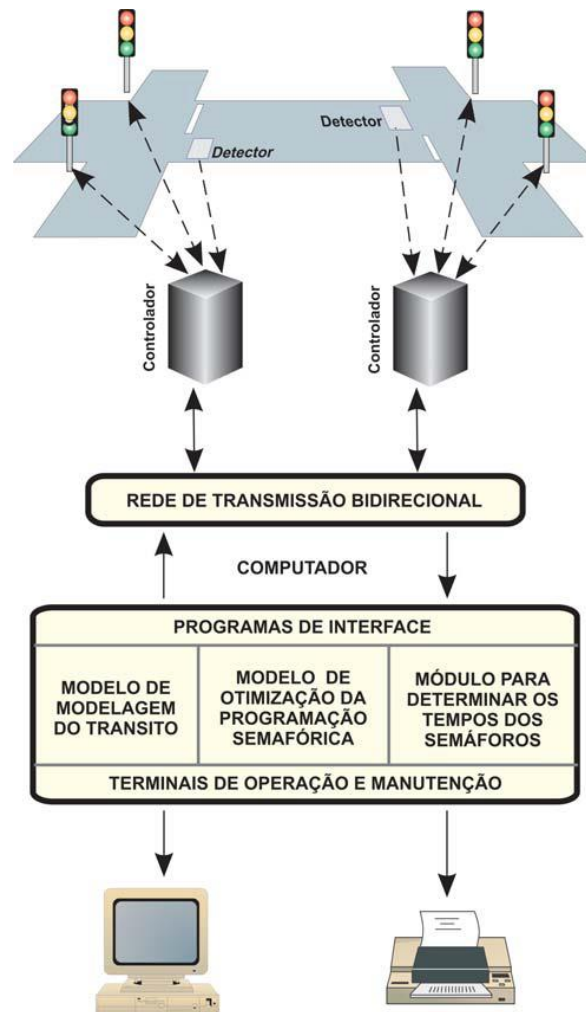
Figura 2.19 - Exemplo de aplicação dos laços virtuais



Fonte: Boletim Técnico 38 – CET

Essas informações coletadas pelos detectores são enviadas para o computador do centro de controle através dos controladores dos semáforos; o computador executa o programa do aplicativo de gestão semafórica. O esquema do funcionamento desse sistema é apresentado na Imagem XX.

Figura 2.20 - Modelo de funcionamento de um sistema de gestão em tempo real dos semáforos



Fonte: Boletim Técnico 38, CET (2005)

O aplicativo pode ser dividido em três módulos principais:

- Modelagem de trânsito - os valores detectados pelos detectores nas vias serão transformados em parâmetros para representar o perfil de demanda e ocupação das vias;
- Otimização da programação semafórica - nesta etapa há uma busca pela melhor programação de tempo semafórico, tendo como objetivo minimizar o tempo de atraso (espera dos veículos no semáforo) e o número de paradas, considerando, ainda, as condições de contorno, como tempos de segurança;
- Determinação dos tempos dos semáforos - cálculos dos tempos aplicados à programação semafórica (tempo de ciclo, tempos de estágio, defasagens). Esse cálculo advém da otimização feita na etapa anterior.

Esse comando será enviado aos controladores dos semáforos através de uma rede de transmissão de dados e, ao chegar a eles, os tempos calculados serão aplicados, assim como o operador poderá visualizá-los no centro de controle.

2.3. MODELAGEM DE TRÁFEGO

Em sua forma mais simples, pode-se dizer que um modelo é a uma forma simplificada de representação da realidade. Essa representação é um corte no espaço ou no tempo de algo que se deseja modelar. Podemos tratar, neste caso, esse algo como sendo um sistema.

O conceito de sistema pode ser definido como um conjunto de entidades que agem e interagem juntas em direção a um fim lógico. O processo de representação de um sistema depende de se ter um mecanismo para descrevê-lo e entender como esse sistema funciona e se desenvolve ao longo do tempo. Esse mecanismo é então utilizado para prever os resultados de um sistema real, a partir de variáveis determinadas nos dados de entrada, e sem a utilização do sistema real. Esse mecanismo é a representação formal do modelo de um sistema. (Barceló, J., 2010).

Um modelo é sempre uma visão enviesada de um sistema: dependendo do ponto de vista e do problema analisado. Existem modelos físicos e abstratos, como por exemplo, uma representação de uma barragem em uma escala reduzida, que é um modelo físico, para simular seu funcionamento e os fenômenos intervenientes nele sem, necessariamente, ela existir em escala real.

Um modelo, principalmente um modelo abstrato, pode ser feito para se otimizar algo, ao se simular inúmeros cenários (possibilitado pelo processamento computacional) a fim de se obter o que maximiza ou minimiza alguma variável de interesse; interesse esse que traz consigo essa visão enviesada do modelo citada, já que, geralmente, não há uma otimização global e algumas compensações (*trade-offs*) devem ser feitas, priorizando determinados parâmetros.

Aqui estamos tratando de uma classe específica de modelos abstratos: formais e matemáticos, os quais têm como mecanismo para a descrição do sistema equações matemáticas baseadas em hipóteses sobre o sistema. (Ortúzar e Willmesen, 2011).

Assim, para descrever um sistema, segundo Jaumé Barceló (2010), deve-se especificar:

- a) Seus processos de transformações ou atividades;
- b) Seus limites;
- c) Seus componentes e subsistemas e as relações entre eles ou com a estrutura;
- d) Os dados iniciais advindos do ambiente externo ao sistema;
- e) O resultado que se obtêm.

Ao se processar computacionalmente um modelo, torna-se o computador um laboratório, permitindo a simulação de experimentos que responderão diversas questões de “e se?” sobre o comportamento do sistema.

No caso deste trabalho, o sistema a ser estudado é o de transportes. A modelagem de tráfego é muito útil e utilizada para planejamento e operação dos sistemas de transportes reais, permitindo avaliação de diferentes alternativas de gerenciamento de tráfego, a simulação de casos estressados e até mesmo para controle de tráfego em tempo real.

Pode-se classificar os modelos de sistemas de transportes de acordo com diferentes características, sendo uma das mais notáveis o nível de agregação de seus componentes (veículos).

2.3.1. Macromodelos

Nesse tipo de modelo, os veículos são tratados por meio de suas características médias, isto é, não são considerados em sua individualidade, e portanto, a variância de sua velocidade individual também não é considerada. Além de um nível de agregação maior na observação dos veículos, as vias também são tratadas de forma mais agregada, não dispendo de quebras por características como número de faixas, greide ou semáforos.

Modelos macroscópicos são considerados estáticos, isto é, não permitem uma avaliação profunda num curto espaço de tempo, pois sua frequência de atualização tem usualmente a ordem de grandeza mínima de 15 minutos. Macromodelos também são determinísticos, dado que tratam de dados médios sem

a consideração de variância. Assim, são os que requerem menos dados e consomem menos memória computacional dentre os modelos.

Segundo Maia (2007), o escopo da utilização dos modelos macroscópicos os torna modelos de planejamento, devendo serem usados para tratar de planejamento de intervenções estratégicas; simulação de médias/grandes áreas; implantação e duplicação de vias.

2.3.2. Mesomodelos

“A simulação mesoscópica é uma classe intermediária quanto ao realismo e detalhamento” (Maia, 2007 apud Portugal, 2005). Nesse caso, os veículos são tratados como um pelotão, sendo diferenciados ao longo do tempo e do espaço.

Segundo Maia (2007), Skabardonis e May consideram como a principal característica da mesossimulação o tratamento individual dos veículos baseados em relações macroscópicas de fluxo. Além disso, sendo mais detalhado do que o modelo macroscópico, é possível realizar simulações com semáforos e trazer para a análise características como o greide da pista. Um exemplo mais claro sobre o realmente diferencia um mesomodelo de um macromodelo é dado por Liverman e Rathi (1997):

Por exemplo, manobras de mudança de faixa podem ser representadas para cada veículo individualmente, mas a decisão sendo agregadamente baseada em densidades de faixa, e não nas relações individuais entre os veículos.

Segundo Maia (2007), o escopo da utilização de modelos mesoscópicos recai sobre: análises de intervenções táticas; simulação de médias/grandes áreas; implantação e duplicação de vias; definição de rotas de veículos e verificação de rotas de veículos por causa de estímulos.

2.3.3. Micromodelos

O nível de agregação para esse modelo é mínimo, cada veículo é tratado individualmente, sendo observadas não somente suas características na direção do fluxo, mas também entre as faixas.

Como os veículos são tratados individualmente, o modelo é considerado estocástico, levando em conta a variação de velocidade de cada indivíduo, além disso, o modelo é dinâmico, podendo detalhar instante a instante (geralmente a cada segundo) a simulação, o que acaba tornando esse modelo o maior consumidor de memória computacional, com maior necessidade de dados (meso e macromodelos pedem como entrada somente dados médios de velocidade, capacidade, densidade e fluxo, enquanto que o micromodelo pede volume de veículos, velocidade, regras de preferência, semaforização, comportamento dos motoristas e geometria das vias) e portanto maior tempo despendido para ser realizado.

Segundo Maia (2007), o escopo da utilização de micromodelos é a simulação operacional, isto é: análise de intervenções operacionais; simulação de pequenas/médias áreas; análises de esquemas alternativos de controle de tráfego; alteração na operação semafórica; entrada e saída de rampas; definição de rotas de veículos; análise de esquemas de operação de tráfego em área e verificação das mudanças de rotas de veículos por causa de estímulos.

Atualmente existem diversos softwares no mercado que trabalham com micromodelos: VISSIM, DRACULA, AIMSUN, NETSIM, e outros.

Para o objeto de estudo deste trabalho (a cidade de Osasco, Av. dos autonomistas), o modelo que melhor se adequa aos objetivos propostos é o micromodelo, atendendo ao escopo de utilização proposto por Maia (2007).

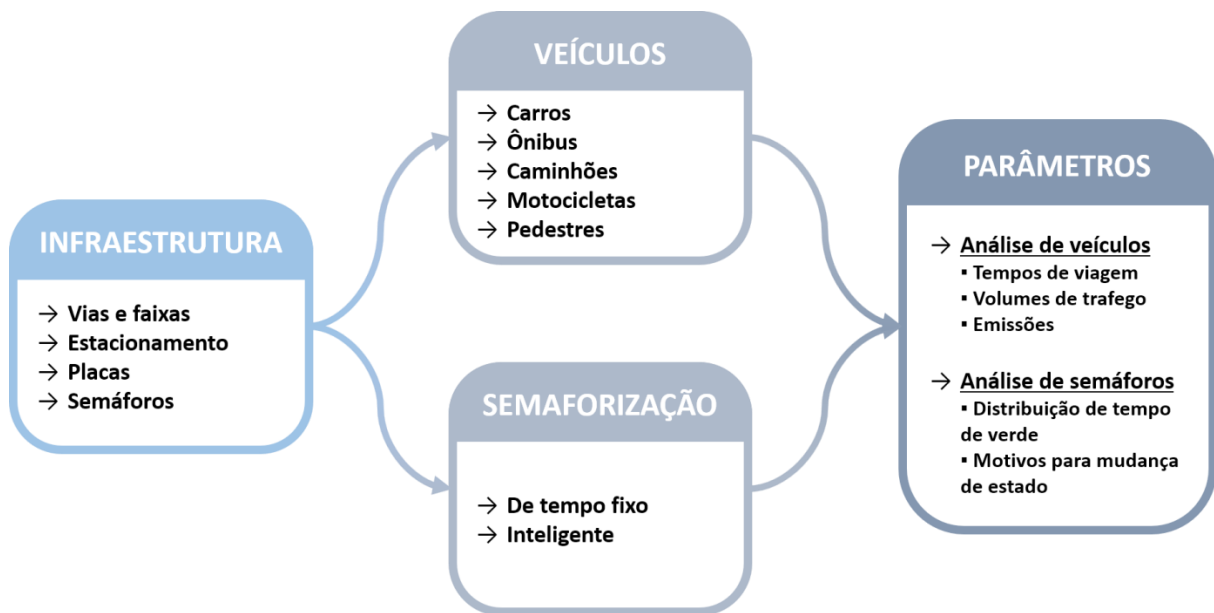
2.3.4. Vissim

Dentre os softwares disponíveis para a microssimulação, o escolhido foi o Vissim. O vissim é um software de microssimulação de tráfego multimodal da PTV (Planung Transport Verkehr AG), cuja comercialização se iniciou em 1994. Baseado em modelos de comportamento e com simulação passo a passo, permite a modelagem e simulação do tráfego veicular urbano e rural, havendo uma separação entre PrT (Veículos de transporte privado) e PT (Veículos de transporte público). O software também permite a modelagem e simulação de tráfego de pedestres.

Segundo a PTV, com o Vissim é possível testar e analisar interações entre sistemas, tais quais, controle semafórico adaptativo, recomendação de rotas em redes e comunicação intraveicular (C2x).

O fluxo de tráfego veicular no vissim é centrado em dois principais modelos: car-following, que representa a movimentação longitudinal dos veículos, e lane changing, que representa a movimentação lateral, isto é, entre faixas, dos veículos, além disso, há alguns modelos ‘acessórios’ para melhor aproximar a simulação à realidade.

Figura 2.21 - Estrutura do Sistema de Transportes modelado pelo Vissim



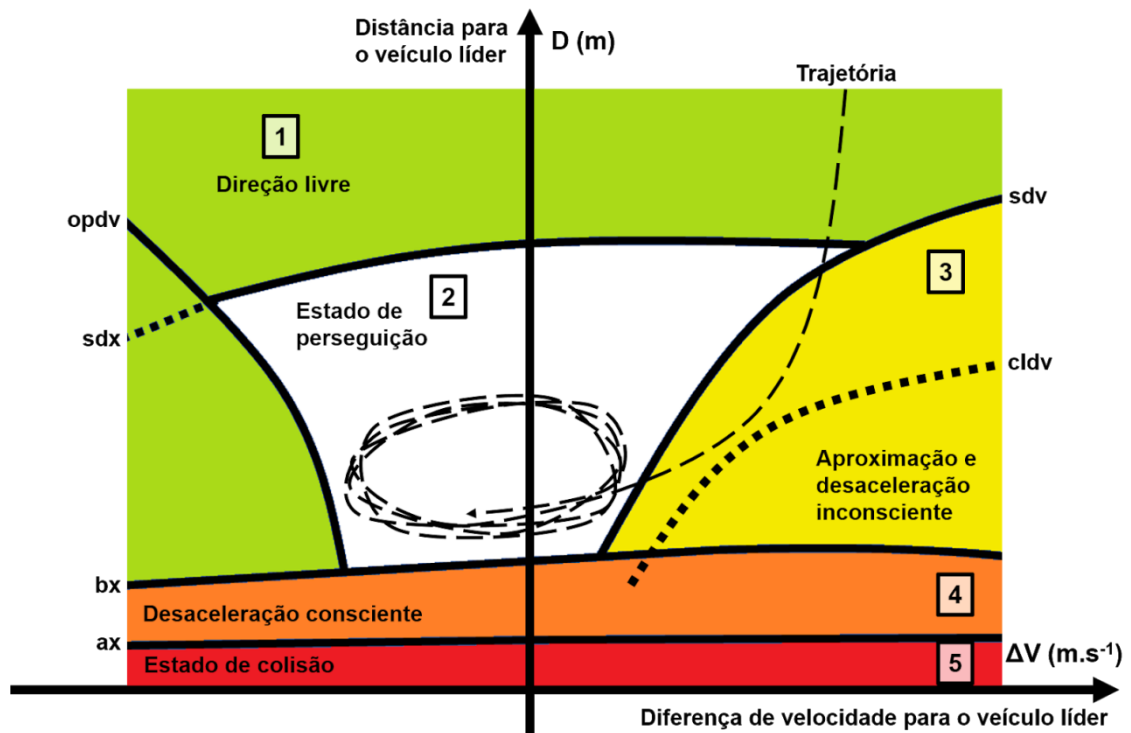
Fonte: Elaboração própria

2.3.4.1. Car-following

Segundo o manual do Vissim 10: “O Vissim usa um modelo psicofísico de percepção desenvolvido por Wiedmann (1974)”.

Modelos psicofísicos são modelos nos quais o motorista de veículo seguidor percebe visualmente alterações na velocidade relativa e distância para veículo líder, e então dependendo da percepção desses valores, age consciente ou inconscientemente acelerando ou desacelerando seu veículo. Assim, esses modelos podem também ser chamados de modelo de pontos de ação (*action point models*).

Figura 2.22 - Modelo psicofísico do car-following



Fonte: Manual Vissim 10 (adaptado).

O gráfico apresentado na imagem acima retrata a teoria de Wiedemann (1974) para explicar o modelo psicofísico do *car-following*.

Os pontos de ação dependem além da diferença de velocidade e distância relativa para o veículo líder, do tipo de comportamento do motorista seguidor.

Segundo Fellendorf e Vortisch (2010) e Lacerda e Neto (2014), as curvas acima podem ser explicadas como:

α_x = Distância desejada entre as frentes de dois veículos sucessivos numa fila [m].

$$\alpha_x = Veh_L + MinGap + rdn_1 \cdot ax_mult \quad (11)$$

Veh_L = Comprimento do Veículo [m];

$MinGap$, também chamado de ax_add = o mínimo valor entre dois veículos sucessivos numa fila [m];

rdn_1 = Variável de aleatória de correção truncada entre 0 e 1, $N(0,5; 0,15)$.
 Cujas aplicações são justificadas por conta da visão diferente que diferentes motoristas têm de segurança e risco.

ax_mult = Fator multiplicativo de ax [m].

bx = Distância de segurança [m]

$$bx = (bx_add + bx_mult \cdot rdn_1) \cdot \sqrt{v} \quad (12)$$

bx_add = Fator aditivo de bx ;

bx_mult = Fator multiplicativo de bx ;

v = Velocidade do veículo líder quando em situações de perseguição e do veículo seguidor em momentos de distanciamento [m/s];

abx = Distância mínima desejada de perseguição, que é uma função de ax e da distância de segurança bx e velocidade do veículo seguidor v .

$$abx = ax + bx \cdot v \quad (13)$$

sdv = Ponto de ação no qual um motorista conscientemente nota que está se aproximando de um veículo seguidor mais lento e começa a desacelerar. sdv aumenta com a diferença de velocidades Δv . No modelo original de Wiedemann um outro limite, $cldv$, é definido para o modelo uma desaceleração adicional por conta do uso dos freios com uma variação maior do que em sdv .

$opdv$ = Ponto de ação no qual o motorista seguidor percebe que está mais lento do que o veículo líder e começa a acelerar novamente.

sdx = Limite de percepção para modelar a máxima distância de perseguição, que é em torno de 1,5 a 2,5 vezes abx .

Um exemplo para auxiliar na compreensão do modelo é: um veículo seguidor que parte de um status de direção livre (1) se aproxima de um veículo líder, mais lento, e começa então a desacelerar a partir da percepção de que há um veículo

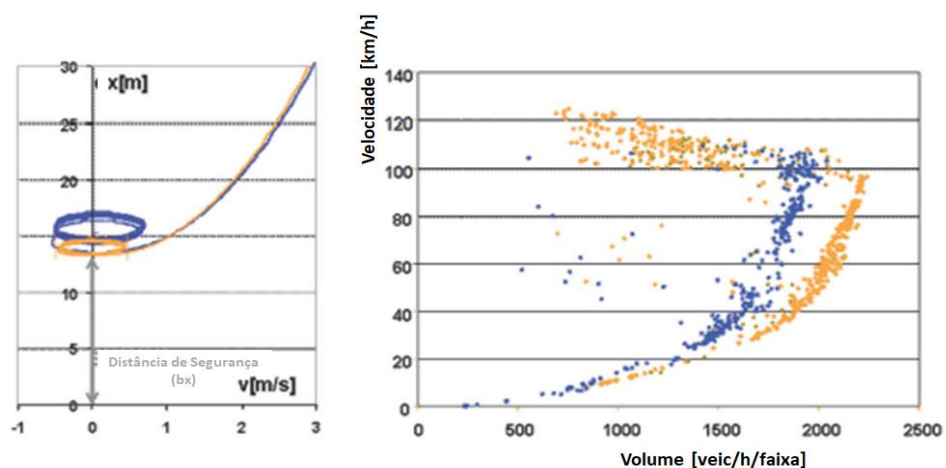
mais lento à sua frente, entrando no estado de aproximação (3). Como o motorista não tem a capacidade de percepção para determinar exatamente a velocidade do veículo seguidor, ele desacelerará até que sua velocidade fique menor do que a do veículo lento, cruzando o eixo das abcissas e já no estado de perseguição (2), ponto a partir do qual ele retoma a ação, acelerando novamente. Chegando assim à uma oscilação constante entre ações de aceleração e desaceleração suaves, representativo do status de perseguição (2).

Caso o motorista entre na zona de frenagem (4), a distância entre o veículo seguidor e líder será menor do que a distância considerada de segurança pelo veículo e ele terá uma taxa de frenagem alta ou média. A entrada nesta zona pode se dar por conta de uma mudança abrupta na velocidade do veículo líder ou pela entrada de um terceiro veículo, entre os outros dois.

Os limites definidos pelas retas dependem do tipo de motorista, permitindo a variação de sdv , que representa o nível de atenção, e de bx , que representa a distância de segurança. Segundo Fellendorf e Vortisch (p.76, 2010):

“Diferentes limites de sdv e bx , podem aumentar ou diminuir a capacidade de uma via.”

Figura 2.23 - Influência de 100% de veículos aversos ao risco (azul) ou menos alertas (laranja) na capacidade da via



Fonte: Adaptado de Fellendorf e Vortisch (p.77, 2010)

No Vissim 10, é possível escolher entre dois modelos diferentes para o car-following: Wiedemann-74 (W74) ou Wiedemann-99 (W99), segundo o manual do Vissim 10, é recomendável utilizar o primeiro para modelagem urbana e o segundo

para modelagem de rodovias. Como neste trabalho trataremos de um meio urbano, o modelo adotado no vissim será o W74.

Segundo o Manual do Vissim 10, o W74 é uma versão melhorada do modelo de Wiedemann (1974) e permite a definição de 3 parâmetros:

- a) Distância média de parada: É a distância média desejável entre 2 carros, com tolerância entre $-1 m$ e $+1 m$, distribuídos normalmente sobre 0, o que indica um $ax_{mult} = 1 m$, além disso o desvio padrão é $0,3 m$, e o valor padrão de ax é $2 m$.
- b) Parte aditiva da distância de segurança: (bx_{add}) é o valor usado para calcular a distância de segurança desejada d . bx_{add} padrão $2 m$.
- c) Parte multiplicativa da distância de segurança: (bx_{mult}) é o valor usado para calcular a distância de segurança desejada d . bx_{mult} padrão $3 m$.

Para obter abx do modelo a partir de $d = ax + bx$, calcula-se $abx = d - Veh_L$, porque ax de W74 é calculado parado e no modelo é em movimento.

Além disso, é necessário ressaltar que em W74, sdv , sdx $cldv$ e $opdv$ já estão definidos e não podem ser alterados.

O que é justificado por Lacerda e Neto (2014):

É importante perceber que o W74 implica em espaçamentos maiores para velocidades menores, o que é mais adequado para representar o tráfego urbano, já que nesta configuração espaçamentos maiores permitem mais aceitação de brechas. Vale notar que Wiedemann propôs uma relação quadrática entre bx e v , e justificou afirmando que para velocidades maiores os motoristas tendem a sobre-estimar a distância de segurança, portanto taxa de crescimento de d diminui com o aumento de v .

2.3.4.2. Movimentos laterais

2.3.4.2.1. Escolha de faixa

Um motorista pode decidir mudar de faixa em 2 situações: livre ou mandatária. Na situação livre, o motorista não está ciente de ou não realizará nenhuma conversão nas próximas intersecções e somente desejará mudar de faixa quando seu estado no car-following for diferente do fluxo livre (estado 1 do car-

following), caso exista alguma faixa adjacente que propicie um estado melhor, ou de fluxo livre ou de tempo para colisão maior do que na faixa em que se encontra, caso isso seja verdade, o motorista passa então a avaliar se é possível a mudança de faixa evitando colisão.

Na situação de escolha de faixa mandatória, o motorista deseja fazer uma conversão. Nesses casos, são consideradas pelo programa para cada conector duas variáveis: distância de mudança de faixa e a distância de emergência. A primeira medida é a partir de quando um motorista se torna consciente de que terá que mudar de faixa, esses valores, segundo Jaume Barceló et al (2010), variam entre 100m e 500m, a partir desse ponto o motorista irá considerar o conector no processo de escolha de faixa; Já a segunda, indica a distância para o conector da conversão para a qual o motorista não mais conseguirá acessar os conectores para converter e, portanto deverá parar para completar a ação.

2.3.4.2.2. Mudança de faixa

A lógica de mudança de faixa (lane changing) do Vissim atua a partir do resultado do processo de escolha de faixa, sendo ele mandatório, no caso de uma conversão futura ou livre, no caso de o motorista entender que há um estado melhor em faixas adjacentes; E em função do processo de 'gap acceptance': o motorista está disposto a aceitar que ele força um veículo, o que estará atrás dele após a mudança de faixa, a desacelerar, esse valor de desaceleração aceito pelos motoristas é uma variável a ser calibrada, assim como a distância de segurança citada acima, quanto mais próximo desse ponto o motorista está, mais agressivo ele se torna, podendo até a aceitar desacelerar a si próprio no caso de uma mudança de faixa mandatória.

2.3.4.2.3. Movimento lateral contínuo

Esse movimento é típico de localidades com o tráfego mais desorganizado, no qual o fluxo não respeita corretamente as faixas, podendo mais de um veículo ocupar a mesma faixa, como ocorre por exemplo nas ruas paulistanas, em que carros e motos dividem uma mesma faixa. Nesses casos, é necessário adaptar o modelo de car-following e mudança de faixa, para o car following, o motorista

escolhe a posição lateral na faixa que o permite o maior tempo para colisão, isto é a maior fluidez de movimento, criando 'faixas virtuais', a distância lateral da qual um veículo se permite passar por outro é uma das variáveis mais importantes para modelar esse tipo de comportamento e é função da velocidade, tipo dos veículos e da distância mínima de segurança.

2.3.4.2.4. Tactical driver behavior

Para permitir que modelos de lane-changing e car-following componham uma ferramenta útil ao planejamento de tráfego, é necessário que os motoristas se comportem de forma planejada, isto é, que suas ações sejam tomadas antes num do que um passo de tempo de simulação do programa ou em função além do veículo diretamente a frente.

2.3.4.2.5. Anticipated Driving at conflict areas

No Vissim, por definição, em qualquer sobreposição de dois links surge uma área de conflito. Nelas, é definida, ou não, uma prioridade, no caso de uma junção de duas vias, sendo uma delas principal e priorizada, o motorista da via secundária deve calcular e antecipar em quanto tempo um motorista na via principal chega à área de conflito e em quanto tempo e a qual aceleração ele é capaz de atravessar essa zona. Caso ele superestime sua capacidade de atravessar a zona a tempo, o motorista da via principal irá desacelerar ou parar.

A extensão deste modelo resulta numa generalização na qual todos os veículos têm seu plano de aceleração definido para os próximos segundos, esse plano pode ser acessado por outros motoristas para modelar sua antecipação sobre o comportamento do carro observado.

2.3.4.2.6. Cooperative merging

Para tráfegos muito densos, nos casos de mudança de faixa, é possível que nem mesmo um aumento na agressividade do motorista viabilize a mudança. Para que a mudança seja possível, é preciso incluir dois pontos ao modelo. O primeiro é a influência da situação de mudança de faixa (lateral) no sentido longitudinal, no qual

ao não encontrar um espaço para se posicionar, o motorista adapta sua velocidade para a velocidade média da faixa objetivo com a intenção de diminuir a desaceleração necessária após a mudança para a faixa objetivo, caso a mudança não seja possível, ele desacelera até o próximo espaço na faixa objetivo;

O segundo são atitudes de cooperação dos motoristas na faixa objetivo, veículos na faixa objetivo são informados sobre um veículo que deseja mudar para a faixa em que estão, caso os motoristas desses veículos percebam que é possível a mudança de faixa na sua frente, esse motorista irá desacelerar para manter o espaço aberto ou até mesmo aumentar esse espaço.

2.3.5. Calibração e validação de modelos de microssimulação

2.3.5.1. Calibração

No processo de calibração, parâmetros são ajustados para que os resultados oferecidos pelo programa sejam similares ao observado.

Segundo Hollander e Liu (2008), quando um modelo é calibrado com dados agregados (volumes, velocidades, tempos de viagem ou tamanho de filas) há um risco de que o resultado tenha um fator comportamental limitante, no entanto, a justificativa para a grande frequência de calibração por dados agregados se dá pela consideração de que a intenção é somente verificar se o modelo representa bem a situação de interesse.

Há um número grande de parâmetros que podem ser alterados no modelo (estes parâmetros dependem do software usado; alguns softwares apresentam parâmetros diferentes de outros) e inúmeros métodos para analisar se os resultados extraídos do modelo representam com uma grande significância os dados retirados da realidade.

Ayala (2013) cita diversos trabalhos que buscaram definir quais parâmetros são mais relevantes para cada tipo de simulação (objetivos da simulação, trecho urbano ou rodovia, várias interseções ou uma única, etc). Para o *software* Vissim, que será utilizado neste trabalho, foram levantados 20 parâmetros importantes, sendo eles: distância de mudança de faixa; distância de parada; distância *look-head*; distância média de parada; distância mínima de observação; distância mínima lateral para $V=0$ km/h; distância mínima lateral para $V=50$ km/h; distribuição de velocidade

desejada; fluxo de saturação: parte aditiva da distância de segurança desejada; fluxo de saturação: parte multiplicativa da distância de segurança desejada; limite para entrar no modo *following*; número observado de veículos precedentes; regras de prioridade para mínimo tempo de *gap*; taxa de aceleração; tempo de espera antes da dispersão; tempo de *headway*; variação de *following*; mínimo *headway*; distância de parada de emergência; velocidade desejada.

Devido a esses números muito grandes de parâmetros e métodos, uma calibração englobando todos eles demandaria um tempo e uma capacidade de processamento que inviabilizaria o projeto de simulação. Portanto, uma escolha dos parâmetros mais importantes e representativos para cada finalidade do projeto deve ser feita para se obter uma calibração consistente e de qualidade com um processamento acessível.

2.3.5.2. Validação

O processo de validação de um modelo, segundo Hollander e Liu (2008), é o meio de se verificar o poder preditivo da calibração realizada e deve ser feita usando uma série de dados independente.

Existem diversas formas de se validar modelos, uma básica, mas não completa, é a inspeção visual para encontrar erros significantes. Outras formas são: usar medidas de 'fit' e validações estatísticas.

3. ÁREA DE ESTUDOS

3.1. O MUNICÍPIO DE OSASCO

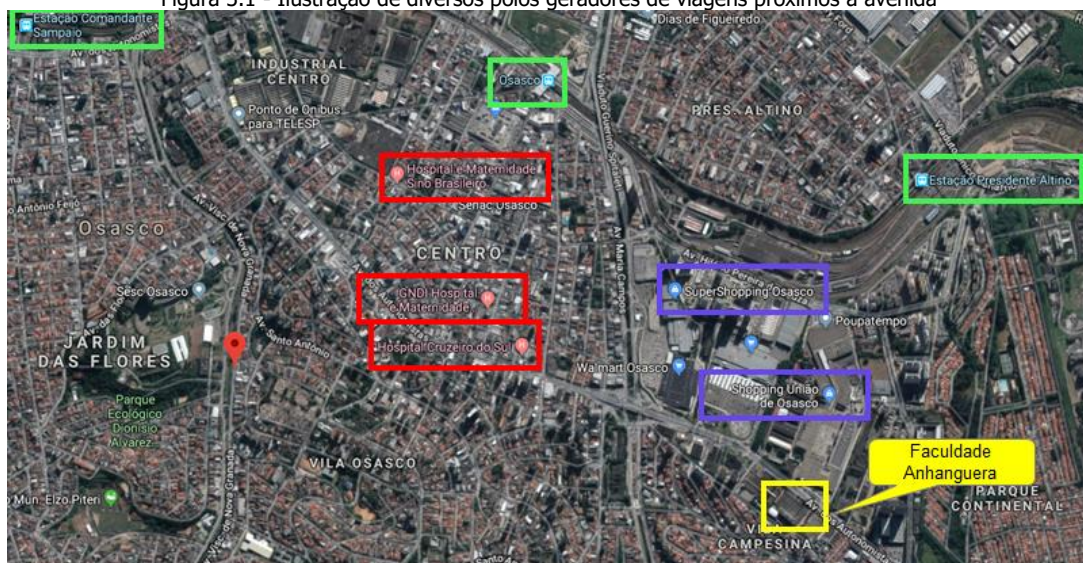
Com 666.740 habitantes (IBGE, 2010), a cidade de Osasco está localizada na Sub-região Oeste da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). É um município pequeno, com aproximadamente 66,95 km² de área, que, no entanto, apresenta intensas atividades econômica e social por se encontrar na maior metrópole brasileira e, portanto, possuir uma dinâmica que vai além dos seus limites territoriais. Dessa forma, os municípios vizinhos acabam por exercer pressões importantes que devem ser levados em conta no planejamento dos seus serviços públicos e de sua infraestrutura.

Em 07 de julho de 2016, sob a Lei nº 4765, Osasco foi a primeira cidade da região a instituir o Plano Municipal de Mobilidade Urbana (PMMU). Nele se encontram as características atuais das viagens realizadas no município e pode ser notado que 30% das viagens (cerca de 1,2 milhões) são realizadas pelo modo motorizado individual. É interessante destacar também que o município de São Paulo é o principal destino externo ao município, representando 41% do total de viagens.

3.2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS

A avenida em estudo é a Av. dos Autonomistas, que, segundo o PMMU, é um “eixo estruturador histórico do Município e grande concentrador de atividades comerciais e de serviços”, sendo uma das vias mais importantes e solicitadas do município.

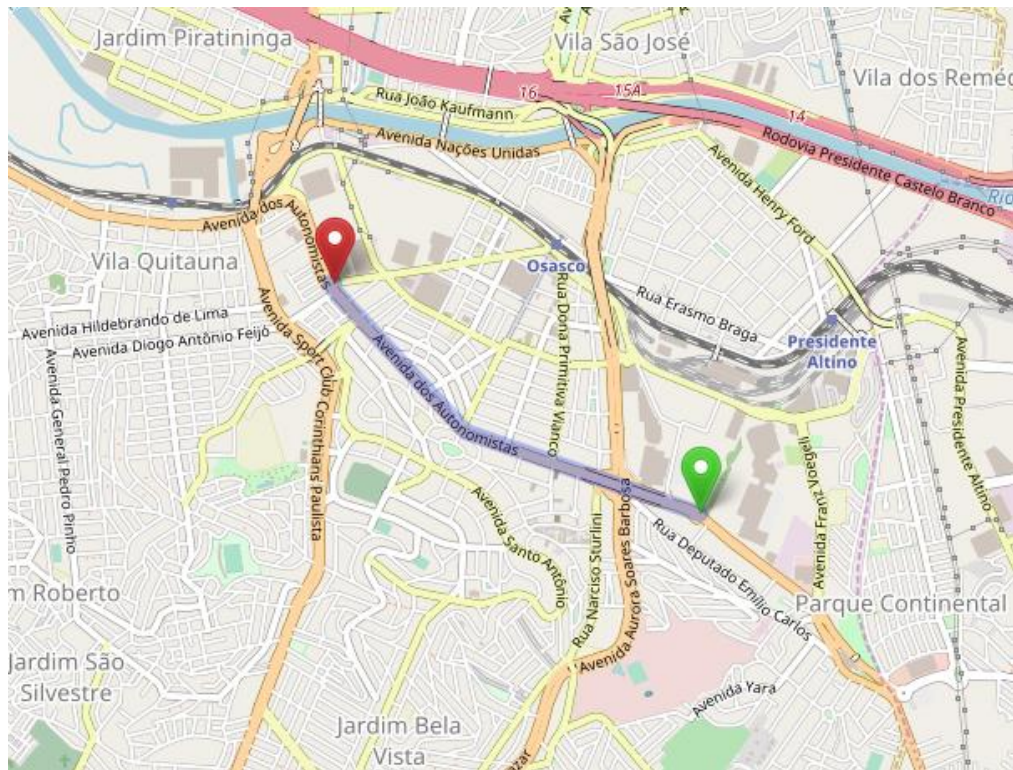
Figura 3.1 - Ilustração de diversos polos geradores de viagens próximos à avenida



Fonte: Google Maps

O estudo será delimitado pelo trecho entre o cruzamento com a Av. João Batista até o cruzamento com a Av. Franz Voegeli, entretanto será utilizado um trecho mais longo no modelo de simulação para melhorar as condições de contorno.

Figura 3.2 - Trecho de estudos na avenida dos autonomistas

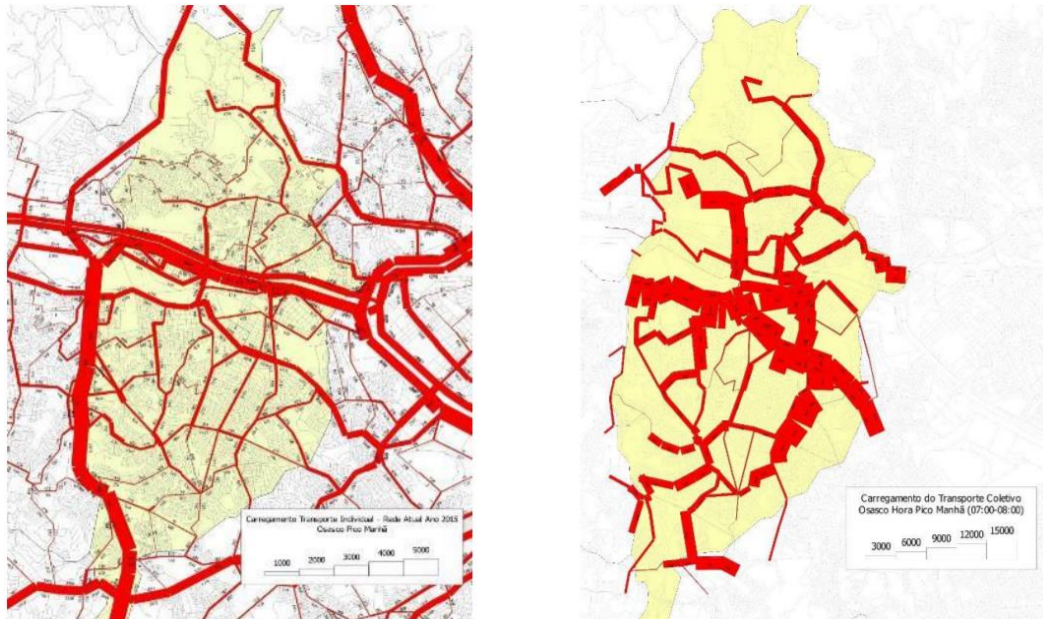


Fonte: **OpenStreetMaps**

Na própria avenida dos Autonomistas, os fluxos no sentido Capital são superiores ao sentido Carapicuíba e variam de 1.800 a 3.000 veículos por hora. Na altura da região central, os dois sentidos podem atingir 3.000 veículos por hora, justamente pela forte presença de comércio, serviços (principalmente saúde), escritórios e indústrias ali instalados. Tal número indica que a via se encontra no seu limite de saturação. Fluxos maiores apenas são observados nas rodovias que cruzam o município.

Com relação aos modos motorizados coletivos, o carregamento verificado é de 11.100 passageiros por hora pico manhã para os sistemas municipal e intermunicipal de ônibus, próximo à rua Primitiva Vianco. Existem poucas alternativas à Av. dos Autonomistas no sentido leste-oeste, o que corrobora para a situação de saturação observada na região.

Figura 3.3 - Município de Osasco: (Esquerda) Carregamento do sistema de transporte individual; (Direita) Carregamento do sistema de transporte coletivo



Fonte: Plano Municipal de Mobilidade Urbana de Osasco

Outro ponto de destaque é que a via apresenta três faixas por sentido, sendo as duas da esquerda para o trânsito comum e a da direita para ônibus. Embora esta última seja importante para dar prioridade ao transporte público, ela também interfere na dinâmica do comércio local e dificulta conversões à direita por veículos comuns.

Segundo constatado pelo grupo em visita feita à região, existem câmeras para a detecção do número de veículos nas vias, o que sugere o uso de coordenação semafórica em tempo real.

Entretanto, por meio das contagens dos tempos semafóricos realizada durante o período das 7h00min às 8h30min, não foi possível verificar mudanças nos tempos dos semáforos (estágios, ciclos, etc), embora tenha sido notável o aumento da demanda de veículos na via.

4. CONSTRUÇÃO DO MODELO DE MICROSSIMULAÇÃO

4.1. DADOS

4.1.1. Geometria da Via

A empresa GPO Sistran Engenharia, com autorização da Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos de São Paulo (EMTU), disponibilizou uma série de arquivos para ajudar no desenvolvimento do trabalho, dentre eles um inventário (disponível no Anexo A) do trecho estudado, contendo largura e número de faixa da via, intersecções, além de indicação da existência de faixas exclusivas de ônibus à direita, que foram utilizados no traçado do modelo.

Além disso, utilizou-se o *Google Earth* e o *Street View* do *Google*, e uma visita à campo para obter os dados sobre as vias transversais: número de faixas, largura da via e faixas de ônibus à direita.

4.1.2. Contagem de veículos

Os dados de contagem dos veículos foram feitos previamente pela empresa GPO Sistran Engenharia, de modo que os dados compreendidos entre os pontos 5 e 9 foram aproveitados pelo grupo para compor o volume de tráfego da região (ANEXO B).

O estudo feito pela empresa compreende contagens dos movimentos de acordo com cada tipo de veículo (carros, ônibus, motocicletas, pedestres, entre outros) em um período de três dias consecutivos nos horários de pico. Embora o estudo leve em conta os períodos de pico da manhã (HPM), do almoço (HPA) e da tarde (HPT), foram aproveitados somente os dados da hora pico da manhã (6h45min até 7h45min).

A escolha pelo horário se deve a uma conversa realizada com o arquiteto Vicente Petrocelli e o restante do grupo de microsimulação da CET, em visita feita no dia 14/06/2018. Segundo informado, o horário da manhã é o mais apropriado para a calibração de um modelo de microsimulação, uma vez que a origem e destino das viagens são mais conhecidas do que nos demais períodos do dia.

4.1.3. Tempos semafóricos

Os tempos semafóricos foram levantados em campo, cronometrando-se os tempos de cada foco luminoso nos estágios semafóricos, por duas vezes, de modo a se extrair uma média dos valores para a obtenção do resultado final (ANEXO C).

4.1.4. Pontos e linhas de ônibus

As localizações dos pontos de ônibus foram obtidas por intermédio de dados do *Google Maps* e do *Street View*. As linhas de ônibus que passam por cada um dos pontos foram determinadas a partir de dados da EMTU e da empresa de ônibus municipal de Osasco, a Viação Osasco. Dessa forma, obteve-se o trajeto desses veículos, o *headway* na hora-pico manhã, o tipo de linha de ônibus (municipal ou intermunicipal) e o sentido de trajeto.

Para a utilização dos dados na modelagem da rede, como nenhum ponto de ônibus é um terminal e a confiabilidade dos ônibus é baixa, adotou-se para o tempo de entrada dos veículos na rede, um número aleatório entre 0 e o *headway* associado à cada linha de ônibus, gerado aleatoriamente no *excel*. Os veículos que seguem o primeiro de sua linha apresentam o tempo de entrada na rede como uma soma desse valor aleatório obtido com o *headway*. Os dados podem ser visualizados no ANEXO D.

4.2. CONSTRUÇÃO DO MODELO

4.2.1. Geometria da Via

Como já citado anteriormente, os dados da geometria da via (largura e número de faixas, localização de faixas exclusivas de ônibus, etc) foram utilizados de acordo com as informações disponíveis no inventário da via disponibilizado pela empresa GPO Sistran Engenharia.

Além disso, o Vissim permite o uso de imagem de satélite do Bing como imagem de fundo, que foi usado como guia para o traçado das vias por meio de *links* (vias) e conectores (*links* que ligam vias).

4.2.2. Vehicle Inputs

Para a inserção de veículos na rede construída no Vissim, utiliza-se a função *vehicle inputs*. Por meio dela, é possível colocar um volume/hora de veículos no início dos *links*. Os links escolhidos para receber *vehicle inputs* foram a Av. dos Autonomistas e todas as vias afluentes a ela.

Para a determinação do valor numérico desses volumes, utilizou-se a média dos dois últimos dias de contagem na HPM dos pontos 5 ao 9, o primeiro dia de contagem será usado como dado independente para a validação do modelo. Entre os pontos de contagem utilizados, existem vias afluentes transversais que não estão contempladas na pesquisa de contagem utilizada como base para este trabalho. Portanto, para essas vias elaborou-se um método para inferir o fluxo de veículos afluente ou efluente delas, equilibrando o volume na via obtido entre os pontos de contagem.

O método elaborado funciona da seguinte forma:

- a) Calcula-se a variação de volume entre dois pontos de contagem i e j , sendo j o ponto mais a frente no sentido do fluxo;
- b) Determinam-se as vias transversais afluentes e efluentes e o número de faixas de cada uma;
- c) Determina-se uma taxa de renovação de fluxo como uma porcentagem aleatória do delta volume, calculada como um valor entre a porcentagem de veículos que saiu no ponto i , em relação ao volume que seguia naquele sentido, e a porcentagem de veículos que saiu no ponto j , em relação ao volume que seguia naquele sentido;
- d) Os veículos que deixam a via entram como um volume a mais na próxima via afluente, ou na anterior, no caso de não haver próxima via; já os veículos que entram na via saem na próxima via efluente, ou na anterior, no caso de não haver próxima via;
- e) Para distribuir a variação de volume entre as vias afluentes ou efluentes, calculou-se a exponencial do número de faixas de cada via naquele sentido e o quanto esse valor representa do total para as vias afluentes ou efluentes daquele fluxo. Obtêm-se o volume multiplicando a porcentagem pela variação do volume entre i e j .

- f) O volume afluente (ou efluente) final é a somatória da distribuição pelo número de faixas somada com a reposição da taxa de renovação, quando houver.

4.2.3. Vehicle Routes

Para cada interseção em que havia a possibilidade de mais de um movimento, foram traçadas as possíveis rotas, colocando como *input* a proporção de veículos que realiza cada um dos movimentos, obtida tanto a partir das contagens, quanto da distribuição realizada.

4.2.4. Proporção de veículos

Durante a inserção de veículos no modelo, deve-se determinar qual será a composição do tráfego de cada via. Para isso, utilizou-se uma proporção média de cada tipo de veículo para vias transversais e para a via principal.

Como a proporção média dos veículos nas vias é próxima, adotou-se um valor médio entre os dois valores para colocar no Vissim.

Tabela 4.1 - Proporção dos veículos adotada no modelo.

Proporção de Veículos	Automóveis	Motos	Caminhões
Avenida dos Autonomistas	90,55%	8,51%	0,94%
Transversais	91,41%	7,38%	1,21%
Distribuição adotada no modelo	90,97%	7,95%	1,08%

Fonte: Elaboração pessoal (baseado em dados da EMTU).

Nota-se que não foi considerado o volume de ônibus na composição do fluxo, já que esse volume está contemplado nas linhas de ônibus, que são inseridas no modelo em outra etapa.

4.2.5. Semáforos

A partir dos dados obtidos em campo, calculou-se o tempo de início e fim de cada estágio semafórico, de forma a preencher o diagrama de estágios disponível como aplicação do Vissim para cadastrar semáforos.

4.2.6. Área de Conflito

No caso de vias não semaforizadas, é preciso determinar, na área de conflito, a prioridade das vias; no caso do modelo, a via com prioridade é sempre a Av. dos Autonomistas.

4.2.7. Driving Behavior

Segundo o MARTE (2017), o melhor comportamento para representar o motorista brasileiro é o *cycle-tracking*, devido à peculiaridade comportamental de ultrapassagens tanto da faixa da esquerda quanto da direita, conforme podemos observar no dia-a-dia.

Além disso, alteraram-se alguns outros parâmetros antes de iniciar a calibração, de forma a aproximar o comportamento visual da simulação com o comportamento real observado.

Os parâmetros alterados foram:

- a) Mudança do modelo de *car-following* para W74;
- b) Mudança dos fatores multiplicativos e aditivos da distância de segurança – *ax_mult* e *ax_add*, respectivamente – adotando valores equivalentes a metade dos usuais (*ax_mult* = 1,5 m e *ax_add* = 1,0 m), devido ao fato de que os motoristas ficam mais próximos em situações de congestionamentos, como é o caso da via estudada;
- c) Devido a alteração destes dois parâmetros, alterou-se a distância média de parada (*ax* = 1,0 m);
- d) Decisão de travessia no semáforo, onde foi adotado o parâmetro de “*one decision*”, dado que a decisão de travessia não é usualmente constante e cautelosa;

- e) Decisão do motorista quando avista a condição de amarelo para vermelho, adotou-se “*go (same as green)*”, devido ao comportamento de acelerar ao ver a fase amarela;
- f) Distância lateral em movimento, adotou-se 0,8 m, pois as motos passam mais próximas aos demais automóveis.

4.2.8. Contadores

Para conseguir avaliar se o volume simulado é próximo ao volume real observado, colocaram-se contadores nos links do modelo medindo os movimentos observados nas contagens dos pontos 5 ao 9.

4.3. CALIBRAÇÃO DO MODELO

O modelo pode ter dois focos para a calibração: *driving behavior* (comportamento dos motoristas) ou *route choosing* (escolha de rotas). Como a área simulada é, essencialmente, a avenida dos Autonomistas, não é o objetivo deste trabalho verificar novas escolhas de rotas para os motoristas. Além disso, os dados disponíveis possibilitam apenas uma análise e calibração baseadas no comportamento dos motoristas.

Portanto, utilizou-se como base para escolha dos parâmetros e método de avaliação dos resultados o trabalho de Park e Schneeberger (2003), que é um estudo de uma via arterial nos Estados Unidos com 12 interseções semaforizadas, com a utilização do software Vissim para simulação.

Os parâmetros utilizados, no presente trabalho, para calibração foram:

- Distância de parada de emergência (*Emergency Stopping Distance*)
- Distância de mudança de faixa (*Lane-Change Distance*)
- Distribuição de velocidade desejada (*Desired Speed Distribution*)
- Número observado de veículos precedentes (*Number of Observed Preceding Vehicles*)
- Distância média de parada (*Average Standstill Distance*)
- Mínimo headway (*Minimum Headway*)

Com a disponibilidade somente dos dados de contagem (volume) da via, a medida de performance utilizada na calibração foi o volume médio dos dois últimos

dias de contagem da hora pico da manhã; e na validação, a medida de performance utilizada foi o volume médio da hora pico da manhã do primeiro dia de contagem, já que, por serem dias diferentes, são medidas independentes.

4.3.1. Parâmetros a serem calibrados

4.3.1.1. Distância de parada de emergência (Emergency Stopping Distance)

A distância de parada de emergência define o ponto limite para que seja realizada a mudança de faixa com a finalidade de possibilitar que o veículo siga na sua rota planejada.

O valor padrão desse parâmetro no Vissim é 5,0 m. São razoáveis variações até 7,0 m. No processo de calibração, dado que o valor mínimo no programa é de 5,0 m, o parâmetro variará entre 5,0 m, 6,0 m ou 7,0 m.

4.3.1.2. Distância de mudança de faixa (Lane-Change Distance)

A distância de mudança de faixa é a distância para a interseção em que os veículos começam a tentar mudar de faixa para que consigam seguir a sua rota planejada (virando na interseção).

O valor padrão desse parâmetro é 200 m. São aceitáveis valores entre 150 e 300 m. No processo de calibração, será utilizado este parâmetro como 150 m, 225 m ou 300 m.

4.3.1.3. Distribuição de velocidade desejada (Desired Speed Distribution)

A velocidade desejada é aquela que os veículos desejam trafegar se não houvesse outros veículos que o impedissem.

Quanto maior a diferença entre as velocidades desejadas pelos veículos que trafegam pela via, maior a probabilidade de ocorrer pelotões no tráfego.

A velocidade máxima permitida na via é de 60 km/h, portanto a velocidade desejada pelos motoristas deve oscilar perto deste valor. Para este trabalho, foi usada a variação de 40 a 60 km/h na distribuição de velocidade desejada. No

processo de calibração, será utilizado este parâmetro como 40 km/h, 50 km/h ou 60 km/h.

4.3.1.4. *Número observado de veículos precedentes (Number of Observed Preceding Vehicles)*

O número observado de veículos precedentes representa o número de veículos a frente que o motorista observa para tomar as decisões de aceleração e desaceleração.

O valor padrão do software é de 2 veículos. Neste estudo foram usados os valores de 1, 2 e 3 veículos. No processo de calibração, este parâmetro variará entre 1, 2 ou 3.

4.3.1.5. *Distância média de parada (Average Standstill Distance)*

A distância média de parada, já citada acima como ax , representa a distância desejada entre veículos parados, entre o veículo e a faixa de retenção, etc.

O valor padrão do Vissim é 2,0 m. Um intervalo aceitável de valores é de 1,0 a 3,0 m. No processo de calibração, para se adaptar ao comportamento dos motoristas brasileiros, será utilizado este parâmetro como 0,5 m, 1,0 m ou 1,5 m, valores diferentes dos citados no trabalho de Park e Schneeberger.

4.3.1.6. *Mínimo headway (Minimum Headway)*

O mínimo *headway* é a mínima distância para o veículo à frente necessária para que possa ocorrer a mudança de faixa.

O valor padrão é 0,5 m. O intervalo aceitável para este parâmetro é de 0,5 a 7,0 m. No processo de calibração, será utilizado este parâmetro como 0,5 m, 4,0 m ou 7,0 m.

4.3.2. **Método de calibração e resultados**

As calibrações normalmente são feitas de forma automática, a partir de algum algoritmo executado em computadores (algoritmo genético, por exemplo). Porém,

em modelos que simulam uma pequena região, a calibração pode ser feita de forma manual (Hollander e Liu, 2008), como é o caso deste trabalho.

Portanto, como o modelo será calibrado manualmente, é necessário que se tenham poucos parâmetros de calibração (Hollander e Liu, 2008), motivo pela qual foi reduzido para 6 o número de parâmetros utilizados na calibração, em relação aos parâmetros propostos no trabalho de Park e Schneeberger, que eram 7.

Para a calibração do modelo, será utilizada uma adaptação do método apresentado por Park e Schneeberger: uma regressão linear com os parâmetros supracitados como variáveis independentes e o uma medida de performance (volume de veículos na hora pico, no caso deste trabalho) como a variável dependente. Nesta regressão linear, todos os parâmetros escolhidos são calibrados simultaneamente, como sugere Hollander e Liu, para que um ajuste melhor não seja atingido alterando parâmetros errados.

Diferentemente de Park e Schneeberger, a regressão linear feita neste trabalho utilizará a minimização da soma dos erros quadráticos, apresentada na equação 11 entre o volume medido no programa e o volume calculado para cada ponto de contagem,

$$\text{mín} \left(\sum_{i=1}^N (V_{calc_i} - V_{med_i})^2 \right) \quad (14)$$

em que o volume é calculado através da seguinte equação (fórmula da regressão linear):

$$V_{calc} = \alpha \cdot x_1 + \beta \cdot x_2 + \gamma \cdot x_3 + \delta \cdot x_4 + \mu \cdot x_5 + \rho \cdot x_6 + \varphi \quad (15)$$

onde:

V_{med} : Volume medido pelo software na simulação (output da simulação)

V_{calc} : Volume calculado pela regressão linear

$\alpha, \beta, \gamma, \delta, \mu, \rho, \varphi$: Coeficientes da regressão

x_1 : Distância de parada de emergência (*Emergency Stopping Distance*)

x_2 : Distância de mudança de faixa (*Lane-Change Distance*)

x_3 : Distribuição de velocidade desejada (*Desired Speed Distribution*)

x_4 : Número observado de veículos precedentes (*Number of Observed Preceding Vehicles*)

x_5 : Distância média de parada (*Average Standstill Distance*)

x_6 : Mínimo headway (*Minimum Headway*)

Serão simuladas diversas combinações de parâmetros, sendo que cada parâmetro poderá variar entre três valores (citados anteriormente). Para chegar a essas combinações, será utilizada uma simulação de Monte Carlo para cada parâmetro, em que serão gerados números aleatórios entre 0 e 1; quando esse número estivesse entre 0 e $\frac{1}{3}$, o valor do parâmetro naquela combinação seria o mais baixo; quando estivesse entre $\frac{1}{3}$ e $\frac{2}{3}$, o valor do parâmetro seria o valor intermediário e por fim, quando o número aleatório estivesse entre $\frac{2}{3}$ e 1, o valor do parâmetro seria o mais alto.

Por exemplo, para o parâmetro “Distância de parada de emergência”, os valores possíveis para combinação eram 5,0 m, 6,0 m ou 7,0 m; portanto, se o número aleatório gerado fosse 0,22, o valor do parâmetro que entraria nessa combinação seria 5,0 m.

Cada combinação será simulada 3 vezes (para absorver variações estatísticas), e tirada a média do volume medido pelo programa em cada ponto de contagem (V_{med}). Com todos esses valores, serão obtidos os coeficientes da regressão linear, através do método citado anteriormente, utilizando a ferramenta *Solver* do software *Excel*.

Como resultado da calibração, poderão ser obtidas as equações de regressão para cada ponto de contagem e para cada sentido no seguinte formato:

$$P5 - \text{Sentido São Paulo: } V_{calc} = \alpha \cdot x_1 + \beta \cdot x_2 + \gamma \cdot x_3 + \delta \cdot x_4 + \mu \cdot x_5 + \rho \cdot x_6 + \varphi$$

$$P5 - \text{Sentido Carapicuíba: } V_{calc} = \alpha \cdot x_1 + \beta \cdot x_2 + \gamma \cdot x_3 + \delta \cdot x_4 + \mu \cdot x_5 + \rho \cdot x_6 + \varphi$$

$$P6 - \text{Sentido São Paulo: } V_{calc} = \alpha \cdot x_1 + \beta \cdot x_2 + \gamma \cdot x_3 + \delta \cdot x_4 + \mu \cdot x_5 + \rho \cdot x_6 + \varphi$$

$$P6 - \text{Sentido Carapicuíba: } V_{calc} = \alpha \cdot x_1 + \beta \cdot x_2 + \gamma \cdot x_3 + \delta \cdot x_4 + \mu \cdot x_5 + \rho \cdot x_6 + \varphi$$

$$P7 - \text{Sentido São Paulo: } V_{calc} = \alpha \cdot x_1 + \beta \cdot x_2 + \gamma \cdot x_3 + \delta \cdot x_4 + \mu \cdot x_5 + \rho \cdot x_6 + \varphi$$

$$P7 - \text{Sentido Carapicuíba: } V_{calc} = \alpha \cdot x_1 + \beta \cdot x_2 + \gamma \cdot x_3 + \delta \cdot x_4 + \mu \cdot x_5 + \rho \cdot x_6 + \varphi$$

$$P8 - \text{Sentido São Paulo: } V_{calc} = \alpha \cdot x_1 + \beta \cdot x_2 + \gamma \cdot x_3 + \delta \cdot x_4 + \mu \cdot x_5 + \rho \cdot x_6 + \varphi$$

$$P8 - \text{Sentido Carapicuíba: } V_{calc} = \alpha \cdot x_1 + \beta \cdot x_2 + \gamma \cdot x_3 + \delta \cdot x_4 + \mu \cdot x_5 + \rho \cdot x_6 + \varphi$$

$$P9 - \text{Sentido São Paulo: } V_{calc} = \alpha \cdot x_1 + \beta \cdot x_2 + \gamma \cdot x_3 + \delta \cdot x_4 + \mu \cdot x_5 + \rho \cdot x_6 + \varphi$$

P9 - Sentido Carapicuíba: $V_{calc} = \alpha \cdot x_1 + \beta \cdot x_2 + \gamma \cdot x_3 + \delta \cdot x_4 + \mu \cdot x_5 + \rho \cdot x_6 + \varphi$

Para se determinarem os valores dos parâmetros que tornam os dados de saída dos modelos os mais próximos dos dados reais (dados da contagem), será resolvida a seguinte equação:

$$[V_{real_i}] = \alpha_i \cdot x_1 + \beta_i \cdot x_2 + \gamma_i \cdot x_3 + \delta_i \cdot x_4 + \mu_i \cdot x_5 + \rho_i \cdot x_6 + \varphi_i$$

Com i variando de 1 a 10 (uma equação para cada sentido e ponto de contagem).

Essa equação será resolvida, mais uma vez, diminuindo a somatória dos erros quadráticos entre o volume calculado com a equação e os volumes extraídos dos dados de volume em cada ponto de contagem. Utilizou-se o *Solver* do Excel, porém desta vez com os valores dos parâmetros variando (dentro do intervalo aceitável para cada um, como já mencionado anteriormente) e os coeficientes fixos (já calibrados).

Após chegar a esses valores dos parâmetros, o modelo será simulado com esses parâmetros para verificar o resultado extraído do modelo e compará-lo com os valores das contagens através da plotagem dos dados em um gráfico do volume extraído no modelo vs volume das contagens reais e extração do R^2 para verificar quanto dos dados reais são explicados pelo modelo.

4.4. VALIDAÇÃO DO MODELO

Para a validação do modelo, será feita a simulação, com os parâmetros calibrados, utilizando os dados do primeiro dia de contagem, pois são dados independentes daqueles usados para a calibração; serão extraídos do programa os volumes nos pontos em que havia dados de contagem para comparação.

Com esses dados, será possível plotar em um gráfico os volumes apresentados pelo modelo e os volumes reais das contagens. O R^2 da regressão linear entre as duas variáveis do gráfico será avaliado para verificar se o modelo representa adequadamente a realidade.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta primeira etapa do projeto, propôs-se, a princípio, realizar um estudo bibliográfico consistente que englobe tanto questões relativas à engenharia e gestão de tráfego, quanto os aspectos de modelagem, de modo que o conhecimento adquirido fosse aproveitado para o desenvolvimento de um modelo de microsimulação. Nesse sentido, vale ressaltar que parte do apresentado servirá como apoio para discussões que serão elaboradas na segunda etapa de projeto.

Além disso, houve uma caracterização da área de estudos com o apoio de planos de mobilidade e de visita à região estudada. Entretanto, nesse ponto existiram dificuldades em conseguir informações direto com os órgãos de trânsito responsáveis pela região, uma vez que a prefeitura local não se mostrou tão receptiva a um contato, o que acrescentaria na identificação de problemas do entorno da Av. dos Autonomistas, bem como dos métodos de gestão de tráfego empregados em Osasco. Por este motivo, pretende-se realizar uma visita à prefeitura de Osasco na etapa seguinte.

Outro proposta de destaque tem relação com o modelo de microsimulação, cujo objetivo foi a entrega da construção, calibração e validação do modelo para a futura simulação da gestão semafórica em tempo real. No entanto, não foi possível completar esse objetivo devido à grande dificuldade de se modelar uma via congestionada. Foram feitas diversas simulações para obter parâmetros e calibrar o modelo e mesmo assim os resultados não foram satisfatórios, isto é, próximos à realidade observada. Assim, como primeira proposta para a próxima etapa do projeto, deve-se finalizar a calibração, observando pontos que visualmente ainda distam da realidade como: tempo de reação dos motoristas e semáforos com a fase de pedestres em ciclos alternados, além de se buscar novas fontes bibliográficas de forma a melhorar o processo apresentado acima.

Por fim, ainda para a próxima etapa do projeto, pretende-se visitar a CET e a prefeitura de Osasco, propor, simular e avaliar cenários alternativos ao atual para testar a resiliência da gestão semafórica em tempo real, como por exemplo a instalação de um novo *shopping* na região, levantar uma discussão a respeito das facilidades e dificuldades de implantação de uma gestão semafórica em tempo real nas cidades brasileiras e um estudo de caso de ao menos uma região que emprega os “semáforos inteligentes”.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AYALA, R. J. L. **Procedimento para identificação dos principais parâmetros dos microsimuladores a serem considerados no processo de calibração.** Universidade de Brasília, 2013.

BARCELÓ, J. **Models, Traffic Models, Simulation, and Traffic Simulation.** In:_. Fundamentals of traffic Simulation. 1. ed. Barcelona: Springer, 2010. cap.1, pg.1-62.

BERNARDINIS, M. A. P. **Apostila – Engenharia de Tráfego.** Universidade Federal do Paraná, 2018.

BETHONICO, F. C. **Calibração de simuladores microscópicos de tráfego através de medidas macroscópicas.** Dissertação (Pós Graduação em Engenharia de Transportes) - Departamento de Engenharia de Transportes, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.

CINTRA, M. **Os custos dos congestionamentos na cidade de São Paulo.** Escola de Economia - Fundação Getúlio Vargas, 2014.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de projeto geométrico de travessias urbanas.** 2010

DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO. **CTB - Código de trânsito Brasileiro:** Instituído pela Lei nº 9.503 de 23 de Setembro de 1997 - Brasília.

_____. **Manual de semáforos.** 2.ed. Brasília, 1984 .

_____. **Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito: Volume v - Sinalização Semafórica.** 2014

FELLENDORF, M.; VORTISCH, P. **Microscopic Traffic Flow Simulator VISSIM.** In:BARCELÓ, J.(Orgs.). Fundamentals of traffic Simulation. 1. ed. Barcelona: Springer, 2010. cap.2, pg.63-94.

HICKS, B.; CARTER, M. **What have we learned about ITS? Arterial management.** In What have we learned about intelligent transportation system?, 2000, Washington D.C. Federal highway administration.

HOLLANDER, Y. ; LIU, R. **The principles of calibrating traffic microsimulation models.** Revista Transportation, Washington, v.35, n.3, pg.347-362, Maio de 2008.

LACERDA, V. M. ; NETO, M. M. C. **Considerações sobre a calibração do modelo de car-following do vissim para vias arteriais urbanas.** In: Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes. [2014?], Curitiba. Artigo. Curitiba: ed. Anpet, [2014?]. Pg.1-12.

LEITE, G.M.L.; **Engenharia de tráfego: métodos de pesquisa, características de tráfego, interseções e sinais luminosos.** 1. ed. Brasil. 1980.

MAIA, F. V. B. **Calibração e validação de modelos de meso e microsimulação do tráfego para avaliação de intervenções tático-operacionais na malha viária urbana.** 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

MARTE, C. H. **Atividade prática 3 (lab_ITS_03): VISSIM (Construção de uma rede de simulação).** São Paulo, Roteiro elaborado para a disciplina Sistemas inteligentes de Transporte (ITS) da POLI-USP, 2017.

_____. **Atividade prática 4 (lab_ITS_04): VISSIM (Construção de uma rede de simulação).** São Paulo, Roteiro elaborado para a disciplina Sistemas inteligentes de Transporte (ITS) da POLI-USP, 2017.

MENESES, H. B.; LEANDRO, C. H. P.; LOUREIRO, C. F. G. **Indicadores de desempenho para sistemas centralizados de controle do tráfego urbano em tempo real.** CTAFOR, Fortaleza. 2018.

NETO, J.C. **Semáforo ser ou não ser inteligente?:** Uma comparação entre o controle semaforico em tempos fixos e o em tempo real. São Paulo: Companhia de Engenharia de Tráfego - CET, 2016

ORTÚZAR, J. D.; WILLUMSEN, L. G. **Modelling Transport.** 4. ed. Reino Unido: WILEY. 2011.

PARK, B. e SCHNEEBERGER, D. **Microscopic Simulation Model Calibration and Validation.** Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1856. Transportation Research Board of The National Academies, Washington D.C. 2003, pp. 185-192.

PIETRANTONIO, H. **Notas de aula sobre engenharia de tráfego.** São Paulo: Departamento de Engenharia de Transportes da POLI-USP, 2018.

PREFEITURA MUNICIPAL DE OSASCO. **Plano Municipal de Mobilidade Urbana de Osasco.** 2016.

PTV AG. **PTV Vissim 10 user manual.** Karlsruhe: PTV AG, 2018, 1151 p.

SINDIPEÇAS - SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE COMPONENTES PARA VEÍCULOS AUTOMOTORES. **Relatório da frota circulante.** São Paulo, 2018.

STEVANOVIC, A. **Adaptive Traffic Control Systems:** Domestic and foreign state of practice. 1.ed. Washington: NCHRP, 2010

VILANOVA, L. M. **Boletim Técnico 38 - O Controle de Semáforos em Tempo Real.** São Paulo: Companhia de Engenharia de Tráfego - CET, 2005.

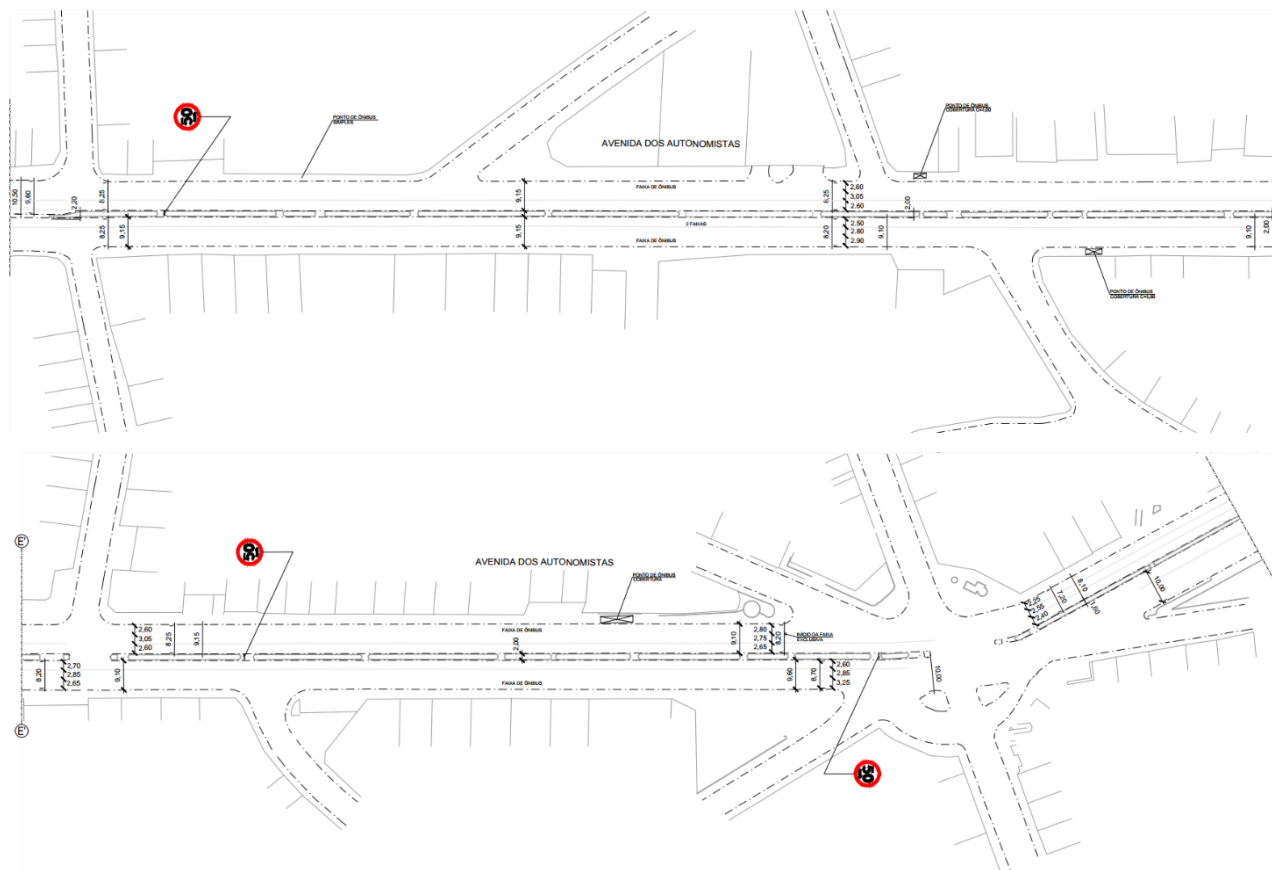
WEBSTER, F. V. **Traffic Signal settings, Road Research Technical, Paper No.39.** Londres: HSMO, 1958.

WEBSTER, F. V.; COBBE, B. M. **Traffic Signals, Road Research Technical,**

Paper No. 56. Londres: HSMO, 1966.

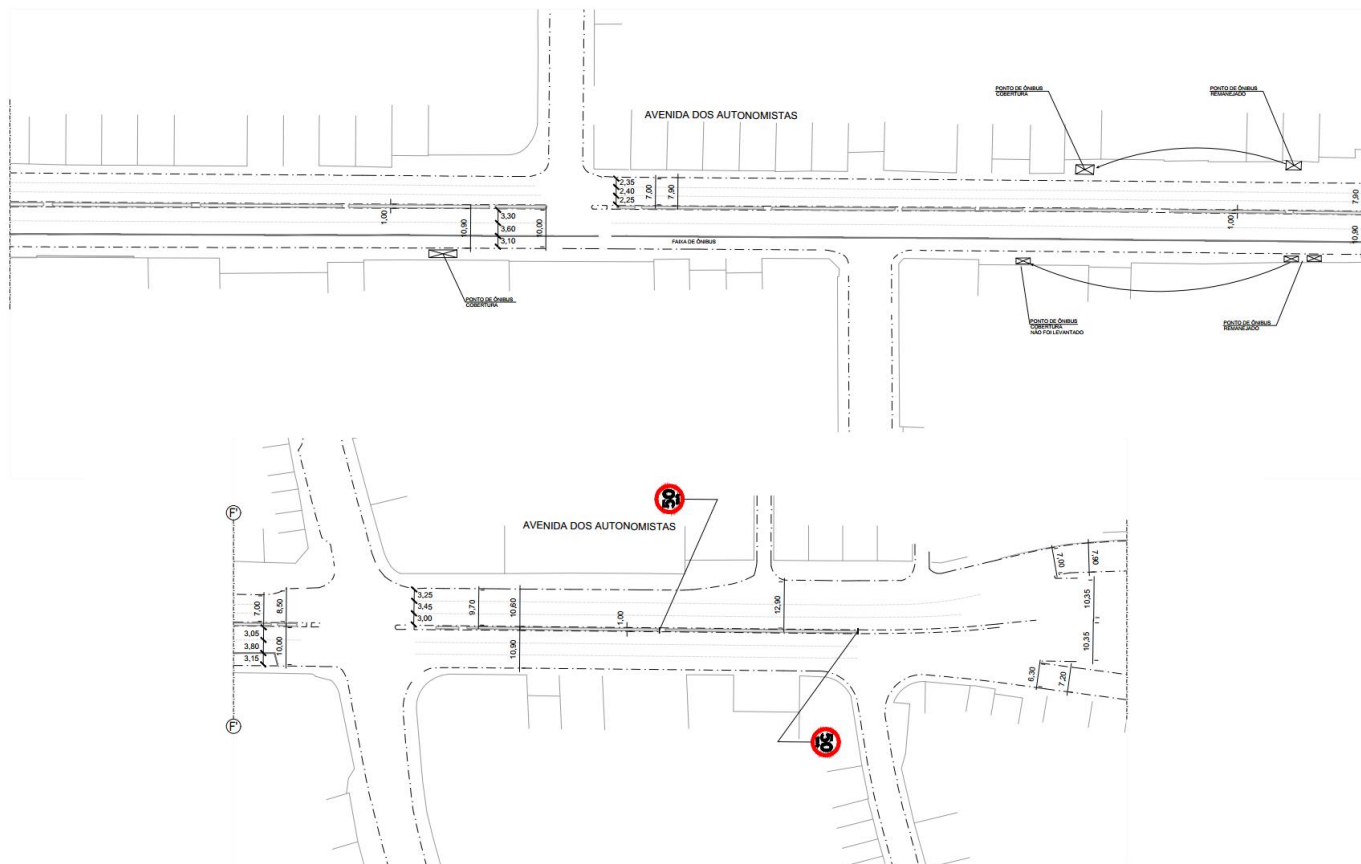
ANEXO A - INVENTÁRIO FÍSICO DO SISTEMA VIÁRIO

Figura A.2 - Inventário Físico do Sistema Viário – Folha 2



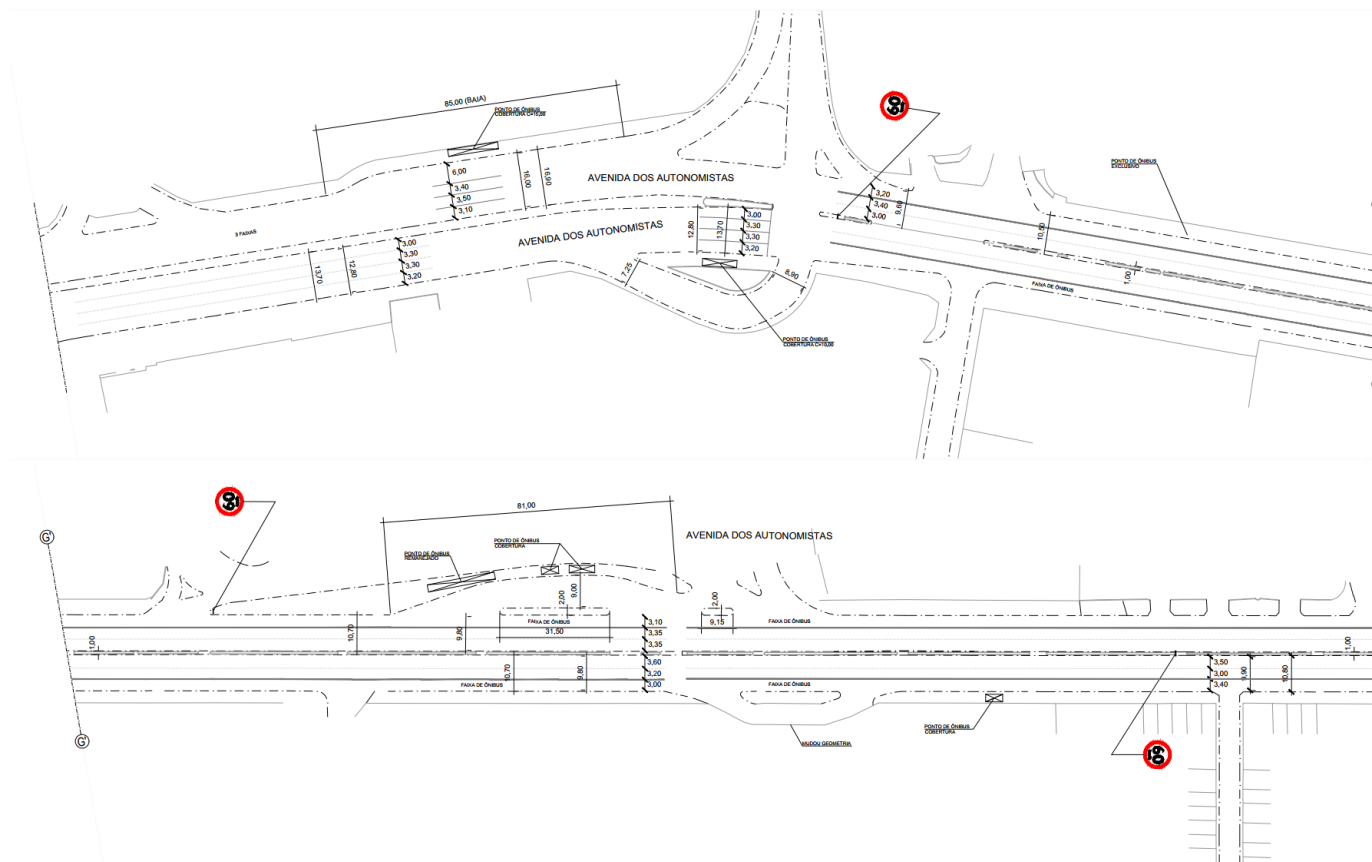
Fonte: GPO/Sistran Engenharia, 2018. Sem escala.

Figura A.3 - Inventário Físico do Sistema Viário – Folha 3



Fonte: GPO/Sistran Engenharia, 2018. Sem escala.

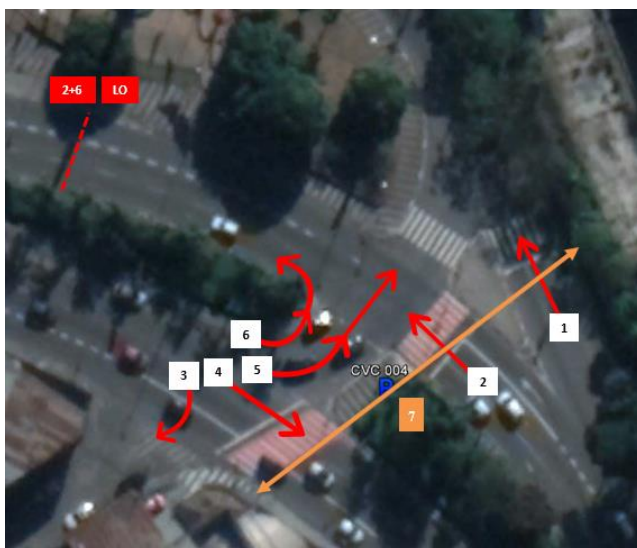
Figura A.5 - Inventário Físico do Sistema Viário – Folha 5



Fonte: GPO/Sistran Engenharia, 2018. Sem escala.

ANEXO B – CONTAGEM DOS VEÍCULOS

Figura B.1 - Movimentos do ponto 4



Fonte: GPO/Sistran Engenharia, 2018.

Tabela B.0.1 - Contagem de veículos na HPM do ponto 4

HPM							
20/02/2018	Automóveis	Motocicletas	Caminhões	Ônibus Padron	Micro Ônibus	Bicicletas	Pedestres
OSA_PC04_M1	177	6	4	3	0	0	0
OSA_PC04_M2	595	58	6	90	1	5	0
OSA_PC04_M3	91	8	4	1	1	0	0
OSA_PC04_M4	1.469	227	20	139	0	10	0
OSA_PC04_M5	777	45	13	16	2	0	0
OSA_PC04_M6	112	23	1	3	1	0	0
OSA_PC04_M7	0	0	0	0	0	0	10
21/02/2018	Automóveis	Motocicletas	Caminhões	Ônibus Padron	Micro Ônibus	Bicicletas	Pedestres
OSA_PC04_M1	164	0	11	3	0	0	0
OSA_PC04_M2	568	60	10	82	3	2	0
OSA_PC04_M3	108	8	3	2	2	0	0
OSA_PC04_M4	1.481	200	24	134	5	7	0
OSA_PC04_M5	874	70	12	22	3	0	0
OSA_PC04_M6	99	20	2	2	2	0	0
OSA_PC04_M7	0	0	0	0	0	0	16
22/02/2018	Automóveis	Motocicletas	Caminhões	Ônibus Padron	Micro Ônibus	Bicicletas	Pedestres
OSA_PC04_M1	153	3	22	2	0	0	0
OSA_PC04_M2	581	55	10	83	2	4	0
OSA_PC04_M3	102	9	8	1	1	0	0
OSA_PC04_M4	1.487	204	26	120	5	5	0
OSA_PC04_M5	670	40	11	18	4	0	0
OSA_PC04_M6	88	20	3	2	2	0	0
OSA_PC04_M7	0	0	0	0	0	0	18
MÉDIA	Automóveis	Motocicletas	Caminhões	Ônibus Padron	Micro Ônibus	Bicicletas	Pedestres
OSA_PC04_M1	165	3	12	3	0	0	0
OSA_PC04_M2	581	58	9	85	2	4	0
OSA_PC04_M3	100	8	5	1	1	0	0
OSA_PC04_M4	1.479	210	23	131	3	7	0
OSA_PC04_M5	774	52	12	19	3	0	0
OSA_PC04_M6	100	21	2	2	2	0	0
OSA_PC04_M7	0	0	0	0	0	0	15

Fonte: GPO/Sistran Engenharia, 2018.

Figura B.2 - Movimentos do ponto 5



Fonte: GPO/Sistran Engenharia, 2018.

Tabela B.0.2 - Contagem de veículos na HPM do ponto 5

HPM							
27/02/2018	Automóveis	Motocicletas	Caminhões	Ônibus Padron	Micro Ônibus	Bicicletas	Pedestres
OSA_PC05_M1	612	61	3	65	1	1	0
OSA_PC05_M2	560	42	1	6	0	3	0
OSA_PC05_M3	110	7	4	29	0	1	0
OSA_PC05_M4	647	69	13	75	1	1	0
OSA_PC05_M5	909	106	18	72	1	6	0
OSA_PC05_M6	0	0	0	0	0	0	0
OSA_PC05_M7	0	0	0	0	0	0	17
OSA_PC05_M8	0	0	0	0	0	0	29

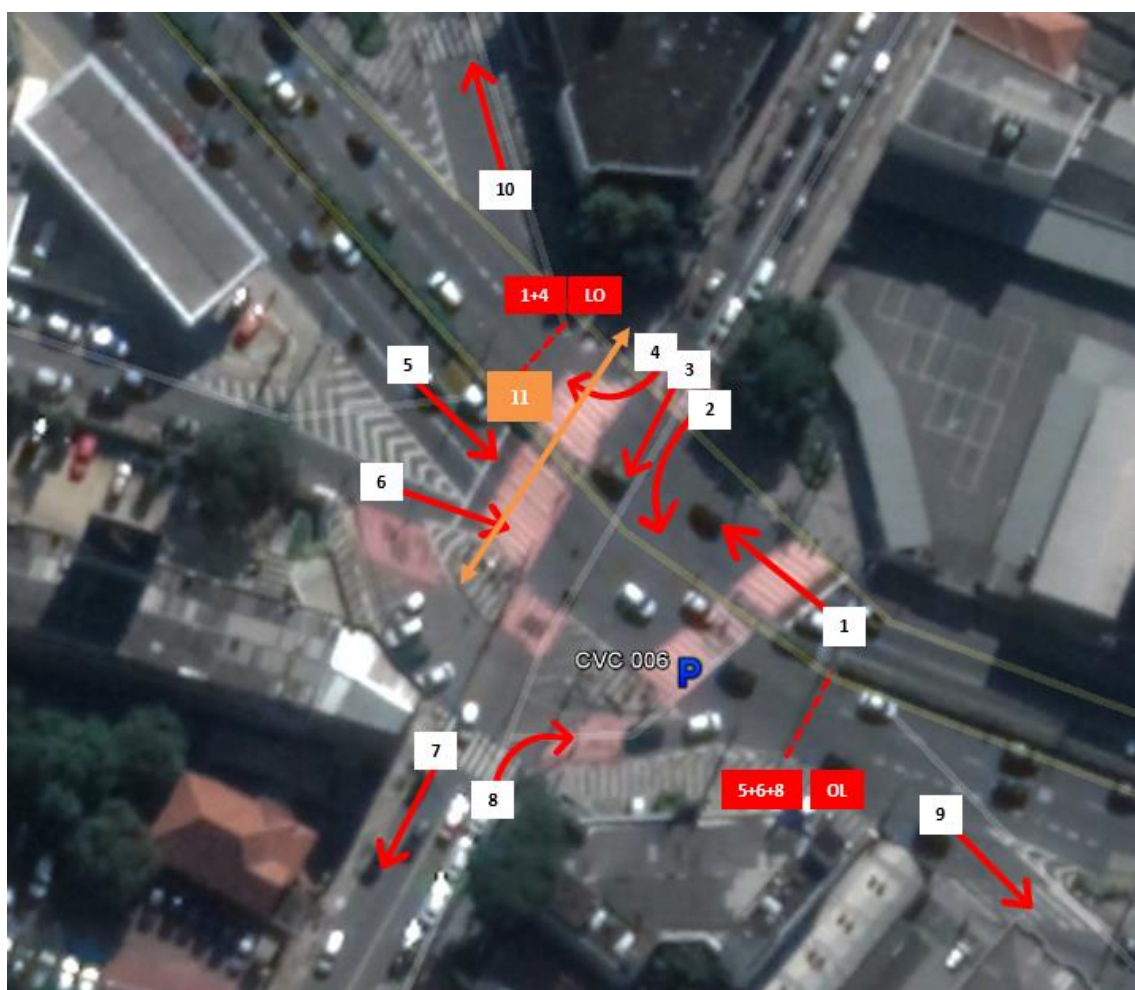
28/02/2018	Automóveis	Motocicletas	Caminhões	Ônibus Padron	Micro Ônibus	Bicicletas	Pedestres
OSA_PC05_M1	565	44	9	66	1	5	0
OSA_PC05_M2	507	40	1	6	0	1	0
OSA_PC05_M3	113	7	2	39	0	1	0
OSA_PC05_M4	655	70	12	81	2	2	0
OSA_PC05_M5	888	148	17	67	1	7	0
OSA_PC05_M6	8	0	0	0	0	0	0
OSA_PC05_M7	0	0	0	0	0	0	28
OSA_PC05_M8	0	0	0	0	0	0	41

01/03/2018	Automóveis	Motocicletas	Caminhões	Ônibus Padron	Micro Ônibus	Bicicletas	Pedestres
OSA_PC05_M1	621	58	4	59	1	2	0
OSA_PC05_M2	504	41	2	5	0	0	0
OSA_PC05_M3	111	4	5	33	1	0	0
OSA_PC05_M4	643	83	5	78	2	2	0
OSA_PC05_M5	928	119	8	70	0	7	0
OSA_PC05_M6	3	0	0	0	0	0	0
OSA_PC05_M7	0	0	0	0	0	0	44
OSA_PC05_M8	0	0	0	0	0	0	29

MÉDIA	Automóveis	Motocicletas	Caminhões	Ônibus Padron	Micro Ônibus	Bicicletas	Pedestres
OSA_PC05_M1	599	54	5	63	1	3	0
OSA_PC05_M2	524	41	1	6	0	1	0
OSA_PC05_M3	111	6	4	34	0	1	0
OSA_PC05_M4	648	74	10	78	2	2	0
OSA_PC05_M5	908	124	14	70	1	7	0
OSA_PC05_M6	4	0	0	0	0	0	0
OSA_PC05_M7	0	0	0	0	0	0	30
OSA_PC05_M8	0	0	0	0	0	0	33

Fonte: GPO/Sistran Engenharia, 2018.

Figura B.3 - Movimentos do ponto 6



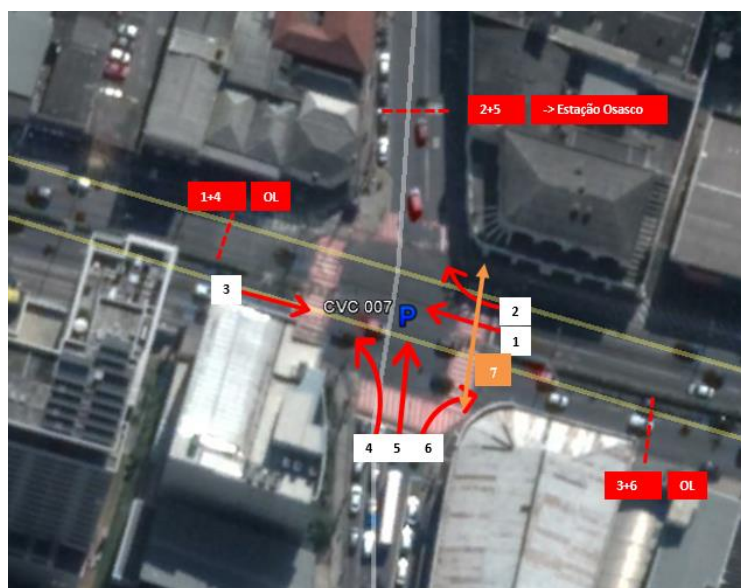
Fonte: GPO/Sistran Engenharia, 2018.

Tabela B.0.3 - Contagem de veículos na HPM do ponto 6

HPM							
13/03/2018	Automóveis	Motocicletas	Caminhões	Ônibus Padron	Micro Ônibus	Bicicletas	Pedestres
OSA_PC06_M1	608	88	6	47	29	0	0
OSA_PC06_M2	286	12	3	156	7	0	0
OSA_PC06_M3	80	7	1	0	9	0	0
OSA_PC06_M4	111	9	1	24	7	0	0
OSA_PC06_M5	1.040	110	5	70	3	3	0
OSA_PC06_M6	248	14	3	0	0	0	0
OSA_PC06_M7	168	13	1	0	0	2	0
OSA_PC06_M8	171	5	0	0	0	2	0
OSA_PC06_M9	394	10	1	6	1	0	0
OSA_PC06_M10	360	13	0	0	11	1	0
OSA_PC06_M11	0	0	0	0	0	0	418
14/03/2018	Automóveis	Motocicletas	Caminhões	Ônibus Padron	Micro Ônibus	Bicicletas	Pedestres
OSA_PC06_M1	550	69	11	36	17	0	0
OSA_PC06_M2	261	11	2	166	4	0	0
OSA_PC06_M3	63	5	1	0	4	0	0
OSA_PC06_M4	99	8	3	25	9	0	0
OSA_PC06_M5	1.121	146	10	66	1	5	0
OSA_PC06_M6	244	13	1	0	0	0	0
OSA_PC06_M7	134	13	1	0	0	1	0
OSA_PC06_M8	168	8	0	0	0	1	0
OSA_PC06_M9	446	14	2	8	2	0	0
OSA_PC06_M10	353	12	2	0	16	0	0
OSA_PC06_M11	0	0	0	0	0	0	367
15/03/2018	Automóveis	Motocicletas	Caminhões	Ônibus Padron	Micro Ônibus	Bicicletas	Pedestres
OSA_PC06_M1	570	91	8	48	20	0	0
OSA_PC06_M2	298	9	3	171	14	0	0
OSA_PC06_M3	75	4	1	0	5	1	0
OSA_PC06_M4	73	5	3	24	4	0	0
OSA_PC06_M5	1.071	141	13	62	3	8	0
OSA_PC06_M6	295	15	1	0	0	0	0
OSA_PC06_M7	85	6	1	0	0	0	0
OSA_PC06_M8	163	12	3	0	0	0	0
OSA_PC06_M9	511	18	5	9	2	0	0
OSA_PC06_M10	326	9	3	0	3	0	0
OSA_PC06_M11	0	0	0	0	0	0	432
MÉDIA	Automóveis	Motocicletas	Caminhões	Ônibus Padron	Micro Ônibus	Bicicletas	Pedestres
OSA_PC06_M1	576	83	8	44	22	0	0
OSA_PC06_M2	282	11	3	164	8	0	0
OSA_PC06_M3	73	5	1	0	6	0	0
OSA_PC06_M4	94	7	2	24	7	0	0
OSA_PC06_M5	1.077	132	9	66	2	5	0
OSA_PC06_M6	262	14	2	0	0	0	0
OSA_PC06_M7	129	11	1	0	0	1	0
OSA_PC06_M8	167	8	1	0	0	1	0
OSA_PC06_M9	450	14	3	8	2	0	0
OSA_PC06_M10	346	11	2	0	10	0	0
OSA_PC06_M11	0	0	0	0	0	0	406

Fonte: GPO/Sistran Engenharia, 2018.

Figura B.4 - Movimentos do ponto 7



Fonte: GPO/Sistran Engenharia, 2018.

Tabela B.0.4 - Contagem de veículos na HPM do ponto 7

HPM							
13/03/2018	Automóveis	Motocicletas	Caminhões	Ônibus Padron	Micro Ônibus	Bicicletas	Pedestres
OSA_PC07_M1	828	74	9	38	27	1	0
OSA_PC07_M2	404	33	4	104	13	0	0
OSA_PC07_M3	1.357	147	10	197	33	4	0
OSA_PC07_M4	263	8	1	0	5	0	0
OSA_PC07_M5	1.090	48	2	23	24	6	0
OSA_PC07_M6	436	7	6	11	11	0	0
OSA_PC07_M7	0	0	0	0	0	0	249
14/03/2018	Automóveis	Motocicletas	Caminhões	Ônibus Padron	Micro Ônibus	Bicicletas	Pedestres
OSA_PC07_M1	897	75	10	37	1	0	0
OSA_PC07_M2	397	33	3	115	11	0	0
OSA_PC07_M3	1.503	179	14	200	6	5	0
OSA_PC07_M4	250	7	0	0	0	0	0
OSA_PC07_M5	1.060	63	4	23	1	0	0
OSA_PC07_M6	406	11	6	10	1	2	0
OSA_PC07_M7	0	0	0	0	0	0	229
15/03/2018	Automóveis	Motocicletas	Caminhões	Ônibus Padron	Micro Ônibus	Bicicletas	Pedestres
OSA_PC07_M1	727	71	9	38	2	1	0
OSA_PC07_M2	291	17	0	94	5	1	26
OSA_PC07_M3	1.274	160	13	192	9	4	0
OSA_PC07_M4	232	7	3	0	0	0	0
OSA_PC07_M5	889	50	0	18	0	11	176
OSA_PC07_M6	371	17	4	11	0	1	0
OSA_PC07_M7	0	0	0	0	0	0	336
MÉDIA	Automóveis	Motocicletas	Caminhões	Ônibus Padron	Micro Ônibus	Bicicletas	Pedestres
OSA_PC07_M1	817	73	9	38	10	1	0
OSA_PC07_M2	364	28	2	104	10	0	9
OSA_PC07_M3	1.378	162	12	196	16	4	0
OSA_PC07_M4	248	7	1	0	2	0	0
OSA_PC07_M5	1.013	54	2	21	8	6	59
OSA_PC07_M6	404	12	5	11	4	1	0
OSA_PC07_M7	0	0	0	0	0	0	271

Fonte: GPO/Sistran Engenharia, 2018.

Figura B.5 - Movimentos do ponto 8



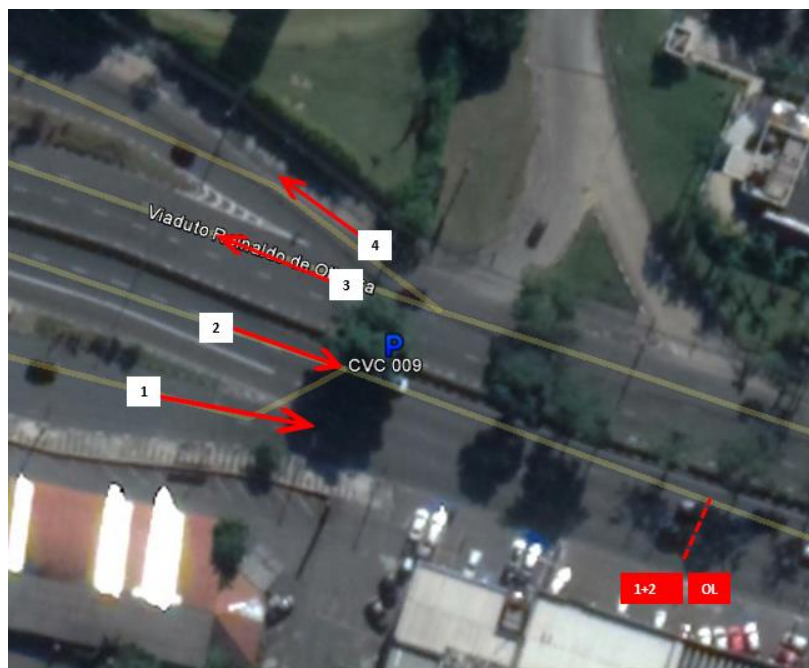
Fonte: GPO/Sistran Engenharia, 2018.

Tabela B.0.5 - Contagem de veículos na HPM do ponto 8

HPM								
13/03/2018	Automóveis	Motocicletas	Caminhões	Ônibus Padron	Micro Ônibus	Bicicletas	Pedestres	
OSA_PC08_M1	1.048	45	5	48	6	0	0	
OSA_PC08_M2	1.551	118	12	151	4	7	0	
OSA_PC08_M3	466	53	6	68	3	1	0	
OSA_PC08_M4	848	50	6	83	2	0	0	
14/03/2018	Automóveis	Motocicletas	Caminhões	Ônibus Padron	Micro Ônibus	Bicicletas	Pedestres	
OSA_PC08_M1	1.106	56	5	57	7	2	0	
OSA_PC08_M2	1.556	168	13	153	5	7	0	
OSA_PC08_M3	470	68	3	72	2	1	0	
OSA_PC08_M4	833	60	10	79	0	2	0	
15/03/2018	Automóveis	Motocicletas	Caminhões	Ônibus Padron	Micro Ônibus	Bicicletas	Pedestres	
OSA_PC08_M1	1.109	47	6	57	7	1	0	
OSA_PC08_M2	1.568	144	7	153	5	10	0	
OSA_PC08_M3	469	44	5	74	2	0	0	
OSA_PC08_M4	806	62	8	77	2	1	0	
MÉDIA	Automóveis	Motocicletas	Caminhões	Ônibus Padron	Micro Ônibus	Bicicletas	Pedestres	
OSA_PC08_M1	1.088	49	5	54	7	1	0	
OSA_PC08_M2	1.558	143	11	152	5	8	0	
OSA_PC08_M3	468	55	5	71	2	1	0	
OSA_PC08_M4	829	57	8	80	1	1	0	

Fonte: GPO/Sistran Engenharia, 2018.

Figura B.6- Movimentos do ponto 9



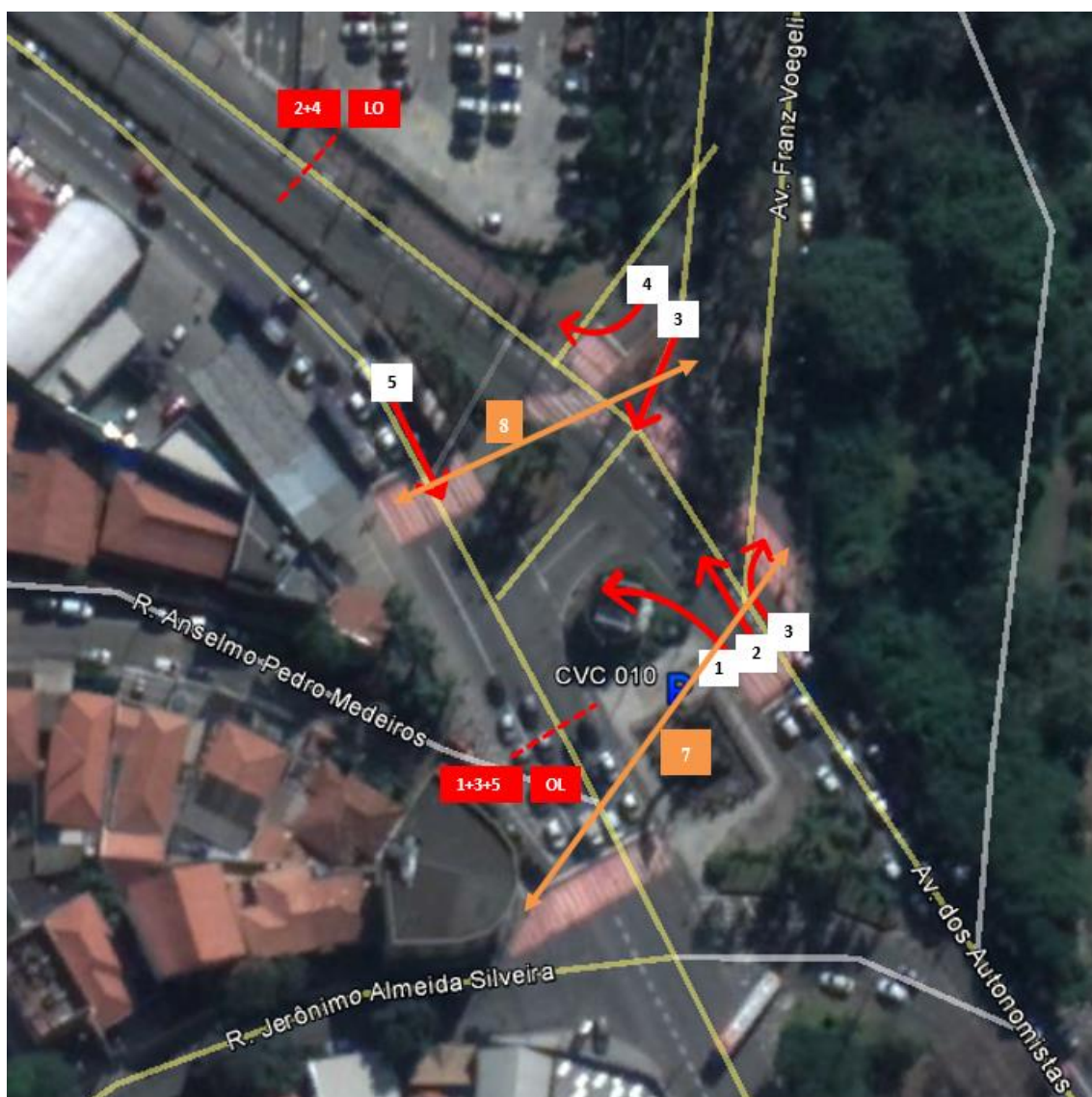
Fonte: GPO/Sistran Engenharia, 2018.

Tabela B.0.6 - Contagem de veículos na HPM do ponto 9

HPM							
13/03/2018	Automóveis	Motocicletas	Caminhões	Ônibus Padron	Micro Ônibus	Bicicletas	Pedestres
OSA_PC09_M1	700	67	13	47	8	0	1
OSA_PC09_M2	1.695	128	13	181	3	5	1
OSA_PC09_M3	822	48	6	82	8	2	0
OSA_PC09_M4	806	41	10	67	7	4	0
14/03/2018	Automóveis	Motocicletas	Caminhões	Ônibus Padron	Micro Ônibus	Bicicletas	Pedestres
OSA_PC09_M1	621	48	9	37	1	4	0
OSA_PC09_M2	1.647	124	17	150	2	11	0
OSA_PC09_M3	805	64	11	76	0	2	0
OSA_PC09_M4	1.044	75	26	74	3	5	0
15/03/2018	Automóveis	Motocicletas	Caminhões	Ônibus Padron	Micro Ônibus	Bicicletas	Pedestres
OSA_PC09_M1	595	64	17	40	2	0	0
OSA_PC09_M2	1.601	165	10	166	3	8	0
OSA_PC09_M3	819	62	11	81	1	2	0
OSA_PC09_M4	884	56	17	64	2	3	0
MÉDIA	Automóveis	Motocicletas	Caminhões	Ônibus Padron	Micro Ônibus	Bicicletas	Pedestres
OSA_PC09_M1	639	60	13	41	4	1	0
OSA_PC09_M2	1.648	139	13	166	3	8	0
OSA_PC09_M3	815	58	9	80	3	2	0
OSA_PC09_M4	911	57	18	68	4	4	0

Fonte: GPO/Sistran Engenharia, 2018.

Figura B.7 - Movimentos do ponto 10



Fonte: GPO/Sistran Engenharia, 2018.

Tabela B.0.7 - Contagem de veículos na HPM do ponto 10

HPM							
06/03/2018	Automóveis	Motocicletas	Caminhões	Ônibus Padron	Micro Ônibus	Bicicletas	Pedestres
OSA_PC10_M1	1	0	0	0	0	0	0
OSA_PC10_M2	1.379	117	23	130	1	5	0
OSA_PC10_M3	634	30	7	27	5	3	0
OSA_PC10_M4	277	12	1	2	0	0	0
OSA_PC10_M5	1.529	154	18	168	6	7	0
OSA_PC10_M6	519	25	8	10	0	2	0
OSA_PC10_M7	0	0	0	0	0	0	13
OSA_PC10_M8	0	0	0	0	0	0	36

07/03/2018	Automóveis	Motocicletas	Caminhões	Ônibus Padron	Micro Ônibus	Bicicletas	Pedestres
OSA_PC10_M1	2	0	0	0	0	0	0
OSA_PC10_M2	1.400	107	14	141	3	7	0
OSA_PC10_M3	590	31	7	23	5	2	0
OSA_PC10_M4	247	5	0	4	2	0	0
OSA_PC10_M5	2.813	151	29	183	6	9	0
OSA_PC10_M6	573	21	6	12	1	4	0
OSA_PC10_M7	0	0	0	0	0	0	46
OSA_PC10_M8	0	0	0	0	0	0	142

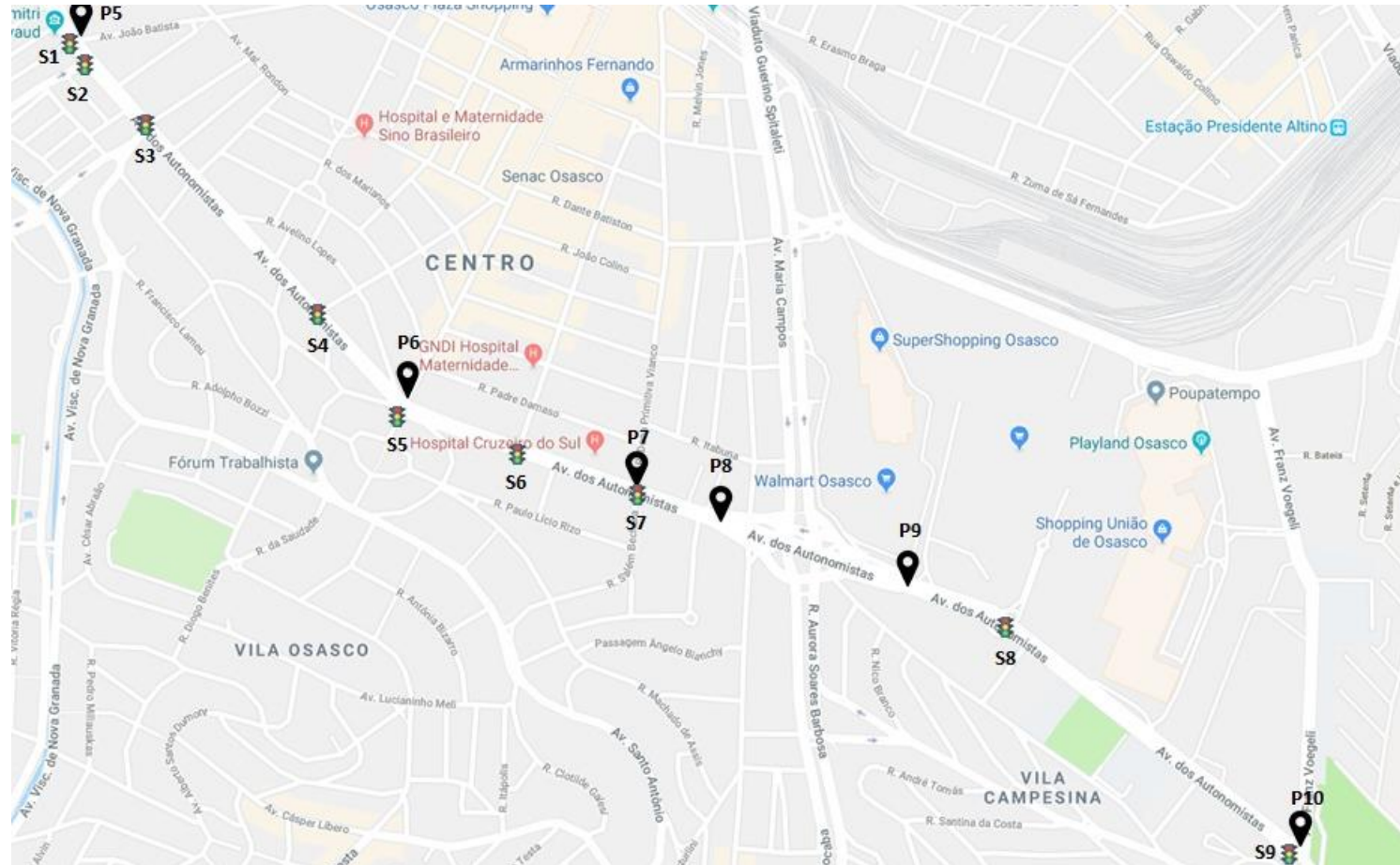
08/03/2018	Automóveis	Motocicletas	Caminhões	Ônibus Padron	Micro Ônibus	Bicicletas	Pedestres
OSA_PC10_M1	0	0	0	0	0	0	0
OSA_PC10_M2	1.370	114	19	146	3	3	0
OSA_PC10_M3	528	29	10	26	4	3	0
OSA_PC10_M4	241	8	1	2	2	0	0
OSA_PC10_M5	1.696	142	18	188	8	9	0
OSA_PC10_M6	529	19	2	12	1	3	0
OSA_PC10_M7	0	0	0	0	0	0	43
OSA_PC10_M8	0	0	0	0	0	0	117

MÉDIA	Automóveis	Motocicletas	Caminhões	Ônibus Padron	Micro Ônibus	Bicicletas	Pedestres
OSA_PC10_M1	1	0	0	0	0	0	0
OSA_PC10_M2	1.383	113	19	139	2	5	0
OSA_PC10_M3	584	30	8	25	5	3	0
OSA_PC10_M4	255	8	1	3	1	0	0
OSA_PC10_M5	2.013	149	22	180	7	8	0
OSA_PC10_M6	540	22	5	11	1	3	0
OSA_PC10_M7	0	0	0	0	0	0	34
OSA_PC10_M8	0	0	0	0	0	0	98

Fonte: GPO/Sistran Engenharia, 2018.

ANEXO C – DADOS SEMAFÓRICOS

Figura C.1 - Posicionamento dos semáforos no trecho de estudo e a configuração dos pontos de contagem



Fonte: GPO/Sistran Engenharia, 2018.

Figura C.2 - Movimentos no ponto 5 (semáforo 1)



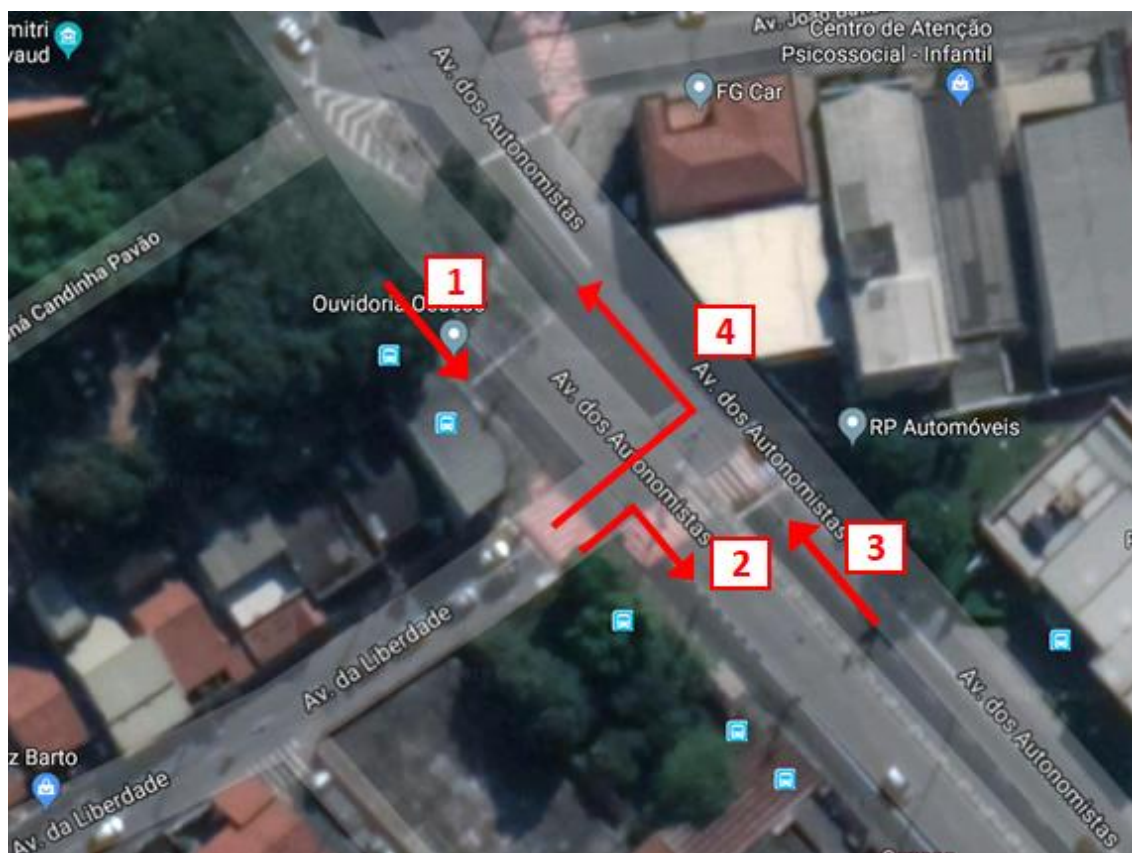
Fonte: GPO/Sistran Engenharia, 2018.

Tabela C.0.1 - Dados Semáforo 1

Semáforo 1 - Av. dos Autonomistas x Av. da Liberdade							VERDE (s)	
CICLO (s)		109					Início	Fim
No	Grupo	Movimento	Verde (s)	Amarelo (s)	Vermelho	Geral (s)	Início	Fim
1	Autonomistas Km21-VY	5	49	3	1	0	49	
2	Transversal	2 + 3	52	3	1	53	105	
3	Autonomistas VY-Km21	4	49	3	1	0	49	

Fonte: Elaboração própria (dados observados em campo).

Figura C.3 - Movimentos no semáforo 2



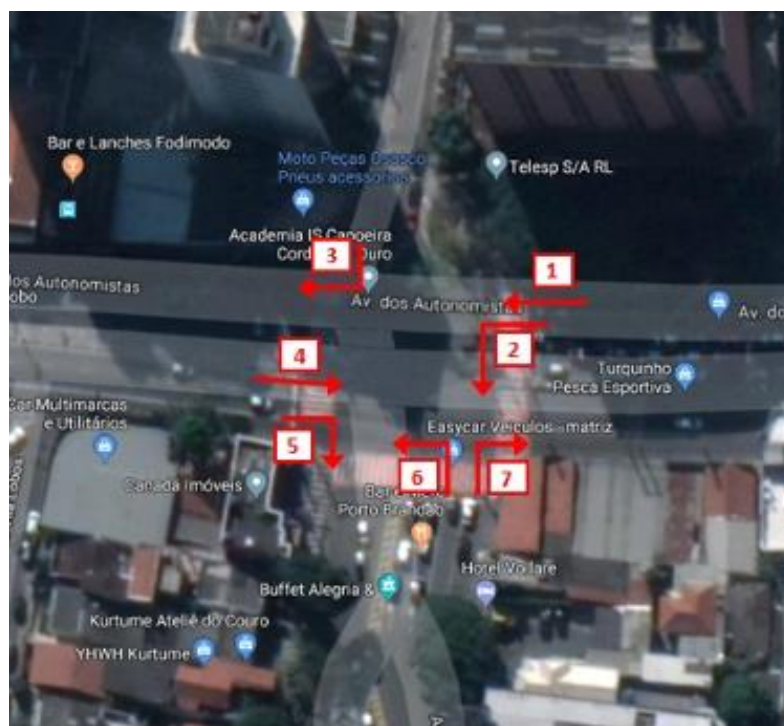
Fonte: Google maps.

Tabela C.0.2 - Dados Semáforo 2

Semáforo 2 - Av. dos Autonomistas x Av. da Liberdade							VERDE (s)	
CICLO (s)		118					Início	Fim
No	Grupo	Movimento	Verde (s)	Amarelo (s)	Vermelho	Geral (s)	Início	Fim
1	Autonomistas Km21-VY	1	42	3	1	0	42	
2	Transversal	2 + 4	68	3	1	46	114	
3	Autonomistas VY-Km21	3	42	3	1	0	42	

Fonte: Elaboração própria (dados observados em campo).

Figura C.4 - Movimento no semáforo 3



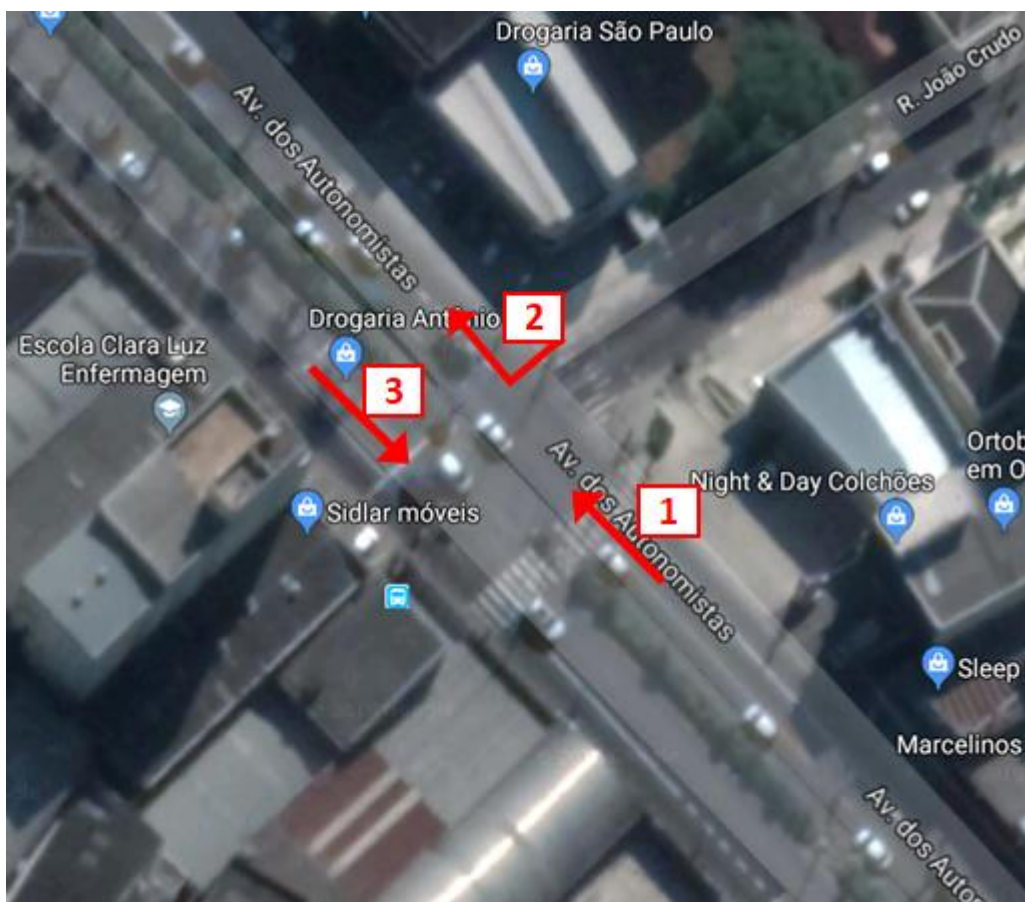
Fonte: Google maps.

Tabela C.0.3 - Dados Semáforo 3

Semáforo 3 - Av. dos Autonomistas x Av. Santo Antonio							VERDE (s)	
CICLO (s)		140						
No	Grupo	Movimento	Verde (s)	Amarelo (s)	Vermelho Geral (s)	Início	Fim	
1	Autonomistas Km21-VY	1	74	3	1	0	74	
2	Autonomistas Km21-VY - Conversão à Esquerda	2	27	3	1	51	78	
3	Transversal conversão à direita	7	46	3	1	71	117	
4	Transversal conversão à esquerda	6	39	3	1	78	117	
5	Autonomistas VY-Km21	4+5	47	3	1	0	47	
6	Pedestre		15		4	121	136	

Fonte: Elaboração própria (dados observados em campo).

Figura C.5 - Movimentos semáforo 4



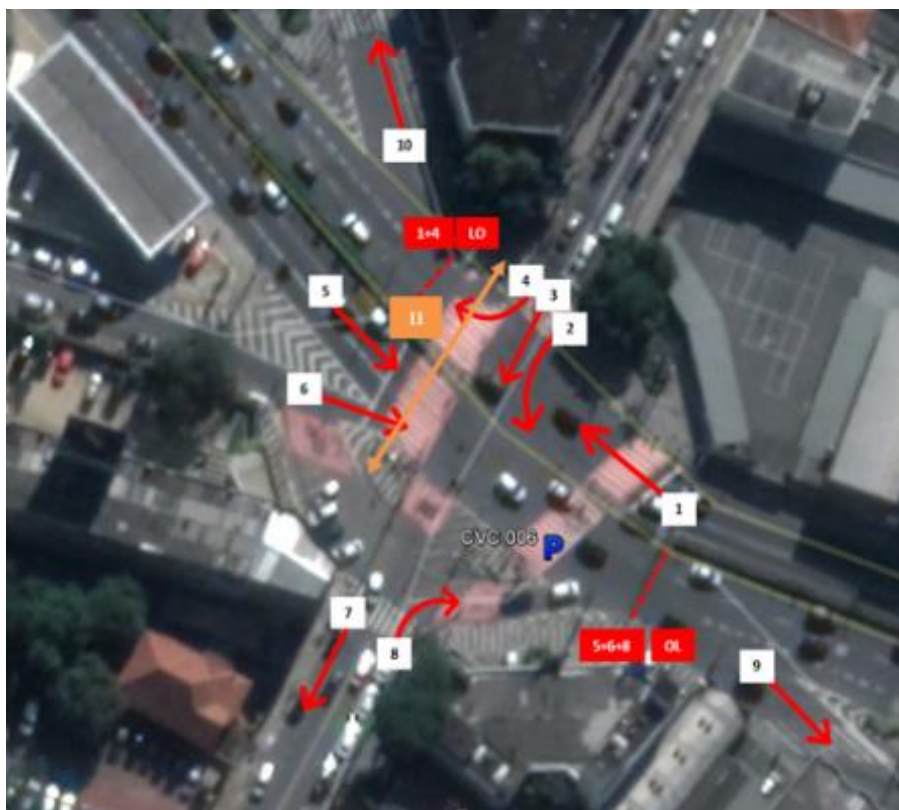
Fonte: Google Maps.

Tabela C.0.4 - Dados semáforo 4

Semáforo 4 - Av. dos Autonomistas x R. João Curdo							VERDE (s)	
CICLO (s)		127					Início	Fim
No	Grupo	Movimento	Verde (s)	Amarelo (s)	Vermelho Geral (s)	Início	Fim	
1	Autonomistas Km21-VY	1	64	4	1	0	64	
2	Transversal	2	32	4	1	69	101	
3	Autonomistas VY-Km21	3	64	4	1	0	64	
4	Pedestre	4	16		5	106	122	

Fonte: Elaboração própria (dados observados em campo).

Figura C.6 - Movimentos Semáforo 5



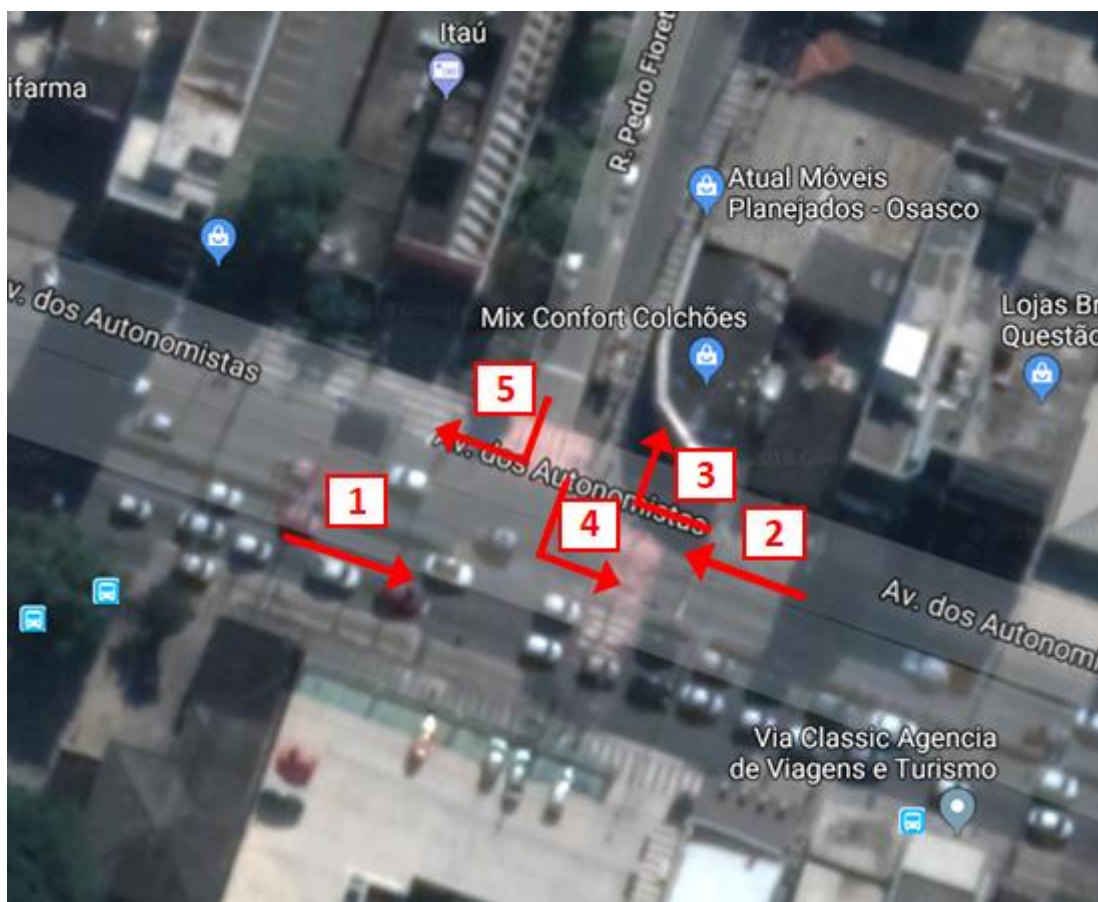
Fonte: GPO Sistran Engenharia, 2018..

Tabela C.0.5 - Dados Semáforo 5

Semáforo 5 - Av. dos Autonomistas x R. Antônio Agú						VERDE (s)	
CICLO		136					
No	Grupo	Movimento	Verde (s)	Amarelo (s)	Vermelho Geral (s)	Início	Fim
1	Autonomistas Km21-VY	5 +6	56	3	1	0	56
2	Transversal	2+3+4	46	3	1	86	132
3	Autonomistas VY-Km21	1	56	3	1	0	56
	Pedestre	11	22		4	60	82

Fonte: Elaboração própria (dados observados em campo).

Figura C.7 - Movimentos semáforo 6



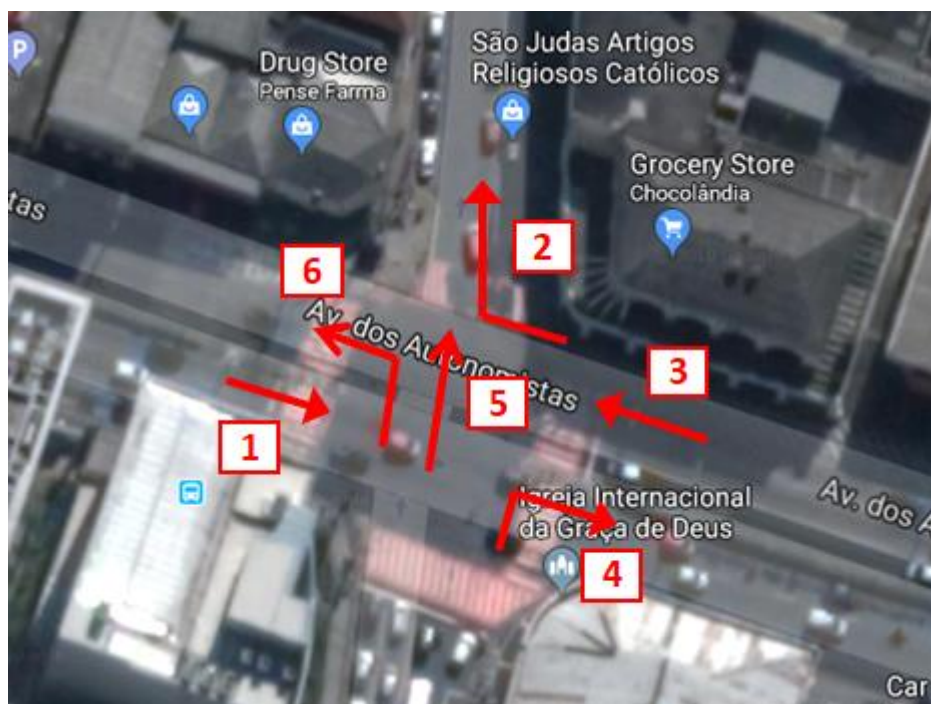
Fonte: Google Maps.

Tabela C.0.6 - Dados semáforo 6

Semáforo 6 - Av. dos Autonomistas x R. Pedro Fioretti							VERDE (s)	
CICLO (s)		132					Início	Fim
No	Grupo	Movimento	Verde (s)	Amarelo (s)	Vermelho	Geral (s)	Início	Fim
1	Autonomistas Km21-VY	2+3	74	4	1	0	74	
2	Transversal	4+5	25	4	1	102	127	
3	Autonomistas VY-Km21	1	74	4	1	0	74	
4	Pedestre		18		5	79	97	

Fonte: Elaboração própria (dados observados em campo).

Figura C.8 - Movimento semáforo 7



Fonte: Google Maps.

Tabela C.0.7 – Dados semáforo 7

Semáforo 7 - Av. dos Autonomistas x Rua Dona Primavera Vianco						VERDE (s)	
CICLO (s)		136					
No	Grupo	Movimento	Verde (s)	Amarelo (s)	Vermelho Geral (s)	Início	Fim
1	Autonomistas Km21-VY	1	62	3	1	0	62
2	Transversal	4+5+6	44	3	1	66	110
3	Autonomistas VY-Km21	2 + 3	62	3	1	0	62
4	Pedestre		18		4	114	132

Fonte: Elaboração própria (dados observados em campo).

Figura C.9 - Movimentos semáforo 8



Fonte: Google Maps.

Tabela C.0.8 - Dados Semáforo 8

Semáforo 8 - Av. dos Autonomistas na frente do Assaí							VERDE (s)	
CICLO (s)		103						
No	Grupo	Movimento	Verde (s)	Amarelo (s)	Vermelho Geral (s)	Início	Fim	
1	Autonomistas Km21-VY	1	65	3	1	0	65	
2	Autonomistas VY-Km21	2	65	3	1	0	65	
3	Pedestre		30		4	69	99	

Fonte: Elaboração própria (dados observados em campo).

ANEXO D – DADOS DOS PONTOS E LINHAS DE ÔNIBUS

Tabela D.0.1 - Linhas de ônibus e dados do modelo

Tipo de Linha	Linha	Sentido	Headway na HPM (min)	Nº de Pontos na Av. dos Autonomistas	Partida no ponto inicial (s)
Municipal	001	RM	15	2	349
		SP	15	2	769
	003	RM	20	7	459
		SP	20	6	399
	005	RM	30	1	438
		SP	30	5	335
	007	RM	10	5	9
	008	RM	20	7	116
		SP	20	6	435
	010	RM	10	2	31
		SP	10	1	503
	011	RM	14	7	6
		SP	14	5	233
	012	RM	46	7	16
		SP	34	6	61
	018	SP	60	1	91
	028	SP	10	3	30
	030	RM	40	7	24
		SP	40	6	478
	032	RM	12	1	443
		SP	12	3	64
	033	RM	20	2	112
		SP	20	4	507
	035	RM	20	2	350
		SP	20	2	76
	036	SP	14	2	53
	037	RM	30	1	1641
		SP	30	4	141
	002-1	RM	40	2	341
		SP	40	5	125
	004-1	RM	40	5	273
		SP	40	1	182
006-2	RM	25	2	680	
	SP	25	2	585	
009-1	RM	40	7	123	
	SP	40	6	600	
009-2	RM	40	5	43	
	SP	40	3	149	
Inter municipal	020	RM	20	8	104
		SP	20	9	337

Tipo de Linha	Linha	Sentido	Headway na HPM (min)	Nº de Pontos na Av. dos Autonomistas	Partida no ponto inicial (s)
	022	RM	20	3	462
		SP	20	6	125
	023	RM	10	8	41
		SP	10	9	33
	059	RM	40	8	386
		SP	40	9	410
	060	RM	20	2	118
		SP	40	3	473
	061	RM	10	2	216
		SP	30	3	802
	082	RM	30	3	822
		SP	50	9	529
	086	RM	20	8	123
		SP	10	9	162
	122	RM	35	3	101
		SP	12	5	37
	130	RM	15	8	146
		SP	15	9	1
	133	RM	20	3	143
		SP	30	9	79
	134	RM	25	6	68
	180	RM	10	2	86
		SP	15	3	136
	181	RM	30	2	323
		SP	15	3	34
	202	RM	20	2	499
		SP	15	3	457
	223	RM	25	3	16
		SP	25	6	253
	230	RM	20	2	216
		SP	20	3	301
	244	SP	30	1	726
	246	RM	30	3	442
		SP	30	9	166
	263	RM	15	3	235
		SP	7	6	49
	278	RM	40	2	1094
	280	RM	5	2	89
		SP	15	2	72
	283	RM	15	3	169

Tipo de Linha	Linha	Sentido	Headway na HPM (min)	Nº de Pontos na Av. dos Autonomistas	Partida no ponto inicial (s)
		SP	5	6	53
	303	RM	17	2	88
		SP	8	2	135
	345	RM	40	8	94
		SP	45	9	469
	350	RM	10	8	85
		SP	10	9	15
	420	RM	20	3	561
		SP	20	9	156
	428	RM	15	8	117
		SP	20	9	82
	466	RM	10	6	10
		SP	30	6	63
	479	SP	30	1	1740
	517	RM	60	8	10
		SP	60	9	13
	557	RM	20	8	163
		SP	20	9	71
	840	RM	10	8	68
		SP	10	9	18
	850	RM	8	8	74
		SP	8	9	110
	059PR1	RM	25	8	258
	082BI1	RM	60	3	2646
		SP	60	9	580
	082DV1	RM	60	3	1513
		SP	30	9	254
	086PR1	SP	45	9	581
	133BI1	RM	60	3	72
		SP	30	9	189
	180DV1	RM	60	2	2175
	180DV2	RM	60	2	924
	350BI1	RM	60	8	295
		SP	60	9	23

Fonte: Elaboração própria.