

PEDRO BERLINGER SARAIVA
JOÃO PEDRO DE ANDRADE CASARI
VICTOR ENRIQUE TEIXEIRA ORTEGA

**SIMULAÇÕES DE FAIXAS DE ÔNIBUS EM VIAS ARTERIAIS DA
CIDADE DE SÃO PAULO**

Trabalho de Formatura do Curso
de Engenharia Civil apresentado
à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo

São Paulo

2018

PEDRO BERLINGER SARAIVA
JOÃO PEDRO DE ANDRADE CASARI
VICTOR ENRIQUE TEIXEIRA ORTEGA

**SIMULAÇÕES DE FAIXAS DE ÔNIBUS EM VIAS ARTERIAIS DA
CIDADE DE SÃO PAULO**

Trabalho de Formatura do Curso
de Engenharia Civil apresentado
à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo

Orientador: Prof. Dr. Claudio Luiz Marte

São Paulo

2018

Catálogo-na-publicação

Saraiva, Pedro

SIMULAÇÕES DE FAIXAS DE ÔNIBUS EM VIAS ARTERIAIS
DA CIDADE DE SÃO PAULO / P. Saraiva, V. Ortega, J. P. Casari --
São Paulo, 2018. 64 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade
de São Paulo. Departamento de Engenharia de Transportes.

1.Simulação Computacional 2.Modelagem 3.Desempenho
I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de
Engenharia de Transportes II.t. III.Ortega, Victor IV.Casari, João
Pedro

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a todos os colegas de curso que contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho, especialmente Pedro Henrique Linhares Fernandes pelo imprescindível suporte na fase final do projeto.

Agradecemos também a CET e seus colaboradores pelas informações disponibilizadas, o grupo PTV pela licença do *software* utilizado nas análises e a todos os órgãos e entidades responsáveis pelas referências deste trabalho.

Prestamos homenagem ao nosso orientador Prof. Dr. Claudio Luiz Marte pela sua orientação e motivação ao longo dos últimos anos.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Transporte público e o ônibus	2
1.2. Avenida Paulista	3
2. OBJETIVOS.....	7
2.1. Proposta de Trabalho.....	7
2.2. Cronograma	8
3. PARTE CONCEITUAL.....	9
3.1. Elaboração de um modelo microscópico de tráfego	9
3.2. Tese de mestrado de Arnaldo Luís Santos Pereira	9
3.3. O fenômeno “bus bunching” e algumas estratégias para a sua mitigação	13
3.4. Artigo “Simulating performance impacts of bus lanes and supporting measures”	15
3.5. Artigo “Dynamic Extra Buses Scheduling Strategy in Public Transport”	17
3.6. Artigo “A self-coordinating bus route to resist bus bunching”	17
4. PARTE PRÁTICA	19
4.1. Características da estrutura de transportes	19
4.2. Operação dos ônibus na Avenida	21
4.3. Modelagem computacional da Avenida	26
4.3.1. Macromodelos	26
4.3.2. Micromodelos	28
4.3.3. O micromodelo da Av. Paulista.....	30
4.3.3.1. Construção da rede	30
4.3.3.2. <i>Input</i> de volumes	32
4.3.3.3. A programação semafórica	37
4.3.3.4. Validação inicial do modelo	40
4.3.3.4.1. A referência para as velocidades	40
4.3.3.4.2. A referência para os volumes.....	42
4.3.3.4.3. Pontos de coleta de dados.....	43

4.3.3.4.4. Calibragem.....	44
4.3.3.4.4.1. A Primeira Etapa	45
4.3.3.4.4.2. A Segunda Etapa	47
4.3.3.4.4.3. A Terceira Etapa	48
4.3.3.4.5. Resultados	49
4.3.3.5. Validação final do modelo	52
4.3.3.5.1. Calibração.....	53
4.3.3.5.2. Resultados	53
4.3.3.6. Proposta de intervenção.....	54
5. RESULTADOS E CONCLUSÕES	57
5.1. Análise.....	57
5.2. Proposta de continuidade	60
Referências Bibliográficas.....	62

RESUMO

O presente trabalho foi elaborado visando produzir um material que auxilie a melhor compreensão da dinâmica de funcionamento dos fluxos de ônibus em vias arteriais, com faixas exclusivas para estes veículos. Como estudo de caso foi escolhida a Avenida Paulista, na cidade de São Paulo-SP, em função da sua importância e aderência ao tema do projeto. O estudo pode ser dividido em 3 principais partes. A primeira é voltada para a contextualização e caracterização da avenida estudada, seu entorno e suas peculiaridades. Em seguida foi realizada uma revisão bibliográfica de artigos que abordam simulação de fluxos de ônibus e estratégias de otimização de sua operação. Por fim, foi construído e calibrado um micromodelo de um trecho da Avenida Paulista para melhor compreensão do funcionamento da via e das possibilidades de possíveis intervenções.

Palavras-Chave: Simulação Computacional, Modelagem, Desempenho.

ABSTRACT

This study was developed intending to present information to help better understand the dynamic traffic flows when buses are operated in exclusive traffic lanes. For the case study the Paulista Avenue in Sao Paulo, Brazil, was chosen for its importance and adherence to the project theme. This paper can be divided into three major parts. The first is focused on the avenues context and character, peculiarities and surrounding area. Next a bibliographical research of articles dealing with bus flow simulation and optimization strategies was carried out. Finally a micromodel was built and calibrated of a stretch of Paulista Avenue to better understand its operation and to model possible interventions.

Keywords: Computer Simulation, Modelling, Performance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Flutuação horária das viagens por modo. Fonte: Pesquisa de Mobilidade (METRO, 2012).....	2
Figura 2 - Avenida Paulista na década de 1950. Fonte: Blog da Arquitetura, 2017	4
Figura 3 - Avenida Paulista nos tempos atuais. Fonte: Blog Outside Action, 2017	4
Figura 4 - Bairros da região da Avenida Paulista. Fonte: Google Maps, 2017 ...	5
Figura 5 – Vista aérea da Av. Paulista - Fonte: Shutterstock, 2017	6
Figura 6 - Proposição de fases de avanço do trabalho. Fonte: Autoria própria..	7
Figura 7 - Etapas da elaboração de uma rede ônibus. Fonte: CEDER, WILSON, 1986 e IBARA-ROJAS, 2015 apud PEREIRA, A. 2017.....	10
Figura 8 - Intervenções na operação dos ônibus. Fonte: PEREIRA, 2017.....	12
Figura 9 - Disposição das estações da Linha 2 - Verde do Metrô de São Paulo. Fonte: METRO, 2017	19
Figura 10 - Vias que compõem a rota 13G com os pontos de contagem de volume. Fonte: CET, 2015.....	20
Figura 11 - Paradas de Ônibus na Avenida Paulista. Fonte: SPTrans, 2016 e Google, 2017.....	22
Figura 12 - Operação da CET para interdições totais ou parciais da Av. Paulista. Fonte: CET, 2016	25
Figura 13 - Exemplo de macrossimulação do sistema viário de Karlsruhe, Alemanha, sede do grupo PTV. Fonte: PTV, 2017.	27
Figura 14 - Saída gráfica do software VISUM para a simulação do cenário de interrupção parcial do fluxo de tráfego na Av. Paulista. Fonte: MUSSO et al, 2017	28
Figura 15 - Saída gráfica do software VISSIM. Fonte: PTV Group, 2017	29
Figura 16 – Programação semaforica da interseção entre a Av. Paulista e Al. Min. Rocha Azevedo. Fonte: PTV Group, 2017	31
Figura 17 – Implantação do micromodelo. Fonte: PTV Group, 2017	32
Figura 18 – Vista satélite da região modelada com destaque às interseções semaforizadas existentes. Fonte: Google, 2017	37
Figura 19 – Estágios da programação semaforica utilizada no micromodelo. Fonte: CET, 2017	38
Figura 20 – Evolução dos estágios no tempo. Fonte: Autoria própria, 2017. ...	40
Figura 21 – Locação das seções de coleta de volumes (em magenta). Fonte: Autoria própria, 2017.....	43
Figura 22 – Rotas para cálculo de velocidade média com destaque para as seções de início (tom avermelhado) e fim (tom esverdeado). Fonte: Autoria própria, 2017.	44
Figura 23 – Saída gráfica do VISSIM, ônibus em fila na parada Frei Caneca. Fonte: Autoria própria, 2018.....	54

Figura 24 – Saída gráfica do VISSIM, cenário com ponto de parada recuado. Fonte: Autoria própria, 2018.	55
Figura 25 – Saída gráfica do VISSIM, cenário com ponto de parada alongado. Fonte: Autoria própria, 2018.	55
Figura 26 – Saída gráfica do VISSIM, cenário com ponto de parada alongado e recuado. Fonte: Autoria própria, 2018.	56
Figura 27 – Saída gráfica do VISSIM, cenário com ponto de parada imediatamente anterior à linha de retenção do semáforo. Fonte: Autoria própria, 2018.	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação das bibliografias consultadas. Fonte: PEREIRA, 2017	13
Tabela 2 - Performance geral da Bay Street antes e depois. Fonte: SHALABY, 1999.	16
Tabela 3 - Volumes de automóveis e ônibus em um dia típico do ano de 2014 na Av. Paulista, entre a Alameda Min. Rocha Azevedo e a Rua Padre João Manuel. Fonte: Mobilidade no Sistema Viário Principal (CET, 2015).....	20
Tabela 4 - Ranking das rotas com os maiores retardamentos percentuais por pico e sentido. Fonte: CET, 2015	21
Tabela 5 - Relação das linhas de ônibus que percorrem a Av. Paulista. Fonte: SPTrans, 2017	23
Tabela 6 - Número de veículos por linha nos picos da manhã e tarde. Fonte: SPTrans, 2017	24
Tabela 7 – Contagem e composição de veículos na Av. Paulista sentido Consolação durante o pico da manhã. Fonte: CET, 2016.....	32
Tabela 8 – Contagem e composição de veículos na Av. Paulista sentido Consolação durante o pico da tarde. Fonte: CET, 2016	33
Tabela 9 – Contagem e composição de veículos na Av. Paulista sentido Paraíso durante o pico da manhã. Fonte: CET, 2016	33
Tabela 10 – Contagem e composição de veículos na Av. Paulista sentido Paraíso durante o pico da tarde. Fonte: CET, 2016	33
Tabela 11 – Input de volume e composição de veículos no micromodelo. Fonte: Autoria própria, 2017	35
Tabela 12 – Quantidade estimada de veículos por linha presentes entre 9h00 e 10h00 na Av. Paulista. Fonte: SPTrans, 2017.....	36
Tabela 13 – Headway estimado dos ônibus presentes entre 9h00 e 10h00 na Av. Paulista. Fonte: SPTrans, 2017.	37
Tabela 14 – Tempos semafóricos por estágio. Fonte: CET, 2017	39
Tabela 15 – Medição de velocidade dos automóveis na Av. Paulista sentido Consolação. Fonte: CET, 2016	41
Tabela 16 – Medição de velocidade dos automóveis na Av. Paulista sentido Paraíso. Fonte: CET, 2016.....	41
Tabela 17 – Velocidades de referência para calibração do modelo. Fonte: CET, 2016	42
Tabela 18 – Volumes de referência para calibração do modelo. Fonte: CET, 2016	43
Tabela 19 – Valores dos parâmetros de ajuste para a primeira etapa de calibragem. Fonte: Autoria própria, 2017	46
Tabela 20 – Precisão do modelo para a primeira etapa de calibragem. Fonte: Autoria própria, 2017	46

Tabela 21 – Valores dos parâmetros de ajuste para a segunda etapa de calibragem. Fonte: Autoria própria, 2017	47
Tabela 22 – Precisão do modelo para a segunda etapa de calibragem. Fonte: Autoria própria, 2017	48
Tabela 23 – Valores dos parâmetros de ajuste para a terceira etapa de calibragem. Fonte: Autoria própria, 2017	49
Tabela 24 – Precisão do modelo para a terceira etapa de calibragem. Fonte: Autoria própria, 2017	49
Tabela 25 – Resumo dos ajustes de parâmetros realizados nas três etapas. Fonte: Autoria própria, 2017	50
Tabela 26 – Resumo dos resultados obtidos nas três etapas de calibragem. Fonte: Autoria própria, 2017	52
Tabela 27 – Relação das linhas conforme destino, headway e tempo de parada. Fonte: Autoria própria, 2018.....	53
Tabela 28 – Segunda calibragem do modelo. Fonte: Autoria própria, 2018. ...	53
Tabela 29 - Medições realizadas no software VISSIM nos diferentes cenários analisados. Fonte: Autoria própria, 2018.....	57
Tabela 30 - Variações das medições em cada cenário analisado. Fonte: Autoria Própria, 2018.....	57
Tabela 31 - Matriz de decisão. Fonte: Autoria Própria, 2018	58
Tabela 32 - Resumo das análises realizadas. Fonte: Autoria própria, 2018	59

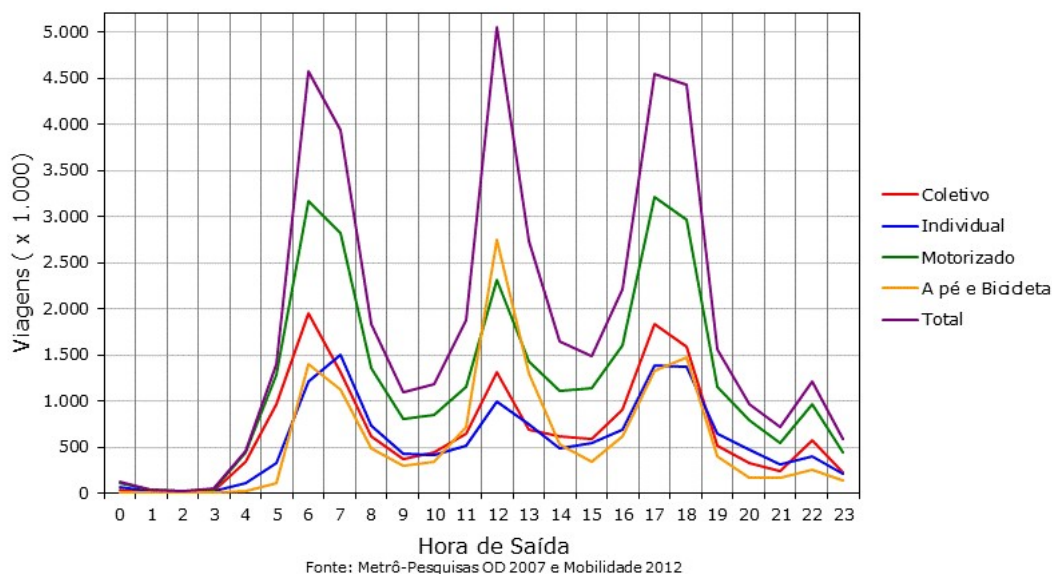
1. INTRODUÇÃO

A Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) conta hoje com aproximadamente 20 milhões de habitantes (METRO, 2012) que diariamente se deslocam para realizar as atividades de seu cotidiano. Seja em direção ao trabalho, escola ou lazer, os paulistanos realizam diariamente uma média de 43,7 milhões de deslocamentos e utilizam para tanto a infraestrutura de transporte da região. De acordo com a pesquisa Origem Destino realizada pelo Metrô, cerca de 54,3% das viagens feitas com uso de meios de transporte motorizados são realizadas por modos coletivos.

Observa-se que, independente do meio de transporte adotado, os deslocamentos que ocorrem na cidade de São Paulo têm um caráter tipicamente pendular, isto é, se dão preferencialmente em sentido às áreas centrais durante a manhã e em direção às regiões periféricas no período da tarde. De acordo com pesquisa realizada pela Companhia de Engenharia de Tráfego (CET), os períodos marcados pela maior concentração de deslocamentos durante o dia são das 7h00 às 10h00 e das 17h00 às 20h00, razão pela qual o rodízio municipal de veículos é estabelecido nestes mesmos horários.

O gráfico da Figura 1, elaborado pelo METRO em sua pesquisa de mobilidade de 2012, confirma a informação dada pela CET. Pode ser verificado que os picos mais acentuados do transporte motorizado (soma dos modos coletivos e individual) se dão no período da manhã e ao final da tarde.

Figura 1 - Flutuação horária das viagens por modo. Fonte: Pesquisa de Mobilidade (METRO, 2012)



Observa-se também a presença de um pico intermediário entre 10h00 e 14h00 impulsionado pelo grande aumento na quantidade de viagens a pé e de bicicleta, originadas principalmente pelo horário de saída e entrada das escolas.

1.1. Transporte público e o ônibus

Dentro do universo do transporte público destacam-se as linhas de ônibus geridas pela São Paulo Transporte S.A. (SPTrans) e pela Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos (EMTU), a primeira responsável pelas linhas que percorrem o interior do município e a segunda pelas viagens intermunicipais da RMSP. De acordo com a Pesquisa de Mobilidade do METRO, 31,6% das viagens motorizadas são feitas diariamente pelo modo ônibus, deixando-o em segundo lugar no ranking, apenas atrás dos automóveis, responsáveis por 41,5% das viagens motorizadas. Para atender a esta demanda a SPTrans opera uma complexa rede que conta com mais de 1.300 linhas e 14,5 mil ônibus (METRO, 2012).

A Pesquisa de Monitoração da Mobilidade da CET apurou que, nas principais rotas da cidade, a frota de ônibus corresponde a 2,7% dos veículos observados, sendo 2,3% de ônibus urbanos e 0,4% de fretados. A frota de ônibus, portanto, é responsável por transportar uma parcela considerável da população, apesar de representar um pequeno percentual dos veículos da cidade. Isso, porém, nem sempre foi verdade. Até a metade do século XX, o ônibus tinha papel meramente complementar ao bonde, então o principal modo de transporte público das grandes cidades do país.

Muitas alterações já ocorreram na infraestrutura do transporte público por ônibus no passado recente, porém uma cidade com o tamanho e a complexidade de São Paulo cria entraves, limitações a intervenções na estrutura física. A implantação de faixas exclusivas e corredores de ônibus tem benefícios visíveis na capacidade do sistema. Sua aplicação, apesar de limitada por fatores físicos e de interferências com outros elementos da cidade, tem sido bastante explorada recentemente. Há ainda um componente intermediário, e não menos importante, entra a infraestrutura e a operação dos ônibus propriamente dita: o Projeto de Rede. Este é um dos grandes responsáveis pela otimização e racionalização das linhas, de forma a minimizar tanto a ociosidade quanto a saturação dos veículos que provém o transporte.

Por isso, soluções relacionadas ao uso e operação do sistema, envolvendo a obtenção e o uso em tempo real de informações do funcionamento deste podem ser a próxima fonte de ganhos, importantes para se alcançar uma maior eficiência. Para isso, é necessário o uso de sistemas dedicados, intervenções e regras de operação aplicadas a cada caso.

O conceito e as ferramentas de Sistemas Inteligentes de Transportes Inteligente (ITS) congregam estas características, permitindo elevar não apenas a capacidade do sistema de transporte por ônibus, mas também o seu nível de serviço. Assim é possível almejar atingir uma operação mais eficiente e confiável, que enquanto diminui e regulariza os tempos de espera, os torna menos perceptíveis. Isso porque a incerteza sobre o tempo de espera afeta negativamente a experiência do usuário, aumentando a sua percepção deste tempo.

1.2. Avenida Paulista

Criada no final do século XIX, a Av. Paulista passou por um grande processo de transformação até tomar a forma e o papel que assume hoje. Os terrenos em seus arredores, que antes abrigavam chácaras e residências (Figura 2), são hoje ocupados por um volume bastante adensado de edifícios, que configuram um dos maiores centros financeiros da capital do estado (Figura 3). Na região encontram-se shoppings centers, cinemas, restaurantes e diversas outras formas de comércio e serviços que geram atrações para um público que inclui residentes da cidade e turistas.

Figura 2 - Avenida Paulista na década de 1950. Fonte: Blog da Arquitetura, 2017



Figura 3 - Avenida Paulista nos tempos atuais. Fonte: Blog Outside Action, 2017



A Av. Paulista se localiza no topo do espigão que separa os rios Tietê e Pinheiros e define o limite entre as regiões Centro, Oeste e Sul. Ao longo de seu percurso a avenida passa por cinco bairros diferentes, conectando regiões tipicamente residenciais como o Paraíso a outras mais comerciais como Cerqueira César e Consolação (Figura 4).

Figura 4 - Bairros da região da Avenida Paulista. Fonte: Google Maps, 2017

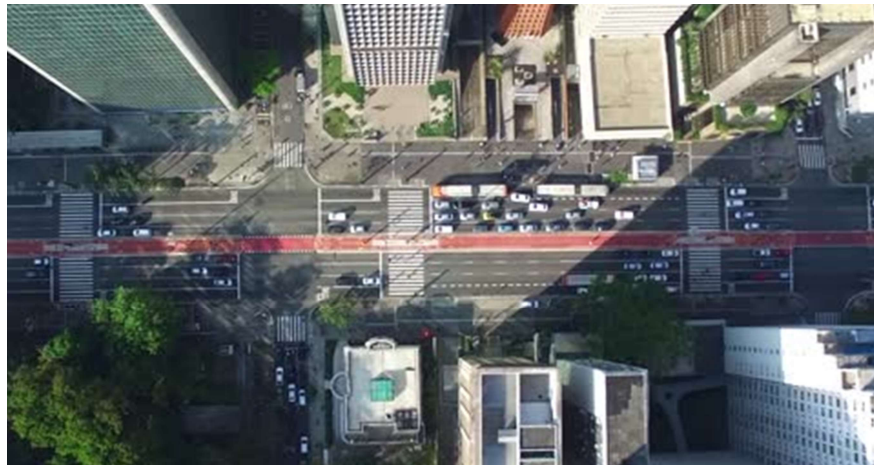


Sua importância, como polo comercial e turístico, atrai um grande volume de pessoas em sua direção, que utilizam da infraestrutura de transporte do município para se deslocar. Além de destino final dos usuários, a avenida ainda é muito utilizada em deslocamentos entre regiões que acabam usando a via em sua rota. Esta multiplicidade de usos da Av. Paulista a tornou uma das rotas de maior interesse dos órgãos gestores de trânsito e transportes de São Paulo.

Para atender à demanda de passageiros, que se movem ao longo da avenida, é proporcionada uma grande gama de modos de transporte, das mais variadas capacidades, que juntos configuram o sistema de mobilidade da avenida. São eles: metrô, ônibus, bicicleta, táxi, automóveis e a pé. A infraestrutura local conta com 4 faixas de rolamento em cada sentido, sendo ambas as faixas da direita exclusivas para ônibus. Devem ainda ser notados a ciclovia localizada no canteiro central, o largo passeio e a linha do metrô ().

Figura 5).

Figura 5 – Vista aérea da Av. Paulista - Fonte: Shutterstock, 2017



Estas características são fatores que motivam o estudo da avenida e de seu entorno. O volume de pessoas e a grande variedade de modos de transporte que transitam pelo local requerem um cuidadoso planejamento dos sistemas de transportes para que sejam minimizados os conflitos como, por exemplo, entre ônibus e automóveis.

2. OBJETIVOS

Tendo em vista a importância da Av. Paulista para o sistema viário da cidade e a mobilidade de seus viajantes, o presente estudo tem por objetivo principal a identificação, por meio das ferramentas proporcionadas pela engenharia de transportes, de gargalos no transporte de passageiros, feito pelos ônibus, e a proposição de medidas que otimizem o tempo de viagem dos mesmos.

Para tanto, se propõe, como primeiro passo, o entendimento da região em termos da dinâmica dos seus elementos de transporte, isto é, como ocorrem os deslocamentos dos passageiros que utilizam a Av. Paulista em seu trajeto. Para esta etapa é importante obter os dados de fluxo de veículos que transitam pela via e seu entorno, nos horários mais críticos, assumidos como aqueles nos quais as medidas de melhoria a serem propostas seriam mais eficientes. São disponíveis fontes de dados para o entendimento proposto a Pesquisa de Mobilidade e Origem-Destino do METRO e as pesquisas de Fluidez do Sistema Viário Principal da CET.

Uma vez entendido o funcionamento da região e de seus sistemas de transportes, avaliou-se a presença de pontos de gargalo na operação da rede, isto é, descobriu-se elementos que interferem ou até mesmo impedem o aumento da eficiência do transporte feito pelo ônibus. Com isso foi possível entender, num nível mais detalhado, os fatores que afetam o desempenho deste modo de transporte coletivo para, na sequência, propor formas de intervenção que melhorem o tempo despendido pelos passageiros ao transitar por essa via.

2.1. Proposta de Trabalho

Visando atingir o objetivo proposto na seção acima, é elaborada a estratégia de avanço dos trabalhos considerando quatro principais fases (Figura 6).

Figura 6 - Proposição de fases de avanço do trabalho. Fonte: Autoria própria



A primeira delas é responsável por identificar estudos anteriores sobre sistemas de ônibus, seus modelos e medidas que otimizem a operação deste modo. Buscam-se as melhores práticas em termos de estudo do transporte, feito por ônibus, e também experiências análogas com seus respectivos resultados. Esta fase é explorada no Capítulo 3 deste texto.

3. PARTE CONCEITUAL

3.1. Elaboração de um modelo microscópico de tráfego

O trabalho de formatura a ser desenvolvido por este grupo consiste na elaboração de um modelo de tráfego em escala microscópica para estudar o comportamento do tráfego na Avenida Paulista, na região dos Jardins em São Paulo. A partir de dados da CET e das características viárias do trecho em foco, foi elaborado um modelo computacional de tráfego utilizando o *software* VISSIM.

A elaboração do micromodelo permite o entendimento do trecho estudado sob uma ótica bastante focada, observando a dinâmica dos veículos individualmente e a influência que determinadas características do local podem ter sobre o funcionamento da via como elemento de infraestrutura de transportes. O modelo elaborado foi então utilizado para simular diferentes cenários: o referencial, que visa observar o funcionamento típico do trecho, e alguns cenários com intervenções.

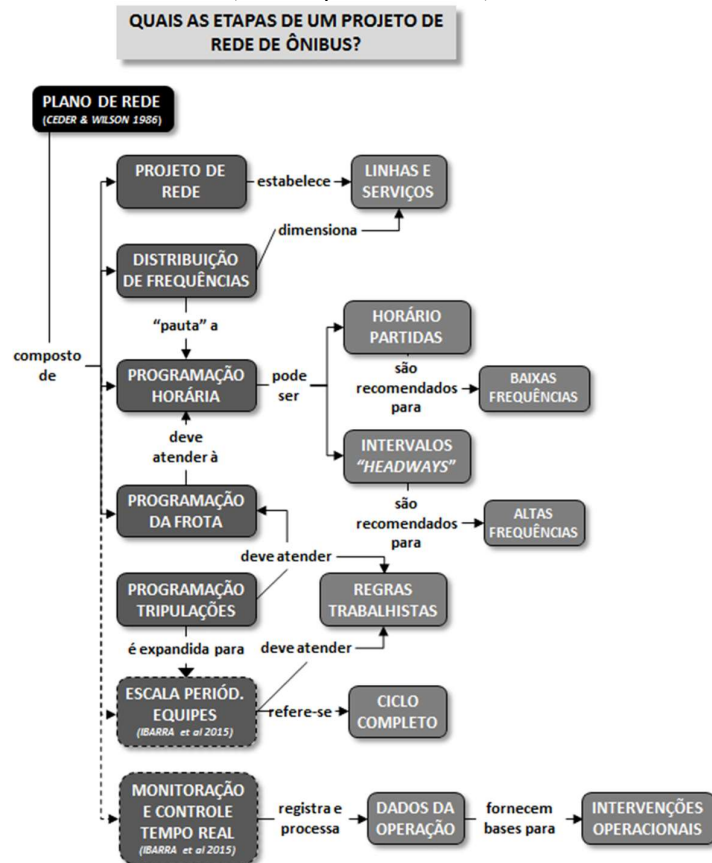
Dentre as diversas etapas do trabalho devem ser destacadas a obtenção de dados cartográficos e de tráfego, tratamento dos dados, criação do modelo e calibração deste. Sendo esta última etapa considerada como uma das mais importantes na sequência da criação de um modelo de tráfego, uma vez que é a responsável por validar a aproximação feita por meio do computador com a realidade verificada nas pesquisas de campo.

Os dados e considerações utilizados na construção do modelo, bem como os cenários propostos e os resultados apresentados, podem ser vistos em maior detalhe mais adiante neste trabalho.

3.2. Tese de mestrado de Arnaldo Luís Santos Pereira

Nesta qualificação para título de Mestre em Ciências, o autor Arnaldo Pereira faz uma revisão bibliográfica bastante completa a respeito do tema “intervenções na operação de sistemas de ônibus”. A dissertação parte de uma análise dos diversos elementos e etapas presentes na concepção de uma rede de transporte público (Figura 7).

Figura 7 - Etapas da elaboração de uma rede ônibus. Fonte: CEDER, WILSON, 1986 e IBARRA-ROJAS, 2015 apud PEREIRA, A. 2017



A dissertação expande essa estrutura com a proposição de possíveis intervenções no nível de operação dos ônibus, com o objetivo de maximizar a regularidade dos veículos em relação à sua programação horária e consequentemente aumentar a confiabilidade do sistema de ônibus.

O autor divide as medidas de intervenção conforme a localidade onde são aplicadas, isto é, se a alteração será dada na estação ou no espaço compreendido entre elas. Fica entendido do documento que a revisão bibliográfica feita se aprofundou mais nas mudanças realizadas nas estações. Dentre elas se destacam:

- **Paradas de Retenção** em pontos selecionados para regulação dos intervalos ("holding");
- **Limitação de Paradas** ("skip stops") para embarques e desembarques somente em pontos selecionados previamente, para ajuste dos intervalos e ou da lotação dos veículos;

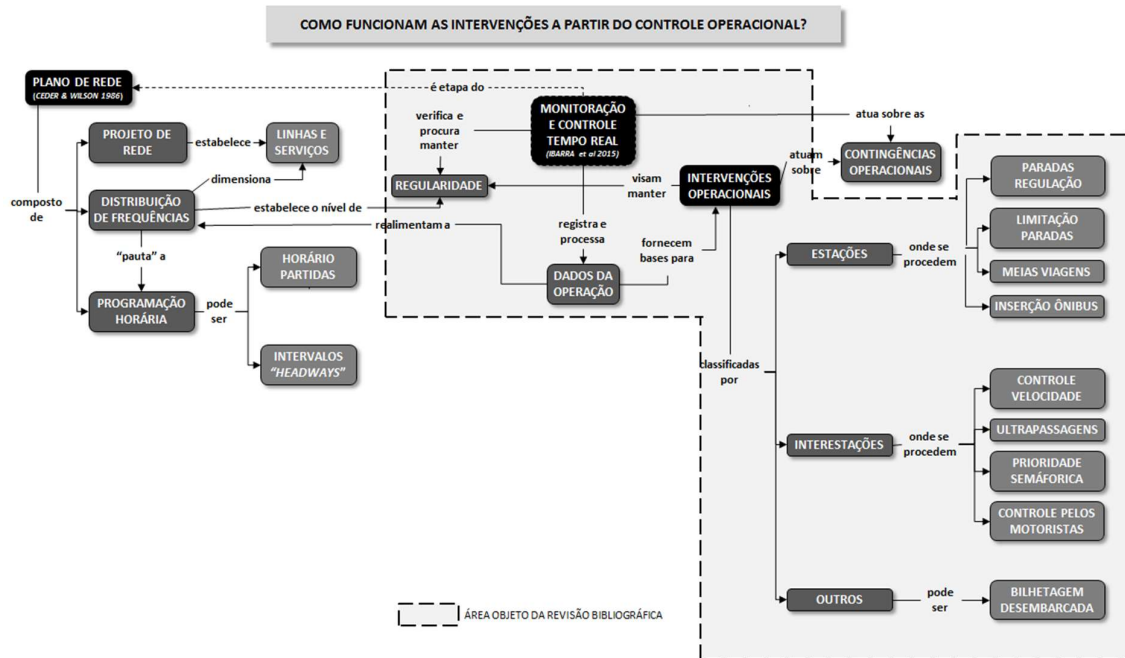
- **Meias Viagens** (“deadheading”), em que o veículo atende normalmente somente o sentido mais carregado e retorna ao ponto de origem sem atendimento no sentido do contra-pico, de forma a aumentar a oferta no sentido atendido;

Paralelamente, são destacadas as intervenções “entre as estações” mais estudadas na bibliografia:

- **O controle da velocidade** dos veículos durante a marcha, sob o comando da Central de Operações ou por comunicação entre operadores;
- **A prioridade semafórica** em que os ônibus exercem preferência, quando da aproximação de cruzamentos semaforizados;
- **A ultrapassagem entre veículos**, quando as condições físicas da via permitem, buscando reduzir o tempo de percurso ou, quando veículos da mesma linha estão com intervalos abaixo do desejado, o que também pode ocorrer quando os dois veículos estão com lotações desbalanceadas;
- **Inserção de Frota** que consiste na adição de veículo(s) em uma linha com o objetivo de aumentar a oferta ou substituir o veículo retirado de operação, facilitando a regularização dos intervalos; esse tipo de intervenção é comum entre os operadores de metrô.

Há ainda outros tipos de intervenção que são mencionadas no trabalho como aquelas que não se enquadram nos dois tipos definidos acima. Pode ser citada como exemplo a **Bilhetagem Desembarcada**, que afeta diretamente no tempo de embarque dos passageiros e consequentemente no tempo de parada dos ônibus. Pode-se ver na Figura 8 uma representação esquemática dos elementos integrantes de uma rede de ônibus e das formas de intervenção mencionadas.

Figura 8 - Intervenções na operação dos ônibus. Fonte: PEREIRA, 2017



São mencionados vários artigos sobre o tema, a maioria contemplando as intervenções nas estações. O autor ainda elabora uma tabela comparativa entre diversos estudos acerca do *holding* e *skip stops*. Com base na vasta revisão bibliográfica realizada foram classificados os artigos conforme a intervenção de estudo, as características de cada estudo e os resultados obtidos. Observa-se na Tabela 1 que todos os estudos consultados envolvem o uso de modelos de estudo e, na maior parte dos casos, simulações. Esta prática de elaboração do modelo e posterior simulação que foi identificada pelo autor é de grande relevância para o grupo uma vez que será explorada na próximas seções e fases deste estudo.

Tabela 1 - Comparação das bibliografias consultadas. Fonte: PEREIRA, 2017

Tipo de intervenção	Autor	Objetivo do trabalho	Objeto do estudo	Método de Controle	Equipamentos e Sistemas Requeridos	Tipo de Experimento	Resultados
Paradas para Regulação	Osuna e Newell (1972)	Otimização dos Tempos de Retenção	Linha de ônibus idealizada - uma estação	Não houve - somente programação	Nenhum	Modelo simples sem simulação	Limitados
	Barnett (1974)	Regularização de intervalos	Metrô Boston - 2 estações L. Vermelha	Não houve - somente programação	Nenhum	Dados reais - modelo sem simulação	Redução 10% no tempo espera
	Abkowitz; Eiger e Engelstein (1986)	Minimização total da espera, tendo como variáveis de decisão o ponto ótimo de controle e o valor limite para a retenção.	Linha de ônibus idealizada	Não houve - somente programação	Nenhum	Modelo simples sem simulação	Redução de 5% a 15% no tempo de espera
	Eberlein (1995)	Minimização do tempo total de espera dos passageiros em um serviço de trânsito urbano de alta frequência	Trecho da L. Verde Metrô Boston - "loop" com 52 estações em 2 sentidos	Dinâmico, com intervenções durante a operação	Previu, mas não empregou AVL, APC e Sistema Controle	Dados reais e modelo de simulação	Redução de 7% a 17% no tempo total de viagem
Paradas Limitadas ("skip stops")	Furth (1986)	minimizar os custos sociais da limitação num corredor de vias segregadas	Corredor com 19 estações e 23 linhas	Estático - programação	Nenhum - limitação programada	Simulação com dados reais do Corredor da Avenida Pajaritos em Santiago, Chile	Reduções do tempo total de viagem em torno de 10%
	Chiraphadhanakul e Barnhart (2013)	Modelar linhas comuns com serviços de paradas limitadas sem aumento frota	178 linhas - Rede não especificada	Estático - programação	Nenhum - limitação programada	Simulação com dados reais de 178 linhas de uma grande cidade	- 16% dos pax - aumento de tempo - 42% neutros - 42% ganho médio de 2,3 min

3.3.O fenômeno “bus bunching” e algumas estratégias para a sua mitigação

É importante nos corredores e faixas de ônibus - em especial em sistemas saturados - o problema do “bus bunching”, fenômeno em que as variações locais na operação de um veículo se propagam para toda a linha, causando agrupamentos veículos, geralmente aos pares. Estas variações podem ter as mais diversas causas. É interessante observar que alguns eventos que inserem variações na operação e podem causar o fenômeno citado são mais relevantes na realidade paulistana, em especial na Av. Paulista, do que em outros locais.

Entre as causas menos prováveis na realidade da faixa de ônibus estudada estão o tráfego de veículos lentos como bicicletas (improvável por existir a ciclovia, mais confortável e segura para este fim), operações irregulares de carga e descarga (por haver pouco motivo para esta atividade, considerando-se as características da calçada e do uso das construções da avenida) e operação de pontos de táxi (por serem inexistentes no local). Porém, são parte do contexto elementos que interferem com os ônibus, e por isso podem causar com frequência o fenômeno do “bus bunching”, ou apenas “bunching”. Entre estes elementos potencialmente problemáticos, estão as paradas para embarque ou desembarque de passageiros em veículos particulares - contratados por aplicativos ou por telefone - e o acesso ou saída de carros - entrando em ruas à direita ou saindo destas para a avenida.

Há ainda elementos de interferência inerentes à operação de uma linha de ônibus, como a operação dos semáforos, a velocidade habitual de cada motorista e a flutuação aleatória (ainda que seguindo uma clara tendência de picos) de demanda nas paradas.

Os mecanismos através dos quais o fenômeno da propagação ocorre são, conceitualmente, mais simples até do que as suas causas. Quando um ou mais dos fatores de interferência causa um atraso em um veículo, o tempo adicional que este demora para chegar à próxima parada permite que novos passageiros cheguem ao local, caso a demanda seja grande o suficiente. Estes passageiros causam um incremento no tempo de embarque (e, mais à frente quando forem deixar o veículo, no tempo de desembarque também). Com isso, não só o atraso existente é aumentado - causando o efeito descrito com maior intensidade na parada seguinte - como o efeito oposto ocorre com o ônibus seguinte, que foi aliviado de alguns passageiros, passando a ter tempos de embarque e desembarque menores. O que se observa então é que um veículo sofre atrasos progressivos, enquanto o seguinte fica cada vez mais adiantado em relação ao esperado.

O “bunching” afeta de forma bastante negativa o serviço. Os tempos de espera nas paradas ficam maiores e mais variáveis. Esta, que é uma das consequências finais do fenômeno, causa grande desconforto. O passageiro não apenas espera mais, mas fica com uma incerteza maior quanto ao tempo que passará na parada, local onde a percepção de tempo é mais intensa.

Diversas estratégias foram propostas para impedir que o serviço seja intensamente prejudicado. O artigo “Bus control strategies in corridors with signalized intersections” (Estrada et al, 2016) traz uma visão sobre estas estratégias, divididas pelo autor em dois grupos. Um grupo delas é baseado no princípio de prever a curto prazo o comportamento do sistema. Este grupo inclui contribuições relacionadas a pontos de retenção para regularização dos tempos de parada, como a sua proposição inicial (Barnett, 1974) e os desenvolvimentos feitos sobre estas propostas, como os procedimentos baseados em algoritmos genéticos para minimizar custos totais de passageiros (Yu e Yang, 2007).

Outro grupo é aquele cujas estratégias buscam a adaptabilidade da operação ao desempenho dos veículos em tempo real. Este princípio pode ser alcançado com a variação de velocidade dos ônibus para regularizar a distância temporal entre os veículos, podendo ser considerada apenas uma linha ou diversas linhas que se influenciam em determinado trecho.

Comparando com os grupos descritos acima ainda parece pouco explorada a priorização semaforica. A estratégia é simples: quando um ônibus se aproxima de uma interseção semaforizada, ocorre a comunicação do veículo com o

sistema que coordena o grupo de semáforos. É verificado então se há possibilidade de estender a fase verde, sem exceder um tempo máximo pré-estabelecido, de modo a tornar possível a passagem do veículo pela interseção sem parada. Em caso positivo, a transição para a fase vermelha é postergada até que o ônibus possa atravessar seguramente a interseção, evitando a parada. Entre as consequências estão o aumento da velocidade média, redução do tempo de espera nos pontos de ônibus (ou redução da frota necessária, mantendo-se o tempo médio de espera) e redução de custos.

A priorização semafórica é estudada por Estrada et al (2016) como forma de regularizar o headway. A ideia é que a intervenção seja aplicada apenas nos casos em que um ônibus está com uma diferença de tempo maior do que o planejado em relação ao anterior. Assim, o veículo atrasado teria na priorização uma vantagem de velocidade em relação àquele que está na sua frente, diminuindo o headway, que assim fica mais próximo do alvo e mais regular. O estudo concluiu que esta aplicação da priorização semafórica traz resultados mais satisfatórios que a simples utilização de tempos de espera ou variação de velocidade. O impacto da medida tem dependência maior das configurações dos semáforos do que da quantidade deles no percurso, e é maior quanto menos eficiente for a relação entre as saídas de ônibus e os tempos do ciclo semafórico.

No estudo de Estrada et al (2016) também foi mostrado que é de grande importância a relação entre o headway planejado para a linha e os tempos de ciclo dos semáforos. Esta relação é importante na medida em que os cenários com incompatibilidade entre estas grandezas se mostraram problemáticos, com desempenho instável do sistema, mesmo sem a introdução de interferências externas.

3.4. Artigo “Simulating performance impacts of bus lanes and supporting measures”

Este estudo, conduzido por Shalaby (1999), faz uso de um software de macrossimulação, o TRANSYT-7F, para avaliar o comportamento do tráfego de uma via arterial de Toronto conforme são aplicadas políticas de priorização dos ônibus em relação aos outros modais, principalmente em relação ao individual motorizado.

Utilizando dados fornecidos pelos órgãos de planejamento de transportes e das concessionárias de transporte público da cidade, o autor faz um modelo computacional da via arterial Bay Street e analisa o impacto da implantação da faixa exclusiva para ônibus, comparando os resultados obtidos entre os cenários com e sem a presença da faixa. A calibração do modelo com dados reais medidos permitiu ao autor obter simulações com imprecisões inferiores a 7,5%.

Este modelo calibrado permitiu então a estimativa dos impactos de políticas de priorização ao ônibus.

Além do impacto causado diretamente pela limitação do uso de uma faixa exclusivamente aos ônibus, o estudo também avalia o resultado de outras políticas de incentivo ao modal como a priorização semafórica por alongamento do tempo de verde ou a interrupção no ciclo semafórico. Ainda são estudados o impacto de políticas secundárias que costumam se dar em conjunto com a implantação de faixas exclusivas: a proibição de conversões à esquerda e a restrição à circulação de táxis na faixa.

Interessante notar a semelhança entre as características físicas entre a Bay Street e a Av. Paulista, ambas vias arteriais com faixas exclusivas de ônibus, localizadas do lado direito e que permitem a circulação de táxis com passageiros.

Os resultados obtidos mostram melhoras significativas no tempo de viagem dos ônibus conforme são aplicadas medidas de priorização dos mesmos, ver *Tabela 2*.

Tabela 2 - Performance geral da Bay Street antes e depois. Fonte: SHALABY, 1999.

TABLE 2. Performance Measures for Operations before and after Lane Introduction												
Case (1)	Average delay (s/vehicle) (2)	Average time (s/vehicle) (3)	Speed (km/h) (4)	Vehicle occupancy* (passenger/ vehicle) (5)	Vehicle travel (vehicle- km) (6)	Passenger travel (passenger- km) (7)	Vehicle delay (vehicle-h) (8)	Passenger delay (passenger- h) (9)	Vehicle travel (vehicle-h) (10)	Passenger travel (passenger- h) (11)	V/C (%) (12)	Fuel con- sumption (L) (13)
(a) Buses, northbound												
Before, a.m.	195.4	649	14.7	12.14	59.6	724	1.10	13.35	4.1	49.17	67	12.7
After, a.m.	189.2	636	14.4	18.23	85.1	1,550	1.72	31.36	5.9	107.56	65	17.5
Before, p.m.	208.3	816	11.2	28.10	48.3	1,358	1.07	30.07	4.3	120.83	74	10.6
After, p.m.	178.5	741	12.4	21.76	60.4	1,313	1.15	25.02	4.9	106.19	58	12.4
(b) Buses, southbound												
Before, a.m.	212.3	744	12.7	24.50	56.4	1,381	1.24	30.38	4.4	108.54	78	12.5
After, a.m.	194.0	698	13.1	25.70	69.8	1,793	1.56	40.09	5.3	137.24	76	15.0
Before, p.m.	212.0	763	12.4	15.64	45.6	713	0.96	15.01	3.7	57.40	81	10.4
After, p.m.	180.3	692	13.4	7.62	61.2	466	1.19	9.07	4.6	34.75	62	12.8
(c) Other vehicles, northbound												
Before, a.m.	199.6	441	21.0	1.00	1,289.7	1,290	27.82	27.82	61.4	61.38	67	270.6
After, a.m.	254.7	508	17.8	1.00	1,111.2	1,111	31.85	31.85	62.4	62.39	90	258.9
Before, p.m.	194.5	554	17.2	1.42	1,599.8	2,272	31.23	44.35	93.1	132.20	74	318.0
After, p.m.	199.7	500	18.7	1.45	1,208.5	1,752	25.62	37.15	64.6	93.66	82	247.7
(d) Other vehicles, southbound												
Before, a.m.	197.3	452	21.5	1.36	1,521.2	2,069	29.52	40.15	70.9	96.44	78	303.0
After, a.m.	227.8	501	19.2	1.46	1,132.4	1,653	26.00	37.96	58.9	86.04	73	237.5
Before, p.m.	221.4	579	16.2	1.47	1,612.4	2,370	37.14	54.60	99.4	146.07	81	341.0
After, p.m.	260.7	570	16.3	1.46	1,284.4	1,869	35.80	52.09	78.7	114.55	83	291.9

*This value is based on data (from city of Toronto) on passenger and vehicle volumes crossing cordon line almost middistance of Bay Street.

3.5. Artigo “Dynamic Extra Buses Scheduling Strategy in Public Transport”

O texto de Yu (2015) aborda a técnica de inserção de frota. Nele é estudado um modelo para determinar quando despachar um veículo extra, em uma linha de transporte público em que algum fator interveniente tenha ocasionado uma perda de confiabilidade na programação horária.

Os autores definem e aplicam um algoritmo heurístico que estima a confiabilidade do serviço e a estação inicial de atendimento do veículo inserido. O modelo visa maximizar o benefício que a inserção de um novo veículo proporciona aos passageiros. Para isso, o indicador usado no estudo foi o tempo médio de espera dos passageiros. Essa estratégia é normalmente combinada com estratégias de parada para regulagem, limitação de paradas e meias-viagens. Tal combinação se deve à necessidade de atender picos de demanda em pontos específicos da linha. Dessa forma, além do modelo indicar quando enviar um veículo adicional, também determinar quais estações serão atendidas pelo veículo extra.

Após a definição matemática do algoritmo, ele é aplicado em um exemplo simplificado, que visa demonstrar o funcionamento dos processos modelados. Em seguida é aplicado em dados reais de uma linha da cidade chinesa de Dalian. Como resultado da simulação sobre dados reais, foi obtida uma redução de 8,01% do tempo de espera médio dos passageiros.

O estudo chama a atenção pela simplicidade e pelo alto grau de aplicabilidade da técnica estudada. Vale ressaltar que se trata de uma prática comum em linhas metroviárias e ferroviárias. Contudo, a aplicação em linhas de ônibus é mais desafiadora, dadas as peculiaridades que tornam mais imprevisível e menos controlável desse modal.

3.6. Artigo “A self-coordinating bus route to resist bus bunching”

O artigo de Bartholdi & Eisenstein (2012) trata o tema da auto regulação do headway. Os principais objetivos do estudo são reduzir a variabilidade do tempo de headway e combater o fenômeno de bunching.

Os autores destacam diversas vezes que existem dois tipos de abordagem amplamente utilizadas na programação horária das linhas: a de meta de horário de chegada e a de meta de tempo entre veículos, o tempo de headway. Ambas visam a eficiência do sistema. Contudo, se fatores intervenientes desequilibrarem a oferta de transporte, poderão ocorrer atrasos e o fenômeno do agrupamento de veículos, geralmente devido à própria tentativa de alcançar as metas. Assim, o texto propõe uma abordagem alternativa que visa reduzir a

variabilidade dos tempos de headway, mas sem definir um valor pré-determinado.

No esquema proposto, num dado ponto de controle, a partida dos ônibus é dinamicamente atrasada - de modo a garantir espaçamentos regulares de tempo entre as chegadas nos pontos. Eventualmente isso poderá significar maior intervalo de tempo entre veículos, porém o objetivo de reduzir a variabilidade estará garantido. Dessa forma, o headway se ajustará dinamicamente na medida em que a demanda varia ao longo do tempo. A maior previsibilidade do sistema, mesmo em horários de pico, terá como efeito a redução no tempo de espera do passageiro.

O modelo foi testado em uma linha real de pequeno porte que atende o campus do Georgia Institute of Technology. O funcionamento da linha é baseado em programação horária e o desempenho (*performance*) é medido de acordo com a aderência aos horários programados. Após a aplicação da técnica proposta, o headway mínimo que antes era de 1 segundo, o que indica a ocorrência de bunching, passa para 2 minutos e 28 segundos. Quanto ao valor máximo de headway, que antes era de 19 minutos e 45 segundos, passou para 14 minutos e 59 segundos. Dessa forma, a confiabilidade de sistema foi otimizada e o agrupamento de ônibus foi reduzido. Além disso os motoristas entrevistados, após o experimento, relataram que sem a necessidade de seguir o horário, conseguiram se concentrar mais na direção em si.

Posteriormente o esquema foi testado por meio da simulação com dados reais de uma linha de maior porte, a linha 63 da Chicago Transit Authority. Na simulação, a estratégia de auto regulação foi comparada com as de programação horária e headway como alvo. Além desses, também foi simulada uma estratégia de headway mínimo, que representa um caso particular do modelo estudado. As estratégias foram simuladas nas condições normais de operação, num contexto de redução de velocidade e num contexto de demanda reduzida. Em todos os cenários a auto regulação teve melhor desempenho em reduzir o desvio padrão do tempo de headway e consequentemente teve melhor desempenho em reduzir a média e o desvio padrão do tempo de espera dos passageiros.

O texto chama a atenção pela notável eficiência do esquema proposto, mesmo sendo consideravelmente simples no nível operacional. A proposta dos autores foge da abordagem comum de estabelecimento de metas de tempo e busca ajustar dinamicamente o tempo entre veículos de forma a alcançar um valor natural de equilíbrio do sistema que reduza a variabilidade. Com isso, aumenta-se a confiabilidade do sistema e como benefício adicional os motoristas deixam de precisar desviar a atenção para conferir o atendimento aos horários programados e conseguem se focar mais na direção.

4. PARTE PRÁTICA

4.1. Características da estrutura de transportes

Com início na Praça Oswaldo Cruz e término na Rua da Consolação, a Av. Paulista tem, ao longo de seus 2,7 km, 18 interseções, das quais 14 são semaforizadas. Suas quatro faixas em cada sentido, com uma delas sendo exclusiva para ônibus, chegam a receber em um dia típico mais de 4 mil veículos por hora em ambos os sentidos (CET, 2016).

A avenida é atendida também por duas linhas de metrô. As três estações localizadas na avenida (Consolação, Trianon-Masp e Brigadeiro) pertencem à linha 2-Verde. Na Rua da Consolação existe ainda a estação Paulista, da linha 4-Amarela, no cruzamento das duas e fisicamente integrada à estação Consolação da Linha 2. A linha verde, mais antiga, transporta cerca de 670 mil passageiros diariamente (METRO, 2017), enquanto a mais recente e ainda incompleta linha amarela é responsável pelo transporte de cerca de 600 mil passageiros por dia (VIA QUATRO, 2012), ver Figura 9.

Figura 9 - Disposição das estações da Linha 2 - Verde do Metrô de São Paulo. Fonte: METRO, 2017



A Av. Paulista ainda conta com uma ciclovia que se estende por toda a avenida. O relevo plano e o fato de estar localizada no canteiro central, completamente segregada dos automóveis, torna este modo também atrativo para os deslocamentos ao longo da avenida. Fica claro, portanto, que a Av. Paulista está bem servida de infraestrutura de transportes, com uma variedade de modais que não se encontra com facilidade em outros locais.

A Tabela 3 traz a contagem de automóveis e ônibus em uma seção da Av. Paulista, localizada entre as ruas Ministro Rocha Azevedo e Padre João Manuel.

Tabela 3 - Volumes de automóveis e ônibus em um dia típico do ano de 2014 na Av. Paulista, entre a Alameda Min. Rocha Azevedo e a Rua Padre João Manuel. Fonte: Mobilidade no Sistema Viário Principal (CET, 2015)

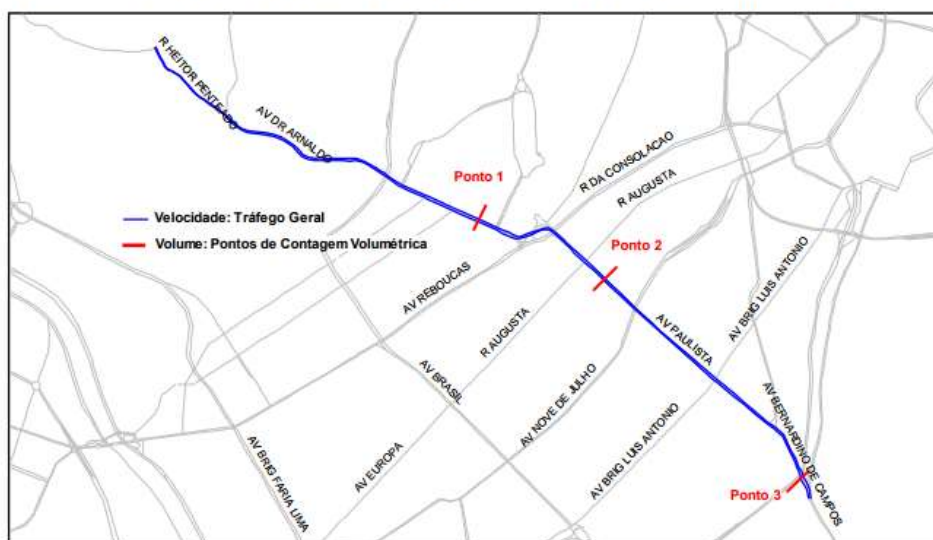
Sentido	Automóveis		Ônibus	
	Hora-pico manhã	Hora-pico tarde	Hora-pico manhã	Hora-pico tarde
Paraíso	1818	1645	132	98
Consolação	2623	2325	112	86
Total	4441	3970	244	184

A mesma pesquisa divide as principais vias do sistema viário da cidade de São Paulo em rotas, nas quais além de serem realizadas contagens de veículos ainda são feitas medições de velocidade e posterior análise dos dados.

A Av. Paulista faz parte da rota denominada como 13G, composta pelo corredor formado pela Rua Heitor Penteado, Av. Doutor Arnaldo, Av. Paulista e Av. Bernardino de Campos. Estas vias compõem o chamado espigão paulistano e estão situadas justamente na região de topografia mais elevada da cidade, justificando seu apelido, ver Figura 10.

Figura 10 - Vias que compõem a rota 13G com os pontos de contagem de volume. Fonte: CET, 2015

Rota 13G - Av. Heitor Penteado, Av. Dr. Arnaldo, Av. Paulista, Av. Bernardino de Campos



Segundo a mesma pesquisa, a rota 13G está entre as 15 rotas (de um total de 38) com os piores retardamentos do tráfego, causados por congestionamentos e interseções semaforizadas. Vale lembrar que este retardamento afeta não

apenas os automóveis, mas também os ônibus que percorrem a via, uma vez que transitam em faixas exclusivas - porém sujeitas a interferências de congestionamentos e interseções semaforizadas, ver Tabela 4.

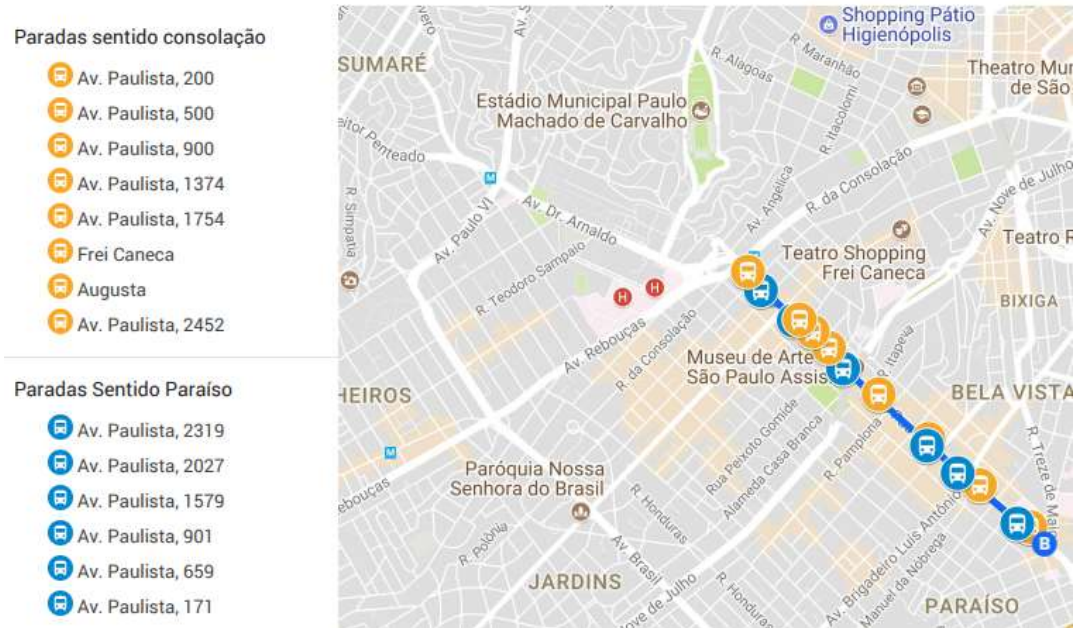
Tabela 4 - Ranking das rotas com os maiores retardamentos percentuais por pico e sentido.
Fonte: CET, 2016

Rota	Locais	Manhã						Tarde					
		Bairro-Centro			Centro-Bairro			Bairro-Centro			Centro-Bairro		
		Congest.	Semaf.	Ret. Total	Congest.	Semaf.	Ret. Total	Congest.	Semaf.	Ret. Total	Congest.	Semaf.	Ret. Total
01G	Av. Eusébio Matoso, Av. Rebouças, R. da Consolação	13º	12º	15º	2º	19º	12º	1º	15º	2º	3º	15º	6º
02G	R. Clélia, R. Guaicurus, Av. Francisco Matarazzo, Av. São João	5º	7º	4º	13º	6º	8º	17º	9º	12º	19º	5º	14º
04G	Av. Zaki Narchi, Av. Santos Dumont, Av. Prestes Maia	3º	17º	2º	22º	9º	14º	22º	14º	19º	3º	10º	2º
05G	Av. Luís Dumont Villares, Av. Cruzeiro do Sul, Av. do Estado	11º	11º	12º	6º	13º	9º	9º	15º	12º	12º	14º	17º
06G	Av. Celso Garcia, Av. Rangel Pestana				19º	7º	10º				19º	8º	18º
07G	Radial Leste (R. Melo Freire, Av. Alcântara Machado)	2º	21º	6º	9º	17º	16º	11º	21º	19º	8º	19º	15º
09G	R. Vergueiro, R. Domingos de Moraes, Av. Jabaquara, Av. Armando de Arruda Pereira	20º	2º	8º	19º	3º	5º	20º	1º	2º	16º	3º	7º
10G	Av. Washington Luís, Av. Rubem Berta, Av. 23 de Maio	5º	23º	21º	22º	23º	25º	22º	23º	24º	23º	23º	26º
12G	Av. Cidade Jardim, Av. 9 de Julho	15º	9º	17º	4º	15º	10º	9º	7º	6º	5º	13º	3º
13G	Av. Heitor Penteado, Av. Dr. Arnaldo, Av. Paulista	22º	5º	15º	6º	9º	6º	15º	5º	8º	17º	4º	11º
14G	Elevado Costa e Silva, Ligação Leste-Oeste	16º	23º	24º	13º	23º	24º	22º	23º	24º	15º	23º	24º
15G	Rótula Central (R. Maria Paula, Av. Sen. Queiróz,	20º	5º	3º	18º	8º	10º	20º	8º	18º	10º	3º	4º

4.2. Operação dos ônibus na Avenida

Segundo a SPTrans, existem 25 linhas de ônibus diferentes que percorrem a avenida em algum momento de seu trajeto, sendo que a grande maioria a percorre por toda sua extensão, de 2.700 metros. Ao todo são 13 pontos de parada de ônibus, dispostos pela via, sendo 7 no sentido Consolação e 6 em direção ao Paraíso, ver Figura 11.

Figura 11 - Paradas de Ônibus na Avenida Paulista. Fonte: SPTrans, 2016 e Google, 2017



Deve-se notar que algumas linhas de ônibus não realizam paradas em todos os pontos existentes na avenida. Esta estratégia pode ser adotada para evitar que ocorra a concentração de muitos ônibus em um único ponto e a consequente saturação da faixa, gerando filas e atrasos nas operações.

Segundo o itinerário fornecido pela SPTrans algumas linhas não percorrem a Av. Paulista em sua extensão total, aproveitando a via apenas em uma pequena parte. Desta forma alguns trechos da avenida ficam mais carregados de ônibus e necessitam de alguns ajustes, como a extensão de alguns pontos de parada, ver Tabela 5.

Tabela 5 - Relação das linhas de ônibus que percorrem a Av. Paulista. Fonte: SPTrans, 2017

Linha	Letreiro Ida	Letreiro Volta	Percurso na Avenida Paulista
175P-10	ANA ROSA	METRÔ SANTANA	Total
477A-10	TERM. PINHEIROS	SACOMÃ	Parcial (Extremamente curto)
478P-10	POMPÉIA ATÉ VL. ROMANA	SACOMÃ	Total
508L-10	ACLIIMAÇÃO	TERM. PRINCESA ISABEL	Total
715M-10	LGO. DA PÓLVORA	JD. MARIA LUIZA	Total
775P-10	METRÔ ANA ROSA	JD. GUARAÚ	Total
805L-10	ACLIIMAÇÃO	TERM. PRINCESA ISABEL	Total
809V-10	PAULISTA	VL. GOMES	Parcial
857P-10	PARAÍSO	TERM. CAMPO LIMPO	Total
857P-21	PARAÍSO	CAMPO LIMPO	Total
857R-10	ACLIIMAÇÃO	TERM. CAMPO LIMPO	Total
857R-41	ANA ROSA	EST. HEBRAICA REBOUÇAS	Total
874C-10	METRÔ - TRIANON MASP	PQ. CONTINENTAL	Parcial
874T-10	LAPA	IPIRANGA	Total
875A-10	PERDIZES	AEROPORTO	Total
875H-10	METRÔ VL. MARIANA	TERM. LAPA	Total
875P-10	METRÔ ANA ROSA	METRÔ BARRA FUNDA	Total
877T-10	METRÔ PARAÍSO	VL. ANASTÁCIO	Total
917H-10	METRÔ VL. MARIANA	TERM. PIRITUBA	Total
917M-10	METRÔ ANA ROSA	MORRO GRANDE	Total
917M-31	METRÔ ANA ROSA	MORRO GRANDE	Total
975A-10	METRÔ ANA ROSA	VL. BRASILÂNDIA	Total
N506-11	METRÔ VL. MADALENA	TERM. SACOMÃ	Total
669A-10	TERM. PRINC. ISABEL	TERM. STO. AMARO	Total
CT01-1	CIRCULAR	TURISMO	Total

Com os dados fornecidos pela SPTrans é possível encontrar um número aproximado de ônibus que passam pela Av. Paulista nos horários de pico. Para isso é necessário estimar as distâncias entre o ponto inicial de cada linha e a chegada da linha à avenida, além de uma velocidade média. Foi utilizada a velocidade média informada pela SPTrans em 2016, de 16 km/h no pico da manhã e 17 km/h no pico da tarde. Assim, foi encontrada a quantidade aproximada de veículos em cada sentido, em cada período, que pode ser vista na Tabela 6.

Tabela 6 - Número de veículos por linha nos picos da manhã e tarde. Fonte: SPTrans, 2017

Linha	Pico manhã		Pico tarde	
	Paraíso	Consolação	Paraíso	Consolação
175P-10	5	6	13	15
477A-10	-	-	-	-
478P-10	4	4	11	11
508L-10	4	4	12	12
715M-10	7	7	13	13
775P-10	3	3	6	7
805L-10	-	5	-	12
809V-10	5	5	12	11
857P-10	7	8	18	19
857P-21	-	-	-	-
857R-10	8	13	18	19
857R-41	-	5	-	-
874C-10	5	5	10	11
874T-10	5	4	11	9
875A-10	6	6	15	14
875H-10	9	11	19	21
875P-10	5	6	13	14
877T-10	3	4	8	9
917H-10	10	9	19	19
917M-10	7	6	12	14
917M-31	2	-	-	3
975A-10	6	4	9	11
N506-11	-	-	-	-
669A-10	8	9	16	13
CT01-1	-	-	-	-

Ocorre ainda das faixas exclusivas para ônibus estarem localizadas ao lado direito da avenida, sujeitas portanto a conflitos entre o movimento dos ônibus e o de automóveis fazendo a conversão à direita (seja entrando ou saindo da avenida). Tal conflito ocasiona filas e gera atrasos na operação das linhas, além de oferecer risco de colisão entre o ônibus e o veículo que ocupa a faixa exclusiva. Este fenômeno foi estudado por (SHALABY, 1999) que, por meio de macrossimulações, estimou o atraso no tempo das viagens dos ônibus, devido às interferências com o movimento de conversão à direita dos automóveis.

4.3. Modelagem computacional da Avenida

Quando se trata de modelos computacionais para a simulação do fenômeno de fluxo de tráfego, estes modelos podem ser divididos em dois grandes grupos: macro e micromodelos. Ambos os tipos de modelos têm como objeto de estudo o deslocamento de passageiros em um ambiente de controle, porém cada um numa escala diferente.

4.3.1. Macromodelos

Macromodelos matemáticos são utilizados para simular a rede viária em grande escala, como o território de um município. Macromodelos são capazes de representar uma região metropolitana inteira, porém não são muito sensíveis a mudanças a curto prazo. (HARDY, M., WUNDERLICH, K., 2007)

Macromodelos estão voltados principalmente ao estudo de áreas extensas, como um bairro ou município por exemplo. Os principais parâmetros de entrada envolvidos neste tipo de estudo são:

- Rede;
- Matriz Origem-Destino;
- Dados reais para calibração do modelo;

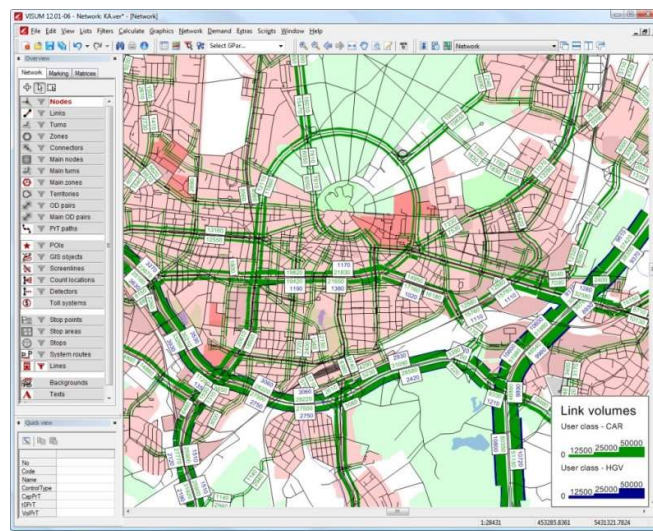
A rede é representada pela disposição das vias e suas conexões no espaço, nestes elementos estão embutidos outros parâmetros como capacidade (em veículos por hora), velocidade de fluxo livre, restrição de curvas à direita ou esquerda, tempos semafóricos e uma série de outros *inputs* que tem a finalidade de representar a estrutura física da rede de transportes em estudo.

A matriz origem-destino, por sua vez, tem o intuito de representar o deslocamento das pessoas que utilizam aquela rede em suas viagens. Em suas linhas e colunas estão dispostas as diversas zonas de origem e de destino, cujo valor contido em suas células representam a quantidade de viagens que são realizadas entre estes pares de zonas em um dado período de tempo. Em São Paulo, o METRO é o órgão responsável por realizar esta pesquisa de viagens. Um questionário sobre os deslocamentos é respondido por um número representativo de famílias e, baseado nas respostas obtidas, é elaborada a matriz origem-destino para os picos da manhã e tarde.

Em posse das informações a respeito da infraestrutura viária e dos desejos de deslocamento ao longo desta, o macrossimulador aloca as viagens ao longo das vias que compõem a rede (chamadas de *links*) utilizando o método de quatro etapas, que não será detalhado neste estudo. Uma vez obtida a rede que se

deseja simular, os fluxos de tráfego e as teóricas viagens que ocorrem sobre esta (teóricas pois necessitam de comprovação) é necessária a calibração da rede, em que os carregamentos simulados são confrontados com dados reais disponíveis, permitindo a reconfiguração dos parâmetros dos componentes do modelo. A obtenção dos dados reais são realizadas pesquisas de campo, onde podem ser feitas contagens desde manuais ou até com o uso de sensores dispostos em seções estratégicas da cidade.

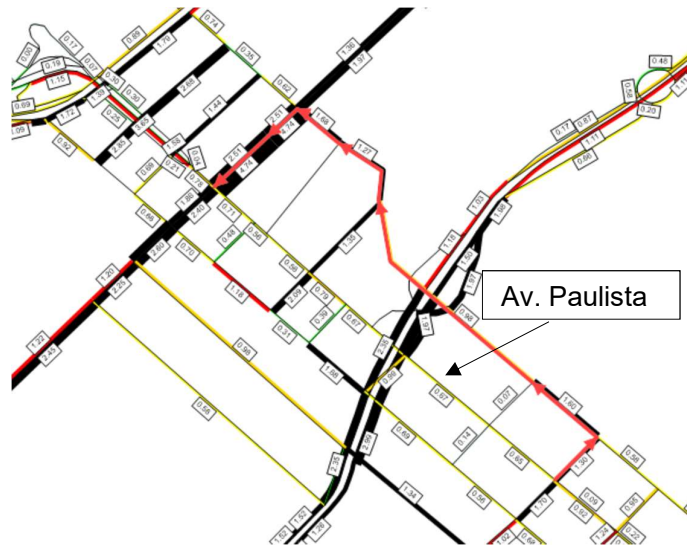
Figura 13 - Exemplo de macrossimulação do sistema viário de Karlsruhe, Alemanha, sede do grupo PTV. Fonte: PTV, 2017.



A Figura 13 traz a saída gráfica de um dos produtos fornecidos pelo software de macrossimulação do grupo PTV, o VISUM. Em verde estão representados os carregamentos dos *links* que constituem a rede do sistema viário de Karlsruhe, sede do grupo na Alemanha. A partir da disposição das vias e dos desejos de deslocamentos, ao longo desta, o programa aplica o método 4 etapas – Geração de Viagens, Distribuição, Divisão Modal e Alocação – e proporciona ao usuário a realização da análise de sua preferência.

Cabe aqui citar o trabalho realizado por MUSSO *et al* (2017), mencionado anteriormente na seção de revisão bibliográfica. Este grupo se dedicou à elaboração e calibração do modelo de uma área central da cidade de São Paulo utilizando o *software* de macrossimulação VISUM. Em uma etapa posterior de seu trabalho, o grupo simulou um cenário de interdição parcial do tráfego da avenida, onde se modelou a ocasião de uma manifestação, que ocupasse uma das pistas em sua totalidade, pela extensão de um quarteirão. A Figura 14 traz a saída gráfica do VISUM indicando os níveis de serviço das vias em escala de cores.

Figura 14 - Saída gráfica do software VISUM para a simulação do cenário de interrupção parcial do fluxo de tráfego na Av. Paulista. Fonte: MUSSO et al, 2017



4.3.2. Micromodelos

Micromodelo é o modelo matemático de uma rede viária com a finalidade de prever o comportamento dos veículos na rede. A micro-simulação permite a identificação de gargalos no trânsito e suas possíveis soluções (MARTE et al, 2015).

A microssimulação está voltada para a análise de áreas reduzidas, porém com um maior nível de detalhe, sendo capaz de reconhecer individualmente veículos e pedestres. Com o uso de microssimuladores obtém-se produtos como a evolução dos deslocamentos e o cálculo de filas ao passo de segundos. Este tipo de análise é extremamente útil para o dimensionamento de sistemas de transporte menores ou modelagem de fenômenos localizados. Como exemplo podem ser citadas as simulações realizadas pela CET com a utilização do software VISSIM, do grupo PTV. O programa foi utilizado para a criação de um modelo do tráfego que traduzisse o comportamento do complexo viário que engloba a Arena Corinthians em Itaquera. Debaixo do contexto da Copa do mundo de 2014, o megaevento que atraiu centenas de milhares de turistas para a região, a CET pode verificar de que maneira eram formadas as filas para entrada nos estacionamentos do estádio e como estas se desenvolviam. Ver Figura 15.

Figura 15 - Saída gráfica do software VISSIM. Fonte: PTV Group, 2017



A construção de um modelo computacional nesta escala consiste em um processo composto simplificadaamente pelas seguintes etapas:

- Construção da rede;
- Alocação de volumes;
- Calibração do modelo;
- Análise de resultados e cenários;

A construção da rede é a etapa onde são criadas as vias, que aqui chamaremos de links, e as conexões que as interligam. Entram nesta etapa também a construção de diversos outros elementos intimamente relacionados ao funcionamento dos links como semáforos, faixa de pedestres e zonas de desaceleração, por exemplo. Todo elemento que compõe a rede é caracterizado por um conjunto de parâmetros que darão as particularidades daquela entidade. O semáforo, por exemplo, é caracterizado por suas fases e cada uma por seus respectivos tempos de verde, amarelo e vermelho (ciclo semaforico). O link por sua vez tem por parâmetros desde aspectos geométricos como extensão, número de faixas e largura das faixas até aspectos operacionais, que são aqueles que definem a maneira como os veículos irão se deslocar sobre aquele link. Alguns exemplos de parâmetros operacionais são a velocidade da via, restrições veiculares e modelo de comportamento dos motoristas.

Definidos e caracterizados os elementos que compõem a rede, é obtida a primeira versão do micromodelo sobre a qual serão dispostos os veículos e posteriormente analisados os deslocamentos.

A etapa subsequente consiste na alocação de volumes sobre a rede construída. São definidas no modelo as seções de entrada dos veículos na rede e,

similarmente aos elementos de construção da rede, são definidos parâmetros característicos de cada entrada: número de veículos, composição dos tipos veiculares, distribuição temporal das entradas entre outros. Geralmente são utilizados dados reais de contagem dos veículos para que o modelo seja o mais representativo possível. Porém, existem casos onde estes dados não estão disponíveis, seja porque não são realizadas contagens naquele local ou até mesmo por estarem ainda em fase de projeto para uma futura construção. Para estes casos são utilizadas estimativas extraídas das mais diversas formas, sendo uma possibilidade a extração do dado a partir dos resultados de um macromodelo que contém a região em estudo.

Segue-se então para a etapa de validação do modelo construído, este processo é feito confrontando os resultados obtidos das simulações com dados reais obtidos por medições. A partir deste confronto são ajustados os parâmetros do modelo até que se obtenha uma diferença dentro do máximo aceitável para considerar o modelo como representativo da realidade. Os parâmetros do modelo que serão ajustados são escolhidos a partir das particularidades de cada estudo, entretanto costumam ser ajustados os parâmetros operacionais uma vez que os geométricos já são definidos com dados reais.

Por fim está a análise dos resultados obtidos com o modelo devidamente calibrado. Esta etapa consiste na leitura dos fatos observados na simulação e posterior interpretação destes, concluindo a atividade que foi chamada neste texto por “entendimento da região de estudo”. Uma vez compreendida a região e suas particularidades passa-se para uma fase de elaboração de cenários, onde podem ser testadas intervenções para mitigar as filas formadas ou até mesmo prever o comportamento das vias em situações adversas.

4.3.3. O micromodelo da Av. Paulista

4.3.3.1. Construção da rede

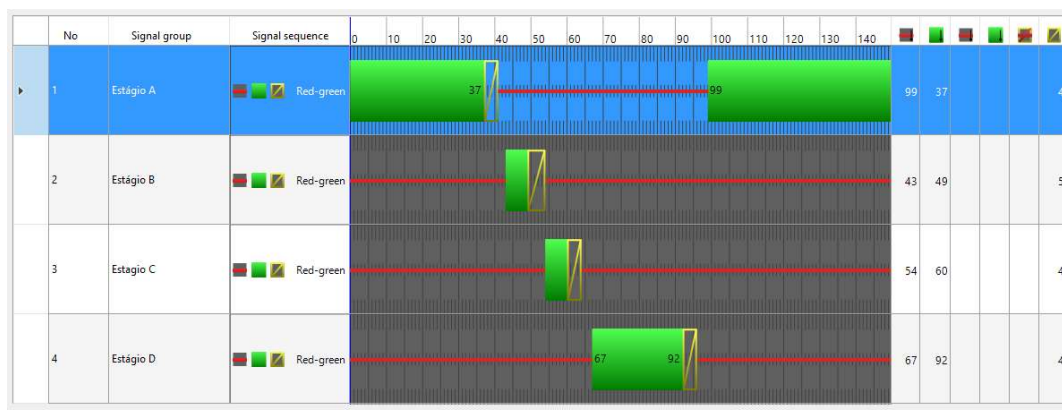
A elaboração do modelo computacional da Avenida Paulista foi feita na região compreendida entre a Rua Frei Caneca e Alameda Ministro Rocha Azevedo, totalizando uma extensão de aproximadamente 200 metros da avenida. O local foi escolhido pelo fato de ser o mesmo onde a CET realiza a Pesquisa de Desempenho do Sistema Viário, logo, haveria a disponibilidade de dados tanto de volume quanto de velocidade para a construção da rede e calibração, respectivamente.

Dentro desta extensão a Avenida Paulista conta com faixas exclusivas para ônibus, em ambos os sentidos, havendo a presença de um ponto de parada no

bordo direito da pista sentido Consolação. Segundo dados da SPTrans, das 9h00 às 10h00 da manhã há 18 linhas diferentes que passam por essa parada e em média ocorre a parada de um ônibus a cada 34 segundos.

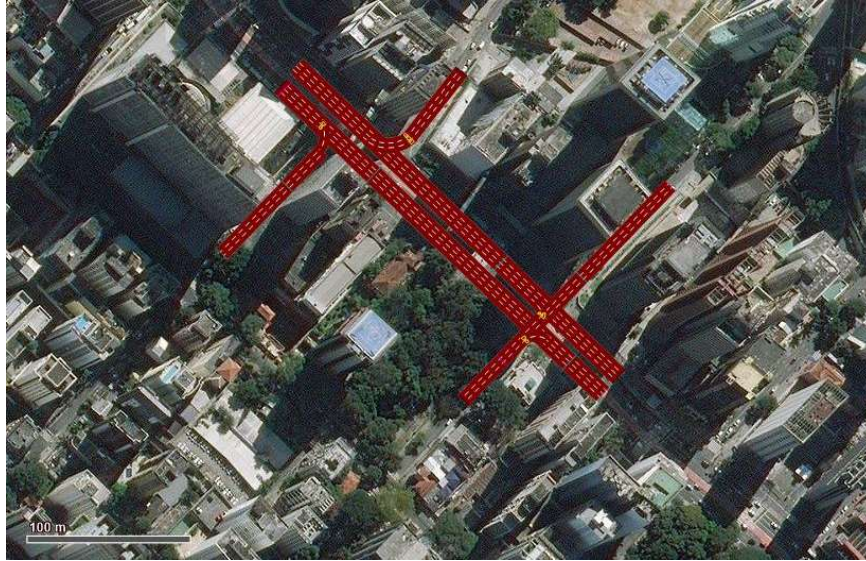
Há ainda a presença de uma larga faixa de pedestres semaforizada, que conecta ambos os lados da Avenida. Entende-se que esta faixa se encontra na mesma seção que são realizadas as pesquisas da CET. Além da faixa de pedestres há também controle por semáforo no cruzamento entre a Av. Paulista e a Al. Min. Rocha Azevedo. Ambos os cruzamentos são compostos por semáforos de duas fases, compostos por tempos de verde, vermelho e amarelo absolutos, isto é, não há períodos de amarelo piscando ou sobreposição de tempos de verde entre fases diferentes. Ver Figura 16.

Figura 16 – Programação semafórica da interseção entre a Av. Paulista e Al. Min. Rocha Azevedo. Fonte: PTV/VISSIM/SARAIVA, 2017



Por fim, foram alocadas regiões de redução de velocidade, imediatamente antes das curvas de acesso e egresso à Av. Paulista, de forma a tornar estes movimentos compatíveis com o observado do comportamento dos motoristas, que acionam o pedal do freio antes de realizar a conversão. A Figura 17 traz o micromodelo no momento final da fase de construção da rede e sua implantação.

Figura 17 – Implantação do micromodelo. Fonte: PTV/VISSIM/SARAIVA, 2017



4.3.3.2. *Input de volumes*

Para esta etapa foram necessários como *input* do programa VISSIM informações tanto de contagem, quanto de composição dos veículos que transitam pelos *links* do micromodelo. Para o fluxo de veículos na Av. Paulista foram utilizados os dados de 2015 da Pesquisa de Monitoração da Mobilidade da CET que foram publicados apenas em 2016, ver da Tabela 7 à Tabela 10:

Tabela 7 – Contagem e composição de veículos na Av. Paulista sentido Consolação durante o pico da manhã. Fonte: CET, 2016

Pico Manhã									
Hora	Auto	Ônibus		Cami-nhões	Motos	Bici-cletas	Volume Total		FHP
		Urb	Fret				Simp.	Equiv.	
07:00 - 08:00	2.487	100	1	4	200	38	2.830	2.910	
07:15 - 08:15	2.509	107	1	5	233	41	2.896	2.982	
07:30 - 08:30	2.521	110	1	6	283	46	2.967	3.053	
07:45 - 08:45	2.437	106	0	7	311	49	2.910	2.990	
08:00 - 09:00	2.552	114	1	7	345	55	3.074	3.159	
08:15 - 09:15	2.479	107	1	5	378	61	3.031	3.103	
08:30 - 09:30	2.532	109	1	4	376	65	3.087	3.157	
08:45 - 09:45	2.623	112	1	3	403	65	3.207	3.279	0,95
09:00 - 10:00	2.485	106	1	5	404	62	3.063	3.133	
Total 3 horas	7.524	320	3	16	949	155	8.967	9.202	0,94

Tabela 8 – Contagem e composição de veículos na Av. Paulista sentido Consolação durante o pico da tarde. Fonte: CET, 2016

Pico Tarde									
Hora	Auto	Ônibus		Cami-nhões	Motos	Bici-cletas	Volume Total		FHP
		Urb.	Fret				Simp.	Equiv.	
17:00 - 18:00	2.325	86	3	5	493	79	2.991	3.032	0,97
17:15 - 18:15	2.254	84	3	5	482	87	2.915	2.949	
17:30 - 18:30	2.273	82	3	4	492	89	2.943	2.972	
17:45 - 18:45	2.247	84	4	4	503	90	2.932	2.964	
18:00 - 19:00	2.191	92	4	3	483	86	2.859	2.900	
18:15 - 19:15	2.177	90	3	3	462	87	2.822	2.860	
18:30 - 19:30	2.163	95	2	3	392	91	2.746	2.785	
18:45 - 19:45	2.171	95	1	2	335	90	2.694	2.732	
19:00 - 20:00	2.161	93	1	2	290	82	2.629	2.670	
Total 3 horas	6.677	271	8	10	1.266	247	8.479	8.603	0,95

Tabela 9 – Contagem e composição de veículos na Av. Paulista sentido Paraíso durante o pico da manhã. Fonte: CET, 2016

Pico Manhã									
Hora	Auto	Ônibus		Cami-nhões	Motos	Bici-cletas	Volume Total		FHP
		Urb.	Fret				Simp.	Equiv.	
07:00 - 08:00	1.832	136	4	2	213	25	2.212	2.337	
07:15 - 08:15	1.833	139	4	2	254	31	2.263	2.387	
07:30 - 08:30	1.847	140	4	2	281	28	2.302	2.429	
07:45 - 08:45	1.810	132	4	1	314	32	2.293	2.409	
08:00 - 09:00	1.818	132	2	3	346	39	2.340	2.451	0,94
08:15 - 09:15	1.783	133	2	3	365	42	2.328	2.438	
08:30 - 09:30	1.767	130	2	3	357	51	2.310	2.411	
08:45 - 09:45	1.749	134	1	4	348	52	2.288	2.392	
09:00 - 10:00	1.684	134	1	3	313	45	2.180	2.288	
Total 3 horas	5.334	402	7	8	872	109	6.732	7.076	0,97

Tabela 10 – Contagem e composição de veículos na Av. Paulista sentido Paraíso durante o pico da tarde. Fonte: CET, 2016

Pico Tarde									
Hora	Auto	Ônibus		Cami-nhões	Motos	Bici-cletas	Volume Total		FHP
		Urb.	Fret				Simp.	Equiv.	
17:00 - 18:00	1.588	96	4	2	336	71	2.097	2.151	
17:15 - 18:15	1.575	97	3	3	338	89	2.105	2.148	
17:30 - 18:30	1.645	98	2	3	347	96	2.191	2.230	0,91
17:45 - 18:45	1.563	98	1	3	333	108	2.106	2.136	
18:00 - 19:00	1.569	89	1	3	334	116	2.112	2.127	
18:15 - 19:15	1.635	86	1	2	323	114	2.161	2.174	
18:30 - 19:30	1.534	81	0	3	284	111	2.013	2.023	
18:45 - 19:45	1.533	77	0	2	232	98	1.942	1.955	
19:00 - 20:00	1.567	84	0	2	205	101	1.959	1.977	
Total 3 horas	4.724	269	5	7	875	288	6.168	6.256	0,95

Percebe-se que, tanto para o sentido Consolação, quanto para o sentido Paraíso o período de pico crítico se dá durante a manhã. A ausência do caráter pendular dos movimentos pode ser explicada pela Av. Paulista não se desenvolver em

uma direção radial, onde são bem definidos os picos da manhã e tarde em sentidos inversos. A Av. Paulista tem direção predominantemente perimetral sendo, portanto, carregada em ambos os sentidos, nos dois períodos de pico.

Independente da não verificação do fenômeno pendular para estes dados, é possível ainda identificar o sentido Consolação, durante o período da manhã, como aquele com o maior volume de automóveis. Proporcional ao fluxo de automóveis na via está a interferência destes no movimento dos ônibus, objeto deste estudo.

Feitas as considerações acima, o grupo optou por escolher o período da manhã para estudo, especificamente o horário compreendido entre 9h e 10h da manhã, pois especificamente neste período há apenas um plano semafórico atuando que será visto adiante.

Para o cálculo das composições dos veículos foram feitas duas considerações simplificadoras:

- O número de caminhões e bicicletas frente ao total de veículos é desprezível;
- O efeito das motocicletas no movimento dos ônibus é mínimo;

A primeira delas pode ser facilmente verificada na contagem de veículos realizada pela CET, a parcela ocupada pelos dois modos somados não atinge sequer 3% dos veículos.

A hipótese que desconsidera o efeito das motocicletas no movimento dos ônibus tem fundamento na faixa exclusiva para ônibus, onde não é permitida a presença de outros veículos. Esta hipótese é útil para considerar que a motocicleta terá tratamento igual ao dos carros, ou seja, veículos que transitam pelas faixas externas à exclusiva para os ônibus.

Deve-se ainda lembrar que não há linhas de ônibus presentes nas vias transversais deste micromodelo, portanto foi adotada uma composição de tráfego exclusiva de automóveis nestas vias do micromodelo. Para a Av. Paulista foi também adotada uma composição exclusiva de automóveis, de forma que os ônibus fossem inseridos como um *input* distinto: para cada sentido da via foi criada uma linha de ônibus única que representa o conjunto de todas as linhas que passam por aquela seção.

Como solução para obter os dados de contagem para as vias transversais à Avenida (Frei Caneca, Pe. João Manuel e Min. Rocha Azevedo) recorreu-se ao trabalho de formatura de (MUSSO, 2017). Pelo macromodelo desenvolvido neste trabalho foi possível obter, de forma aproximada, o fluxo de veículos que convergem/divergem aos movimentos da Av. Paulista. Ver Tabela 11.

Tabela 11 – Input de volume e composição de veículos no micromodelo. Fonte: Autoria própria, 2017

Link	Número de veículos (u)	Composição
Av. Paulista – Consolação	2500	100% automóveis
Av. Paulista – Paraíso	1700	100% automóveis
Al. Min. Rocha Azevedo	900	100% automóveis
Frei Caneca	300	100% automóveis
Pe. João Manuel	-	-

Inserir os ônibus em forma de linha de transporte público, ao invés de uma parcela do tráfego geral traz algumas vantagens:

- Definição exata dos tempos de partida/ entrada na rede de cada veículo da linha;
- Possibilidade de configurar pontos de parada ao longo da rede;
- Maior detalhamento dos resultados de desempenho dos ônibus;
- Maior flexibilidade de parâmetros para calibração.

Estas vantagens são importantes para a fase posterior deste projeto, que é a proposição de intervenções com ferramentas de ITS, que proporcionem a melhoria na operação dos ônibus.

Os parâmetros de entrada para cada linha de ônibus foram obtidos a partir dos itinerários de cada uma das linhas que servem a Av. Paulista, segundo as informações fornecidas no *site* da SPTrans. Ver Tabela 12:

Tabela 12 – Quantidade estimada de veículos por linha presentes entre 9h00 e 10h00 na Av. Paulista. Fonte: SPTrans, 2017

Linha	Paraíso	Consolação
175P-10	5	6
477A-10	-	-
478P-10	4	3
508L-10	5	5
715M-10	5	7
775P-10	2	2
805L-10	-	5
809V-10	4	5
857P-10	6	7
857P-21	-	-
857R-10	6	12
857R-41	-	3
874C-10	4	4
874T-10	4	3
875A-10	5	5
875H-10	8	7
875P-10	6	6
877T-10	4	3
917H-10	10	8
917M-10	6	6
917M-31	-	-
975A-10	3	3
N506-11	-	-
669A-10	8	6
CT01-1	-	1
Total	95	107

Esta quantidade de veículos, estimada a partir dos dados da SPTrans, é então utilizada para o cálculo do *headway* médio entre dois ônibus consecutivos, independente a qual linha pertença. Ver Tabela 13:

Tabela 13 – *Headway* estimado dos ônibus presentes entre 9h00 e 10h00 na Av. Paulista.
Fonte: SPTrans, 2017.

Headway [s]	
Paraíso	Consolação
38	34

4.3.3.3. A programação semafórica

Dentro da região de estudo estão contidos 2 semáforos: o primeiro deles responsável pela interseção da Av. Paulista e a Al. Ministro Rocha Azevedo, o segundo se trata de uma faixa de pedestres que atravessa a Av. Paulista entre a Rua. Min. Rocha Azevedo e Rua Frei Caneca, define-se esta faixa como “Faixa de Pedestres Frei Caneca”. Ver Figura 19.

Figura 18 – Vista satélite da região modelada com destaque às interseções semaforizadas existentes. Fonte: Google, 2017

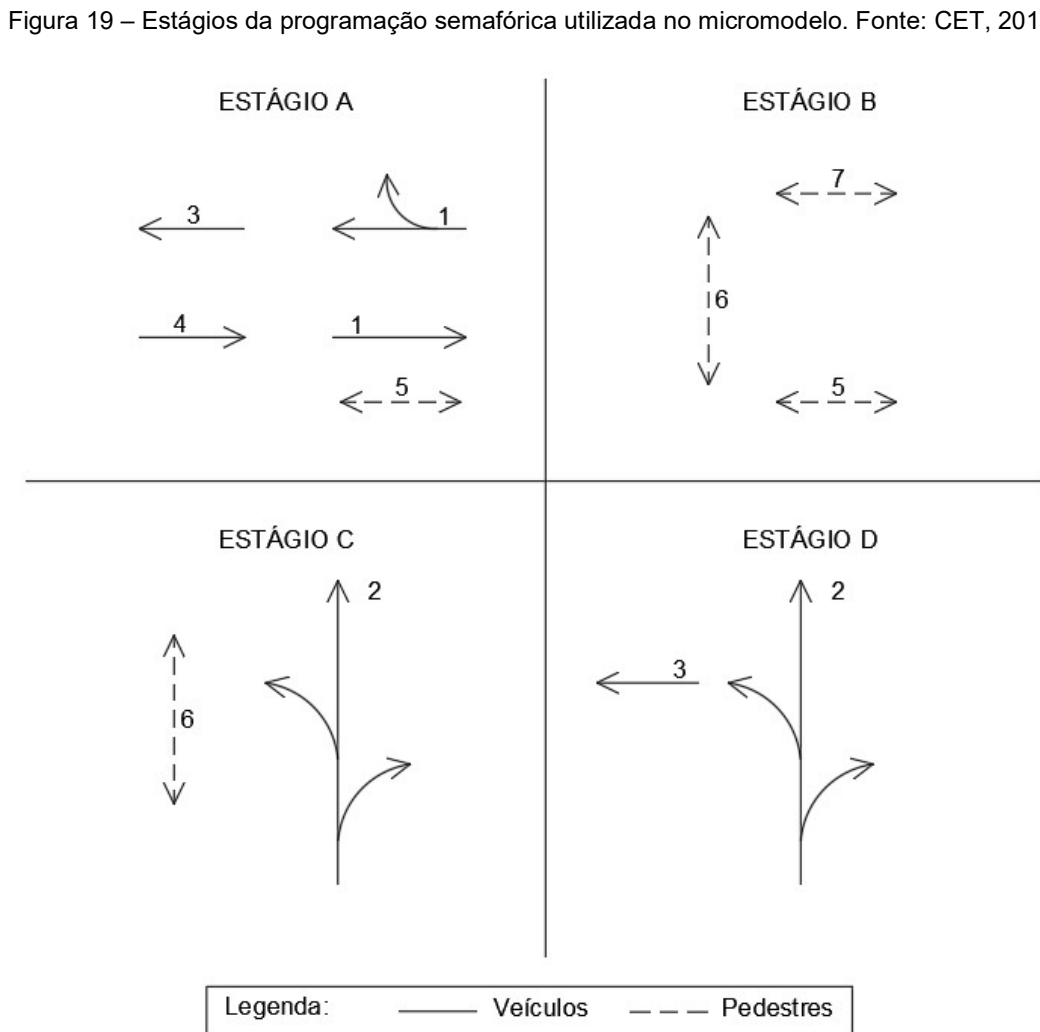


Para obter a configuração dos ciclos de cada semáforo foi realizada uma visita uma das centrais Central de Tráfego em Área (CTA) da CET. A unidade visitada era a responsável pelo controle semafórico da região compreendida entre a Av. Paulista e a Marginal do Rio Pinheiros, isto é, a região dos Jardins e Pinheiros. Para os semáforos da Av. Paulista há um controle adaptativo que varia conforme o horário do dia, de forma a priorizar os movimentos mais desejados naquele

determinado horário. Sabe-se que este controle varia de hora em hora, ao longo dos dias da semana e que há um controle especial para sábados e domingos.

Conforme verificado na Pesquisa de Monitoração da Mobilidade (CET, 2015) o horário no qual a Av. Paulista registrou seus maiores volumes se deu no período da manhã, especificamente entre 8h45 e 9h45. Desta forma, foi utilizado para alimentar o modelo a programação semafórica referente ao período entre 9h e 10h.

São estabelecidos 4 estágios na programação semafórica, a cada um deles estão associados movimentos de veículos e pedestres. Vale lembrar que há programações para eventos especiais que podem utilizar mais ou menos estágios. A Figura 19 traz os estágios que foram utilizados no micromodelo, coincidente com os que são utilizados pela CET na operação da via.



Os movimentos são definidos da seguinte forma:

- Movimentos veiculares:
 - 1: Fluxo da Av. Paulista que deseja atravessar ou converter à Al. Min. Rocha Azevedo;
 - 2: Fluxo da Al. Min. Rocha Azevedo que deseja atravessar ou converter à Av. Paulista;
 - 3: Fluxo da Av. Paulista sentido Consolação que deseja atravessar a faixa de pedestres Frei Caneca;
 - 4: Fluxo da Av. Paulista sentido Paraíso que deseja atravessar a faixa de pedestres Frei Caneca;
- Movimentos de pedestres:
 - 5: Travessia através da Al. Min. Rocha Azevedo ao lado Bairro do cruzamento;
 - 6: Travessia através da Av. Paulista pela faixa de pedestres Frei Caneca;
 - 7: Travessia através da Al. Min. Rocha Azevedo ao lado Centro do cruzamento;

Cada movimento pode ocorrer em um ou mais estágios, como é o caso dos movimentos 2, 3, 5 e 6, que ocorrem cada um em dois estágios diferentes. Foram obtidos também os tempos de verde, amarelo, vermelho piscante e total para cada um dos estágios. Foi utilizada a programação semafórica válida de segunda à sexta feira, das 9h00 às 10h00, com tempo total de ciclo de 150 segundos. Ver Tabela 14 – *Tempos semafóricos por estágio*. Fonte: CET, 2017.

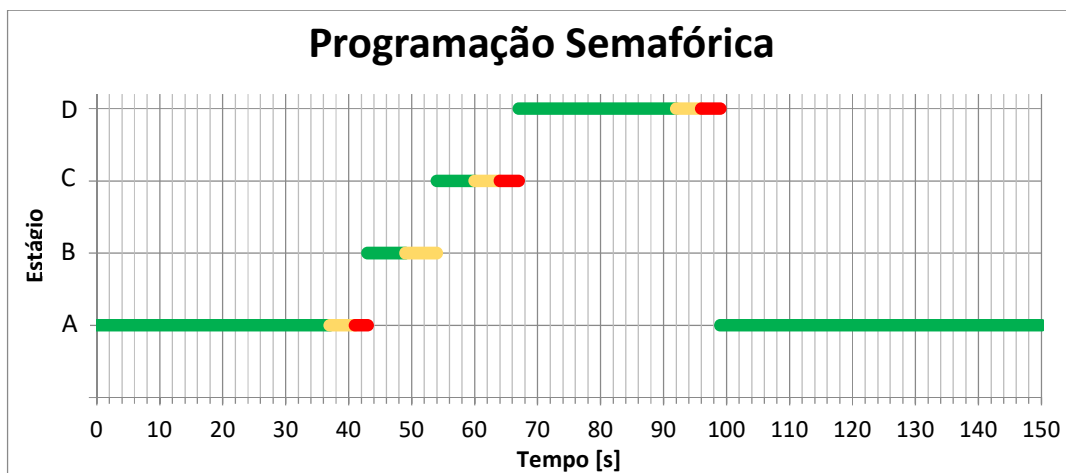
Tabela 14 – Tempos semafóricos por estágio. Fonte: CET, 2017

Estágio	Início [s]	Fim [s]	Verde [s]	Amarelo/ Verm. Piscante* [s]	Verm. Total [s]
A	0	43	37	4	2
B	43	54	6	5*	0
C	54	67	6	4	3
D	67	99	25	4	3
A	99	150	44	4	3

Os tempos de verde e amarelo tem suas definições muito bem conhecidas, são explicados então os vermelhos piscante e total. O vermelho piscante está associado a semáforos para pedestres e tem início na sequência do tempo de verde. O vermelho total é o tempo transcorrido entre o final do amarelo (ou vermelho piscante) de um estágio e início do outro. Verifica-se que para o estágio B, que é exclusivo a pedestres, o tempo de vermelho total é nulo. Geralmente é adotado vermelho total nulo para estágios onde é utilizado o vermelho piscante (pedestres), isto se dá devido ao fato do piscante ter maior poder de alerta ao

pedestre do que o amarelo tem ao motorista. O gráfico da Figura 20 resume de forma ilustrativa a sequência dos estágios e respectivos tempos de verde. Ver Figura 20 – *Evolução dos estágios no tempo*. Fonte: Autoria própria, 2017..

Figura 20 – Evolução dos estágios no tempo. Fonte: Autoria própria, 2017.



4.3.3.4. Validação inicial do modelo

Esta fase é responsável pela validação do modelo proposto, onde são confrontados os resultados obtidos das simulações com os dados reais medidos e então ajustam-se parâmetros do modelo de forma a minimizar tal diferença.

Para calibrar o modelo recorreu-se ao Roteiro de Laboratório 4 da disciplina PTR 2580 – Fundamentos de Sistemas Inteligentes de Transportes (ITS). O texto trata justamente sobre a validação de um micromodelo do VISSIM com dados reais medidos pela CET e SPTrans.

Validar um micromodelo é um processo iterativo, onde cada ajuste realizado tem impacto no resultado final da simulação até que este se aproxime dos valores medidos no caso real.

4.3.3.4.1. A referência para as velocidades

Para a região em estudo foram utilizadas as contagens tanto de volume quanto de velocidade presentes na Pesquisa de Monitoração da Mobilidade de 2015 (CET, 2016). Desta forma há duas variáveis para o ajuste dos parâmetros do modelo, no caso dos volumes existem as informações específicas, tanto para os automóveis quanto para os ônibus, porém o mesmo não se repete para as velocidades. O método de medição utilizado pela CET para estimar a velocidade média de um trecho consiste na utilização de um veículo de prova que percorre

o trecho em estudo. Desta maneira é obtida apenas a velocidade média nas faixas onde transitam os carros, pois os ônibus se deslocam pelas faixas exclusivas ao bordo direito da pista. Ver Tabela 15 e Tabela 16:

Tabela 15 – Medição de velocidade dos automóveis na Av. Paulista sentido Consolação. Fonte: CET, 2016

Rota 13G - Av. Heitor Penteado, Av. Dr. Arnaldo, Av. Paulista
Sentido: Paraíso - Perdizes
Data: 01/10/2015 a 06/10/2015

Via	Trecho Início	Trecho Fim	Dist (m)	Manhã									
				Vel. Média (km/h)			Tempo Médio (mm:ss)		Ret. (%)				
				Geral	01	02	03	Geral	S/ Ret.	C	F	O	T
TOTAL DA ROTA			7.450	21,4	24,6	20,2	19,9	20:49	14:30	2	29	0	31
Av. Bernardino de Campos	11.R. Estela	10.R. Treze de Maio	700	14,9	25,1	15,8	10,1	02:49	01:57	2	28	0	30
Av. Paulista	10.R. Treze de Maio	09.Av. Brig. Luís Antônio	650	13,3	20,2	13,0	10,1	02:55	01:45	5	34	0	39
Av. Paulista	09.Av. Brig. Luís Antônio	08.R. Pamploza	700	19,5	29,2	17,9	17,9	02:11	01:22	0	49	0	49
Av. Paulista	08.R. Pamploza	07.R. Augusta	900	19,4	22,1	16,7	20,4	02:46	01:42	0	39	0	39
Av. Paulista	07.R. Augusta	06.R. da Consolação	400	14,4	14,4	14,3	58,5	00:33	00:33	0	0	0	0
Av. Dr. Arnaldo	06.R. da Consolação	05.R. Teodoro Sampaio	900	27,4	32,6	26,6	24,4	01:58	01:32	0	21	0	21
Av. Dr. Arnaldo	05.R. Teodoro Sampaio	04.R. Galeno de Almeida	600	27,6	28,4	27,3	27,0	01:18	01:01	0	22	0	22
Av. Heitor Penteado	04.R. Galeno de Almeida	03.R. Abegoaria	1.150	31,9	31,7	27,9	37,5	02:09	01:45	0	19	0	19
Av. Heitor Penteado	03.R. Abegoaria	02.Av. Pompéia	550	29,6	25,9	38,1	27,5	01:06	00:47	0	29	0	29
Av. Heitor Penteado	02.Av. Pompéia	01.R. Cerro Corá	900	18,1	17,7	15,3	22,7	02:59	02:07	3	26	0	29

Tabela 16 – Medição de velocidade dos automóveis na Av. Paulista sentido Paraíso. Fonte: CET, 2016

Rota 13G - Av. Heitor Penteado, Av. Dr. Arnaldo, Av. Paulista
Sentido: Perdizes - Paraíso
Data: 01/10/2015 a 06/10/2015

Via	Trecho Início	Trecho Fim	Dist (m)	Manhã									
				Vel. Média (km/h)			Tempo Médio (mm:ss)		Ret. (%)				
				Geral	01	02	03	Geral	S/ Ret.	C	F	O	T
TOTAL DA ROTA			7.450	20,1	22,6	20,6	17,6	22:11	15:07	8	24	0	32
Av. Heitor Penteado	01.R. Cerro Corá	02.Av. Pompéia	900	15,0	15,0	15,6	14,5	03:35	02:42	6	19	0	25
Av. Heitor Penteado	02.Av. Pompéia	03.R. Abegoaria	550	19,8	20,8	20,1	18,7	01:39	01:05	0	35	0	35
Av. Heitor Penteado	03.R. Abegoaria	04.R. Galeno de Almeida	1.150	27,8	26,0	26,1	31,8	02:29	01:57	0	21	0	21
Av. Dr. Arnaldo	04.R. Galeno de Almeida	05.R. Teodoro Sampaio	600	18,4	34,6	22,6	11,1	01:57	01:16	16	19	0	35
Av. Dr. Arnaldo	05.R. Teodoro Sampaio	06.R. da Consolação	900	16,2	26,9	15,7	11,9	03:20	02:06	26	11	0	37
Av. Paulista	06.R. da Consolação	07.R. Augusta	400	12,0	12,1	12,1	17,0	02:33	02:33	0	0	0	0
Av. Paulista	07.R. Augusta	08.R. Pamploza	900	26,0	28,7	28,3	22,0	02:04	01:31	0	26	0	26
Av. Paulista	08.R. Pamploza	09.Av. Brig. Luís Antônio	700	25,1	24,6	26,3	35,3	01:56	01:06	0	33	0	33
Av. Paulista	09.Av. Brig. Luís Antônio	10.R. Treze de Maio	650	21,4	26,3	25,3	16,0	01:49	01:15	2	29	0	31
Av. Bernardino de Campos	10.R. Treze de Maio	11.R. Estela	700	22,9	19,5	29,8	21,8	01:50	01:13	0	33	0	33

O trecho destacado em vermelho é aquele da rota que compreende o trecho estudado por este trabalho. Cabe aqui uma consideração sobre o quanto as informações para o trecho medido podem ser representativas do trecho em estudo.

O caminho percorrido pelos técnicos da CET corresponde à um trecho de 900 metros, dos quais cerca de 200 metros correspondem ao espaço simulado no micromodelo. Os 700 metros percorridos que não abrangem a área do modelo podem conter diversas singularidades que comprometem a utilização do resultado obtido. Por outro lado, a região é conhecida de tal forma que é visível a semelhança entre a região de estudo e seus arredores.

Ocorre ainda a avaliação da possibilidade de extrapolar a velocidade obtida das faixas destinadas aos carros para as faixas exclusivas aos ônibus. Será adotada a hipótese de que a velocidade dos automóveis é representativa dos ônibus pelo

seguinte motivo: o retardamento verificado na pesquisa da CET se dá única e exclusivamente àquele gerado pelas paradas em semáforos (indicado por F nas Tabelas da CET), sendo nula a contribuição das paradas por congestionamento (C). Assim, são obtidas as velocidades de calibração do modelo conforme a Tabela 17:

Tabela 17 – Velocidades de referência para calibração do modelo. Fonte: CET, 2016

Velocidade [km/h]	
Paraíso	Consolação
26,0	19,4

4.3.3.4.2. A referência para os volumes

Para a calibração dos volumes do modelo serão utilizados os mesmos dados que deram embasamento ao *input* do modelo, ou seja, as contagens de volume realizadas pela CET na Pesquisa de Monitoração da Mobilidade. É intuitivo esperar que o resultado obtido na primeira iteração já seja representativo, uma vez que o *input* é feito com dados extraídos diretamente da situação real. Contudo, tal expectativa seria equivocada uma vez que os dados de entrada do programa refletem a quantidade de veículos que entra na rede, os veículos que efetivamente passam pela seção de controle são aqueles que ao entrar na rede interagiram com todos os seus elementos (semáforos, congestionamentos, mudanças de faixa) e continuaram na rota que os levaria até a seção de controle.

Destaca-se então a divisão dos veículos entre aqueles que entram na rede (*input*) e aqueles que de fato passam pela seção de contagem da CET. Apesar de ambos os volumes terem sido extraídos da mesma fonte, eles são de natureza distinta.

Para o caso específico da contagem de volume há a separação por tipo de veículo, proporcionando maior precisão ao modelo. A partir da Tabela 15 e da Tabela 16 podem ser obtidos os volumes de referência para a calibração do modelo. O horário que fora escolhido, tanto como *input*, como para a calibração, é o das 9h00 às 10h00. Ver Tabela 18.

Tabela 18 – Volumes de referência para calibração do modelo, quantidade de veículos presentes das 9h00 às 10h00. Fonte: CET, 2016

	Automóveis	Ônibus
Av. Paulista - Consolação	2485	106
Av. Paulista - Paraíso	1684	134
Total	4169	240

4.3.3.4.3. Pontos de coleta de dados

Para validar o modelo é necessário que as informações resultantes das simulações sejam compatíveis com o que se observa em campo. Sabe-se que os dados obtidos por mensuração da CET são: a quantidade de veículos que passam em uma seção pré-determinada (dados de volume), e a outra variável medida é a velocidade média dos carros no trecho em estudo.

De forma a compatibilizar as informações que serão extraídas do modelo com aquelas fornecidas pela CET é necessária a configuração adequada dos pontos de coleta de dados. Para tanto foram dispostos dois tipos de coletores de informação:

- Pontos de coleta de volume na mesma seção onde são realizadas as contagens da CET. Ver Figura 21;
- Rotas que percorrem a extensão da Av. Paulista com cálculo de velocidade média. Ver Figura 22;

Figura 21 – Locação das seções de coleta de volumes (em magenta). Fonte: Autoria própria, 2017.

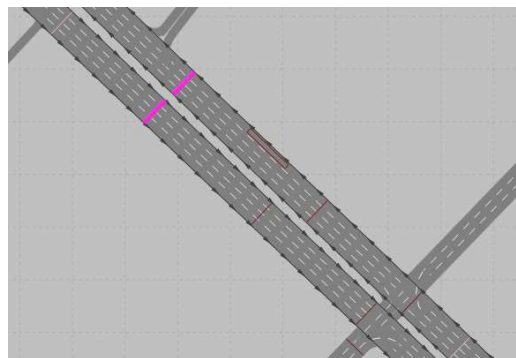
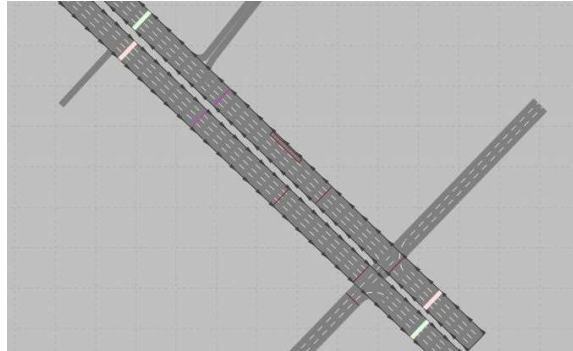


Figura 22 – Rotas para cálculo de velocidade média com destaque para as seções de início (tom avermelhado) e fim (tom esverdeado). Fonte: Autoria própria, 2017.

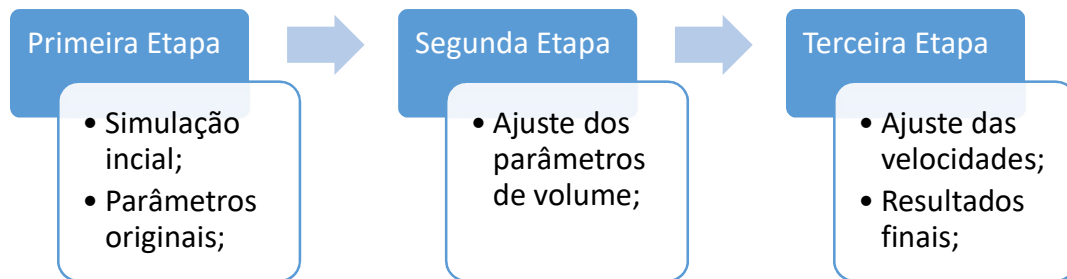


4.3.3.4.4. Calibragem

Definidos os parâmetros que serão utilizados como referência e os pontos de coleta de dados, parte-se para a etapa da calibração propriamente dita. Conforme mencionado anteriormente foi utilizado como base para esse processo o Roteiro de Laboratório 4 da disciplina PTR 2580 – Fundamentos de Sistemas Inteligentes de Transportes (ITS).

De forma geral ocorre o ajuste de um parâmetro do modelo para cada variável passível de ser validada. Para a calibragem dos volumes de carro e automóveis variaram-se os volumes de *input* dos carros e o *headway* dos ônibus. A validação dos dados de velocidade foi feita ajustando-se os parâmetros de *desired speed* de cada tipo de veículo (carro ou ônibus). O parâmetro *desired speed* está relacionado à velocidade desejada de alcance dos motoristas, caso não encontrem algum obstáculo à sua frente (outro veículo, um semáforo, etc).

Cabe aqui comentar sobre a melhora na qualidade do modelo em função de quanto maior for a quantidade de informações reais da região em estudo. Cita-se o trabalho realizado por (SHALABY, 1999) que, além de informações de volume e velocidade, utilizou na calibragem de seu macromodelo dados de emissão de gases poluentes. Outro ponto interessante foi a utilização de dados não apenas do presente, mas também do passado para a validação de seu modelo.



O processo de calibragem foi feito em 3 etapas. A primeira delas se resume à simulação com os parâmetros iniciais do modelo. Seus resultados fornecem uma primeira visão sobre a validade das hipóteses utilizadas e norteiam os ajustes que serão realizados nas etapas seguintes. Em seguida são alterados os valores das variáveis relacionadas aos volumes, de maneira que a segunda etapa forneça valores de contagem mais próximos que os resultantes da etapa anterior.

A segunda etapa consiste em uma série de simulações onde são ajustadas especificamente os volumes de *input* dos carros e o *headway* dos ônibus. São alterados os valores destas variáveis até que sejam obtidos resultados de volume com uma precisão aceitável, adotada em 10% para este trabalho.

Segue-se então para a terceira etapa que, analogamente à segunda, é constituída por uma série de simulações onde desta vez são ajustadas as variáveis relacionadas às velocidades dos veículos. Foram estabelecidas 4 variáveis para esta calibração, cada uma delas relacionada à um tipo de veículo (carro ou ônibus) e um sentido de deslocamento (Paraíso ou Consolação). Posteriormente, no momento da validação final do modelo, ele será recalibrado apenas com base nos dados de volume.

4.3.3.4.4.1. A Primeira Etapa

O ponto de partida para a calibragem do modelo considerou os parâmetros mencionados anteriormente neste texto, relacionados aos volumes e às velocidades. Vale lembrar que os *headways* dos ônibus são provenientes do itinerário das linhas da SPTrans, os valores de *vehicle inputs* tem origem tanto nas contagens da CET quanto nos resultados da macrossimulação do trabalho de MUSO, 2017. Ver Tabela 19.

Tabela 19 – Valores dos parâmetros de ajuste para a primeira etapa de calibragem. Fonte: Autoria própria, 2017

Vehicle Inputs [veic/h]	
Av. Paulista - Consolação	2500
Av. Paulista - Paraíso	1700
Headway Ônibus [s]	
Av. Paulista - Consolação	34
Av. Paulista - Paraíso	38
Desired Speed [km/h]	
Carros - Paraíso	50
Carros - Consolação	50
Ônibus - Paraíso	30
Ônibus - Consolação	30

Os respectivos resultados para a primeira etapa de calibração estão na Tabela 20.

Tabela 20 – Precisão do modelo para a primeira etapa de calibragem. Fonte: Autoria própria, 2017

	VOLUMES		VELOCIDADES	
	CARROS	ÔNIBUS	CARROS	ÔNIBUS
	SIMULADOS [veic]		SIMULADOS [km/h]	
Consolação	2508	103	32,4	7,2
Paraíso	1515	95	22,5	19,3
	REFERÊNCIA CET [veic]		REFERÊNCIA CET [km/h]	
Consolação	2485	106	19,4	19,4
Paraíso	1684	134	26	26
	Relação:		Relação:	
Consolação	101%	97%	167%	37%
Paraíso	90%	71%	87%	74%

Verifica-se que os fluxos, tanto de carros quanto de ônibus da Av. Paulista no sentido Consolação se apresentaram bem próximos ao volume medido, com uma relação de 101% e 97%, respectivamente.

Os carros que se deslocaram pela avenida no sentido Paraíso não se mostraram tão próximos da contagem. Pode ser usado este fato como exemplo de que usar um dado real como *input* não necessariamente leva a simulação ao mesmo

resultado. Nesse caso em específico a diferença entre os valores se dá pela quantidade de carros que saem da Av. Paulista utilizando a Rua Padre João Manoel.

4.3.3.4.4.2. A Segunda Etapa

Nesta etapa foram feitas alterações nas variáveis relacionadas aos volumes com o objetivo de melhorar os resultados dos veículos que transitam no sentido Paraíso.

Os valores finais do ajuste feita nesta etapa constam da Tabela 21:

Tabela 21 – Valores dos parâmetros de ajuste para a segunda etapa de calibragem. Fonte: Autoria própria, 2017

Vehicle Inputs [veic/h]	
Av. Paulista - Consolação	2500
Av. Paulista - Paraíso	2000
Headway Ônibus [s]	
Av. Paulista - Consolação	34
Av. Paulista - Paraíso	27
Desired Speed [km/h]	
Carros - Consolação	50
Carros - Paraíso	50
Ônibus - Consolação	30
Ônibus - Paraíso	30

A partir de um valor inicial adotado e de um processo iterativo são obtidos os ajustes necessários. Foram alterados os valores de *Vehicle Inputs* da Av. Paulista – Paraíso (de 1700 para 2000 veículos por hora) e o *Headway* dos Ônibus no sentido Paraíso (de 38 para 27 segundos). Estas alterações levaram a resultados satisfatórios na calibragem dos volumes. Ver Tabela 22.

Tabela 22 – Precisão do modelo para a segunda etapa de calibragem. Fonte: Autoria própria, 2017

	VOLUMES		VELOCIDADES	
	CARROS	ÔNIBUS	CARROS	ÔNIBUS
	SIMULADOS [veic]		SIMULADOS [km/h]	
Consolação	2508	103	32,4	7,2
Paraíso	1775	133	21,6	18,0
	REFERÊNCIA [veic]		REFERÊNCIA [km/h]	
Consolação	2485	106	19,4	19,4
Paraíso	1684	134	26,0	26,0
	Relação		Relação	
Consolação	101%	97%	167%	37%
Paraíso	105%	99%	83%	69%

Percebe-se um bom ajuste do modelo no que se refere aos volumes obtidos. Segue-se então para a terceira etapa de calibragem, que será responsável pelos ajustes nas variáveis relacionadas às velocidades dos veículos.

4.3.3.4.4.3. A Terceira Etapa

Esta rodada de iterações pode ser considerada a mais complexa de todas as três pois é a responsável pela calibragem das variáveis que estão mais distantes dos resultados esperados. Ocorre ainda uma leve flutuação dos resultados de volume ao serem feitas mudanças nas velocidades, ao final o fluxo de veículos é função da velocidade destes.

Desta vez foram alterados em cada simulação os 4 parâmetros *Desired Speed* até que fosse encontrado um valor tal que a relação Simulação/ Referência ficasse entre 90% e 110%. A Tabela 23 traz os valores finais dos parâmetros na calibração da rede.

Tabela 23 – Valores dos parâmetros de ajuste para a terceira etapa de calibragem. Fonte: Autoria própria, 2017

Vehicle Inputs [veic/h]	
Av. Paulista - Consolação	2500
Av. Paulista - Paraíso	2000
Headway Ônibus [s]	
Av. Paulista - Consolação	34
Av. Paulista - Paraíso	27
Desired Speed [km/h]	
Carros - Consolação	25
Carros - Paraíso	70
Ônibus - Consolação	60
Ônibus - Paraíso	60

O valor designado à *desired speed* dos ônibus aumentou de 30 para 60 km/h e os valores atribuídos aos carros nos sentidos Consolação e Paraíso foram respectivamente reduzidos e majorados. Apesar de dos valores estarem acima da velocidade máxima permitida da via, eles não representam a velocidade média dos veículos na rede. A variável *desired speed* está relacionado principalmente à taxa de aceleração dos veículos. Na Tabela 24 pode ser verificado o grau e ajuste final do modelo.

Tabela 24 – Precisão do modelo para a terceira etapa de calibragem. Fonte: Autoria própria, 2017

	VOLUMES		VELOCIDADES	
	CARROS	ÔNIBUS	CARROS	ÔNIBUS
	SIMULADOS [veic]		SIMULADOS [km/h]	
Consolação	2469	103	19,0	7,5
Paraíso	1799	134	24,8	26,2
	REFERÊNCIA [veic]		REFERÊNCIA [km/h]	
Consolação	2485	106	19,4	19,4
Paraíso	1684	134	26,0	26,0
	Relação		Relação	
Consolação	99%	97%	98%	38%
Paraíso	107%	100%	95%	101%

4.3.3.4.5. Resultados

Foram obtidos valores muito satisfatórios na calibragem dos volumes. A utilização da contagem da CET como estimativa inicial para os *inputs* e *headways* resultou em um número de veículos simulados muito próximo do

esperado logo na primeira simulação. Verifica-se ainda que o ajuste feito para o *input* de carros entre a primeira e segunda etapa é relativamente pequeno, de 1700 veículos por hora passou-se a utilizar 2000 veículos por hora, de forma a compensar o fluxo de veículos que converge à direita na Rua Padre João Manuel e reduz o volume que passa pela seção de coleta de dados.

A linha no sentido Consolação não sofreu alterações no espaçamento de seus veículos, confirmando a boa aderência do modelo logo na primeira etapa. Os ônibus que seguem sentido Paraíso, por sua vez, tiveram o *headway* reduzido de 38 para 27 segundos. Possíveis explicações para esse ajuste de quase 30% são:

- *Bunching* de veículos na operação das linhas, desregulando o *headway* previsto;
- Operação diferenciada no dia em que foram realizadas as contagens;
- Incompatibilidade entre as informações obtidas e as efetivamente adotadas em campo;

A Tabela 25 traz o resumo dos ajustes realizados no processo de calibração.

Tabela 25 – Resumo dos ajustes de parâmetros realizados nas três etapas. Fonte: Autoria própria, 2017

		Ajuste de parâmetros		
		Etapa		
Vehicle Inputs [veic/h]		1	2	3
Av. Paulista - Consolação		2500	2500	2500
Av. Paulista - Paraíso		1700	2000	2000
Headway Ônibus [s]		1	2	3
Av. Paulista - Consolação		34	34	34
Av. Paulista - Paraíso		38	27	27
Desired Speed [km/h]		1	2	3
Carros	Av. Paulista - Consolação	50	50	25
	Av. Paulista - Paraíso	50	50	70
Ônibus	Av. Paulista - Consolação	30	30	60
	Av. Paulista - Paraíso	30	30	60

O ajuste das velocidades se deu de maneira mais radical que para os volumes. Foi necessária a alteração de todos os parâmetros iniciais até que fossem obtidos resultados satisfatórios na calibração, entre 90 e 110%.

O movimento dos carros que seguiam na Av. Paulista sentido Consolação teve o seu parâmetro de velocidade reduzido pela metade, de 50 para 25 km/h. Este ajuste pode refletir uma condição de fluxo obstruído na via. A velocidade associada a este ajuste é de 19 km/h, resultando em uma precisão de 98%.

Os carros que seguem no sentido Paraíso tiveram o parâmetro *desired speed* aumentado de 50 para 70 km/h, um valor maior do que o limite de velocidade fixado pelas autoridades de trânsito (50 km/h). De qualquer forma, a este valor foi associada uma velocidade média no trecho de 24,8 km/h, indicando que por mais que os motoristas tivessem o anseio de atingir 70 km/h eles eram impedidos de atingir essa velocidade devido à presença de obstruções, como outros veículos e semáforos. O ajuste feito para esta variável resultou em uma precisão de 95%.

Para os ônibus há uma situação mais complexa no fluxo sentido Consolação devido a presença de um ponto de parada. Este ponto de parada teve grande influência sobre a velocidade média desenvolvida pelos veículos no modelo, tanto ele quanto os semáforos podem ser consideradas obstruções que contribuem para o retardamento dos veículos.

A linha de ônibus sentido Paraíso tem comportamento próximo ao dos veículos no mesmo sentido. Não há ponto de parada para esta linha nas dependências do modelo e a outra obstrução (semáforo) é comum aos ônibus e carros. O parâmetro de velocidade desta linha foi elevado de 30 para 60 km/h, indicando que os ônibus teriam um anseio por velocidade próxima ao dos carros para este trecho do modelo.

Os ônibus que seguem no sentido Consolação encontram em seu caminho o ponto de parada Frei Caneca, nele é realizado o embarque e desembarque de passageiros por alguns segundos até que o veículo retome o seu deslocamento. A presença desta parada tem um peso muito grande na velocidade média dos veículos, foi verificado que o ajuste do parâmetro *desired speed* para este grupo tinha baixíssima influência sobre os resultados finais no trecho. De fato, nas etapas 1 e 2 este grupo tinha seu parâmetro de velocidade acertado em 30 km/h e a velocidade média resultante era de 7,2 km/h. Ao ser alterado para 60 km/h se verificaram velocidades médias de 7,5 km/h, evidenciando a independência entre o resultado e o valor do parâmetro escolhido.

Deve-se também lembrar que os valores de referência utilizados para a calibragem do modelo representam a velocidade média dos carros na Av. Paulista. A extrapolação para o movimento dos ônibus se mostrou razoável apenas no sentido Paraíso do modelo, onde ônibus e carros apresentam comportamentos de certa forma parecidos. O resultado final de 38% mostra que tal extrapolação é inválida para o movimento dos ônibus no sentido Consolação, sendo necessário a utilização de um valor que reflita melhor o comportamento dos ônibus dentro da extensão do modelo em estudo. Deve ainda ser avaliado o

uso de outro parâmetro de ajuste que tenha influência sobre os resultados, maior que a *desired speed*, como o tempo de parada médio dos ônibus.

A Tabela 26 traz o resumo dos resultados de cada etapa de calibração.

Tabela 26 – Resumo dos resultados obtidos nas três etapas de calibragem. Fonte: Autoria própria, 2017

		Relação Simulado/Medido		
		Etapa		
Volumes		1	2	3
Carros	Av. Paulista - Consolação	101%	101%	99%
	Av. Paulista - Paraíso	90%	105%	107%
Ônibus	Av. Paulista - Consolação	97%	97%	97%
	Av. Paulista - Paraíso	71%	99%	100%
Velocidades		1	2	3
Carros	Av. Paulista - Consolação	87%	83%	95%
	Av. Paulista - Paraíso	167%	167%	98%
Ônibus	Av. Paulista - Consolação	74%	69%	101%
	Av. Paulista - Paraíso	37%	37%	38%

4.3.3.5. Validação final do modelo

Uma vez concluída a validação inicial do modelo descrita na seção 4.3.3.4, a análise dos resultados obtidos motivou algumas alterações. Visando um melhor detalhamento do comportamento dos ônibus que interagem com o ponto de parada, a linha do sentido Consolação foi repartida em 4 linhas distintas, cada uma delas caracterizada por um *headway* e um tempo de parada.

Admitiu-se inicialmente para o *headway* valores de 2 e 15 minutos, de forma a representar o comportamento de linhas que passam com mais e menos frequência, respectivamente. Aproveita-se para mencionar que este parâmetro é o mesmo que será utilizado como variável na próxima etapa, de calibração do modelo.

Para o tempo de parada dos ônibus foram admitidos novamente dois valores: 36 e 15 segundos. Enquanto o valor de 15 segundos representa uma parada rápida e indica as linhas com operação não saturadas, tempos de parada elevados podem representar diversas situações adversas na operação de uma linha: grande volume de passageiros na parada para embarque/ desembarque e acesso de Portadores de Necessidades Especiais são exemplos. A Tabela 27 traz um resumo das linhas desta etapa do trabalho:

Tabela 27 – Relação das linhas conforme destino, headway e tempo de parada. Fonte: Autoria própria, 2018.

Linha	Headway inicial (min)	Tempo de parada (s)
1: Paraíso	0,45 (27 s)	-
2: Consolação	2 (120 s)	36
3: Consolação	2 (120 s)	15
4: Consolação	15 (900 s)	36
5: Consolação	15 (900 s)	15

4.3.3.5.1. Calibração

Apenas a contagem de ônibus no sentido Consolação será calibrada por ser a única afetada pela troca na configuração de linhas, os demais volumes já haviam sido previamente calibrados, além disso - eles também não são influenciados pelo movimento das linhas no sentido Consolação e vice-versa. Nesta etapa o modelo será apenas calibrado com variáveis relacionadas aos volumes, uma vez que a extrapolação da velocidade dos carros para os ônibus se mostrou inadequada. Os pontos de coleta de dados serão os mesmos utilizados anteriormente.

A rede foi calibrada variando os tempos de *headway* partindo de estimativas iniciais de 15 minutos para o *headway* alto e 2 minutos para o *headway* baixo até alcançar valores de volume de ônibus dentro de uma margem de erro de 10% adotada para o estudo. Ver Tabela 28

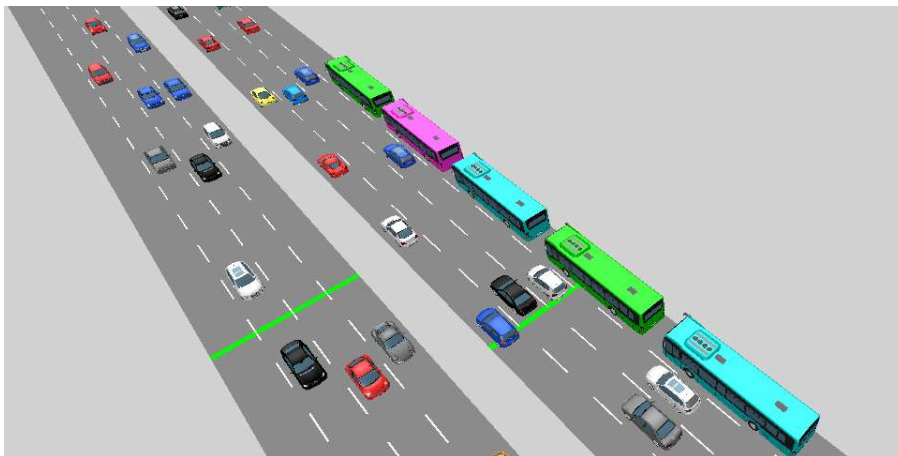
Tabela 28 – Segunda calibragem do modelo. Fonte: Autoria própria, 2018.

	Inicial	Final
Headway A (min)	15	10
Headway B (min)	2	1,3
Volume Ônibus	72	96
Volume de Referência	106	106
Relação	68%	91%

4.3.3.5.2. Resultados

A estimativa inicial resultou em uma contagem com uma relação de 68% com relação à referência. Durante o processo de calibração notou-se que a partir de um certo ponto a variação dos tempos de *headway* não aumentavam a relação com a referência. Nesse momento a parada se torna um gargalo no modelo gerador de filas na faixa exclusiva, o que motiva a exploração de intervenções nessa parte do modelo, o ponto de parada.

Figura 23 – Saída gráfica do VISSIM, ônibus em fila na parada Frei Caneca. Fonte: Autoria própria, 2018.



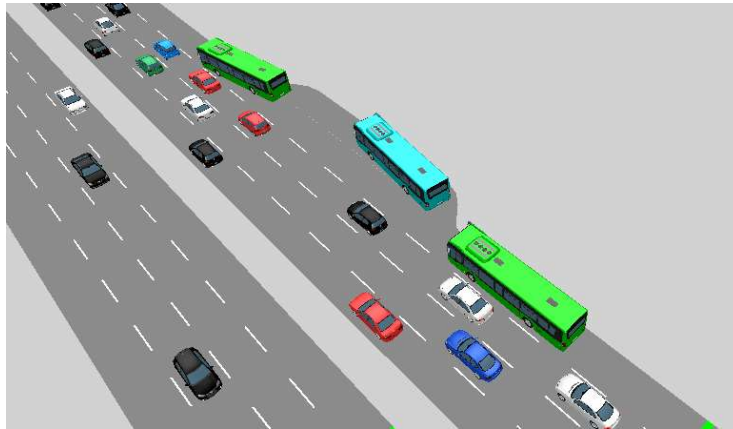
Os valores finais obtidos são aqueles a partir dos quais não havia aumento de volume em função do aumento da frequência horária. Cabe ressaltar que a variável de maior influência na calibração foi o *headway* baixo, por estar associado às linhas de maior frequência, que tem maior influência no fluxo modelado.

4.3.3.6. Proposta de intervenção

Dentro do escopo do modelo elaborado serão analisados quatro cenários de intervenção no ponto de parada. As intervenções serão avaliadas em função de alguns parâmetros, sendo eles o atraso em fila, velocidade, fila média e fila máxima.

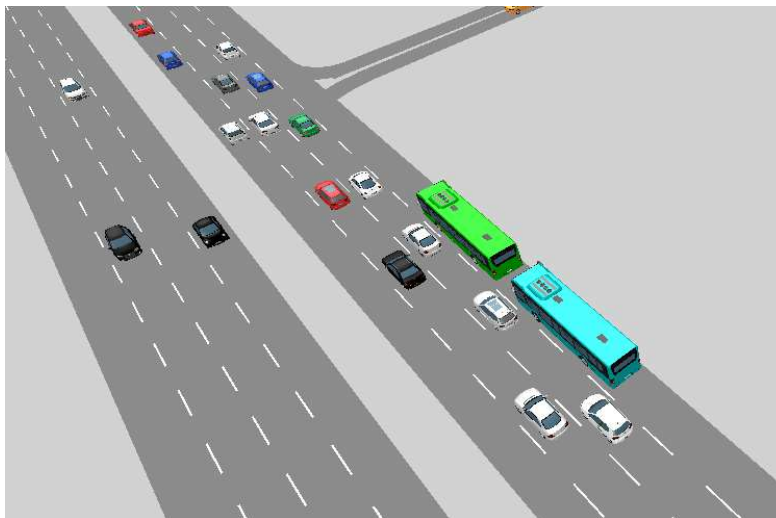
O primeiro cenário será a criação de uma faixa recuada no ponto para ultrapassagem entre ônibus que transitam na faixa exclusiva. Essa solução cria um espaço para a realização da parada, segregado da faixa exclusiva. Embora os pedestres não façam parte de modelo, é válido lembrar que essa intervenção reduz o espaço de circulação deles, o que pode afetar a eficiência de circulação na calçada. A Figura 24, a seguir, mostra a saída gráfica da simulação dessa alteração.

Figura 24 – Saída gráfica do VISSIM, cenário com ponto de parada recuado. Fonte: Autoria própria, 2018.



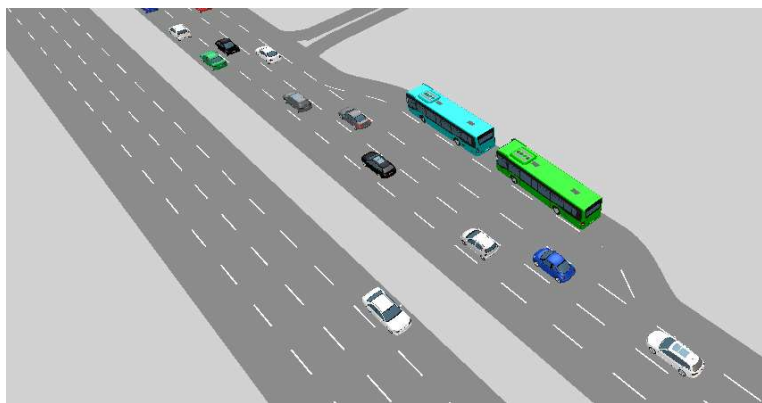
Em segundo foi feito o alongamento do comprimento de calçada, em que os veículos podem parar, comportando dois veículos parando simultaneamente. Aumentar a quantidade de posições de parada (baias) ataca justamente o principal problema observado no cenário atual, a formação de fila por limitação da capacidade da parada. Novamente haverá impacto no espaço de calçada disponível, contudo não tão grave quanto no recuo onde existe redução de largura de calçada. A Figura 25 mostra o modelo para esse cenário, onde é possível ver um veículo deixando uma posição de parada e outro em processo de embarque e desembarque na outra posição.

Figura 25 – Saída gráfica do VISSIM, cenário com ponto de parada alongado. Fonte: Autoria própria, 2018.



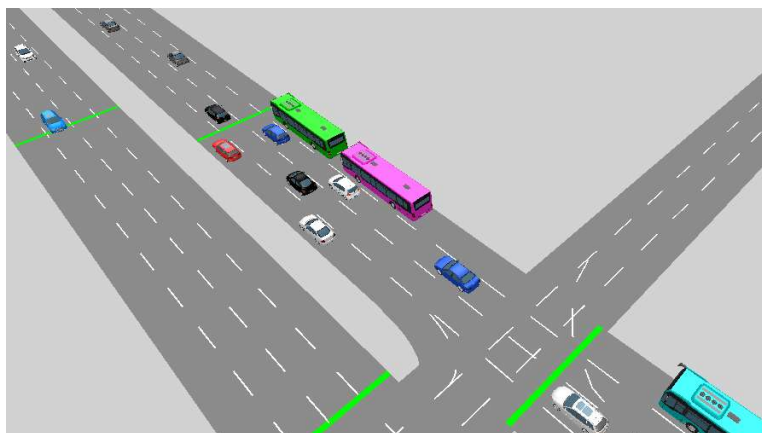
O terceiro cenário consiste na junção do primeiro e do segundo, ou seja, a criação de um recuo em conjunto com o alongamento de espaço de parada. Essa solução visa testar se a junção das duas intervenções gera um resultado melhor que ambas separadamente. Aqui o impacto no espaço para o pedestre é maior, entre todos os cenários, por meio da junção dos impactos negativos das primeiras alterações. A configuração do ponto pode ser vista na Figura 26 a seguir.

Figura 26 – Saída gráfica do VISSIM, cenário com ponto de parada alongado e recuado. Fonte: Autoria própria, 2018.



Por fim, foi testado, no último cenário, o impacto da troca da parada para uma posição anterior ao semáforo da Faixa de Pedestres Frei Caneca. A ideia desse cenário é testar se o semáforo da faixa de pedestres está causando alguma interferência na capacidade do ponto de parada. A simulação da rede com o ponto reposicionado antes desse semáforo está ilustrada na Figura 27 a seguir.

Figura 27 – Saída gráfica do VISSIM, cenário com ponto de parada imediatamente anterior à linha de retenção do semáforo. Fonte: Autoria própria, 2018.



5. RESULTADOS E CONCLUSÕES

5.1. Análise

Tabela 29 - Medições realizadas no software VISSIM nos diferentes cenários analisados.

Fonte: Autoria própria, 2018

Cenário	Sentido	Volume (veic)		Atraso em fila médio (s)		Velocidade sensor (km/h)		Fila média (m)	Fila máxima (m)
		Carros	Ônibus	Carros	Ônibus	Carros	Ônibus		
Atual	Consolação	2387	96	22,1	122,2	26,7	5,3	101,0	149,0
	Paraíso	1783	133	1,5	0,0	54,0	48,9	-	-
Recuado	Consolação	2519	102	19,9	13,4	26,4	19,4	32,2	145,1
	Paraíso	1783	133	1,5	0,0	54,0	48,9	-	-
Alongado	Consolação	2443	102	21,4	14,1	26,6	25,2	1,9	42,4
	Paraíso	1783	133	1,5	0,0	54,0	48,9	-	-
Recuado + Alongado	Consolação	2459	102	21,9	9,9	26,7	45,0	0,3	37,7
	Paraíso	1831	133	3,0	0,0	49,8	48,8	-	-
Antes do Semáforo	Consolação	2393	82	22,2	196,6	27,0	17,4	70,9	98,4
	Paraíso	1783	133	1,5	0,0	54,0	48,9	-	-

Para cada uma das quatro variáveis de saída serão definidos os critérios de melhora e piora, em função de sua variação com relação ao cenário atual. Dessa forma, foi estabelecido como melhora as oscilações positivas de volume e velocidade e ruim caso contrário. Uma vez que mais volume significa maior capacidade de escoamento de veículos e mais velocidade significa deslocamentos em menor tempo. Oscilações negativas no atraso em fila, fila média e fila máxima serão estabelecidas como boas e o contrário como ruins. O atraso em fila caracteriza atrasos para os usuários embarcados e esperando no ponto, portanto, deve ser reduzido, o tamanho de fila deve ser reduzido para que não chegue até os semáforos, o que piora muito o congestionamento de ônibus e o mesmo vale para a fila máxima.

Em seguida pode-se avaliar, rapidamente, onde se encontra a maior concentração de melhorias no sentido Consolação, por meio de uma escala de cores em que o verde representa melhora, vermelho representa piora e amarelo representa constância. Em função do maior número de pessoas transportadas no fluxo de ônibus, esse terá preferência em relação à melhora no movimento dos carros.

Olhando a Tabela 30 a seguir pode-se notar a maior concentração de melhorias para os ônibus no cenário de recuo com alongamento. As soluções de recuo e alongamento separados também apresentam notável grau de melhora. Na intervenção de mudança do ponto de parada para uma posição antes do semáforo esta representa melhora em alguns *outputs* e piora em outros.

Tabela 30 - Variações das medições em cada cenário analisado. Fonte: Autoria Própria, 2018

Cenário	Volume (veic)		Atraso em fila médio (s)		Velocidade sensor (km/h)		Fila média (m)	Fila máxima (m)
	Carros	Ônibus	Carros	Ônibus	Carros	Ônibus		
Recuado	5,5%	6,3%	-9,7%	-89,1%	-0,9%	262,1%	-68,2%	-2,7%
Alongado	2,3%	6,3%	-3,3%	-88,4%	-0,2%	371,9%	-98,1%	-71,5%
Recuado + Alongado	3,0%	6,3%	-1,0%	-91,9%	0,1%	741,2%	-99,7%	-74,7%
Antes do Semáforo	0,3%	-14,6%	0,4%	60,9%	1,1%	225,9%	-29,8%	-34,0%

Pode-se melhorar a comparação entre alternativas por meio da criação de uma matriz de decisão que ordenará os cenários por grau de melhora. Dentro dos resultados de cada variável será atribuída nota 1 para o melhor resultado de melhoria, 0 para o pior e valores proporcionais para os demais. Tais notas serão ponderadas por dois conjuntos de pesos. O primeiro tem por objetivo priorizar a melhoria nos resultados dos ônibus, onde será atribuído peso 3 aos resultados desse modo, 1 para os carros e 4 para aqueles que são apenas dos ônibus. O segundo conjunto de pesos tem por objetivo classificar a importância de cada variável, onde será atribuído peso 1 para os resultados de volume e peso 2 para as demais notas. Na Tabela 31 está a matriz de decisão com os pesos, notas e resultados finais.

Tabela 31 - Matriz de decisão. Fonte: Autoria Própria, 2018

Cenário	Volume (veic)		Atraso em fila médio (s)		Velocidade sensor (km/h)		Fila média (m)	Fila máxima (m)
	Carros	Ônibus	Carros	Ônibus	Carros	Ônibus		
Pesos								
Peso Modo	1	3	1	3	1	3	4	4
Peso da Variável	1	1	2	2	2	2	2	2
Peso Final	1	3	2	6	2	6	8	8
Notas								
Recuado	1,00	1,00	1,00	0,98	0,00	0,07	0,55	0,00
Alongado	0,40	1,00	0,37	0,98	0,34	0,28	0,98	0,96
Recuado + Alongado	0,52	1,00	0,14	1,00	0,51	1,00	1,00	1,00
Antes do Semáforo	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,43
								Resultado
								0,50
								0,81
								0,93
								0,12

Com isso é encontrado um ordenamento entre soluções, estando o “Recuo com Alongamento” em primeiro lugar, seguida por “Alongado”, “Recuado” e por fim “Deslocado para antes do semáforo”. Tendo em mãos a ordem de eficiência entre cenários de intervenção agora pode-se comentar os resultados de cada um.

Os resultados da simulação do cenário atual mostram um contexto problemático. Os ônibus enfrentam filas de, em média, 2 minutos e 2 segundos, com comprimento médio de 101 metros e máximo de 149 metros. A velocidade medida no ônibus encontra-se com valor de 5,3 km/h, considerado baixo. Durante a simulação é possível ver a saturação da parada.

A solução mais eficiente na redução dos efeitos negativos das filas foi a combinação de “Recuo do ponto e alongamento”. Houve melhor desempenho os resultados relativos aos ônibus e suas filas do sentido Consolação, atingindo atraso médio em fila de 9,9 segundos, comprimento médio de 0,3 metros e máximo de 37,7 metros. Expressiva melhora na velocidade dos ônibus atingindo

45 km/h. Esse resultado pode ser explicado pela combinação de duas intervenções eficientes isoladamente como será exposto a seguir.

O segundo melhor desempenho foi observado no cenário em que o ponto foi somente “Alongado”, daqui pode-se inferir que, foi justamente essa componente que gerou boa parte do bom resultado do cenário de maior eficiência. Nele é permitida a ultrapassagem entre ônibus utilizando uma das faixas de rolamento destinadas aos veículos. De resultado foi obtido tempo médio em fila de 14,1 segundos, em filas de tamanho médio de 1,9 metros e máximo de 42,4 metros. A velocidade ficou em um patamar mediano com 25,2 km/h para os ônibus. É possível concluir que esse é um bom meio de reduzir filas de ônibus, em virtude do aumento da capacidade da parada.

Em seguida, a terceira melhor solução, que alcançou nota intermediária, é a inserção de um “Recuo no ponto original”. Inicialmente o grupo acreditava que haveria pouco ou nenhum resultado positivo, a partir dessa alteração, uma vez que no modelo todas as linhas param no ponto. Entretanto, foi observada sensível redução na formação de filas. Ainda que em menor proporção, essa intervenção contribuiu para o resultado da melhor intervenção da qual era parte. Foi alcançado atraso de fila 13,4 s para os ônibus que enfrentaram fila de, em média, 32,2 metros e máximo de 145,1 metros. Esses veículos transitaram a uma velocidade de 19,4 km/h. Ou seja, houve redução de fila, mas não tanto quanto nos dois primeiros cenários.

O cenário do “Reposicionamento da parada para um local anterior ao semáforo” da Faixa de Pedestres Frei Caneca foi aquele que apresentou o pior desempenho, a maior parte das notas zero foram dadas a essa alteração. Foi observada, por meio do volume de ônibus no sentido Consolação, uma saturação da faixa de ônibus ainda pior que o cenário inalterado, o tempo de espera em fila desses veículos piorou, alcançando 3 minutos e 17 segundos. Os demais parâmetros de fila e a velocidade alcançaram pequenas melhoras. O baixo desempenho é explicado pela maior interferência do semáforo da faixa de pedestre, conjuntamente com uma maior interação com o próximo semáforo da Rua. Min. Rocha Azevedo. A junção desses fatores reduz a capacidade da parada e gera filas.

Na Tabela 32 - *Resumo das análises realizadas*. Fonte: *Autoria própria, 2018* pode-se observar um resumo de todas as análises feitas.

Cenário	Sentido	Volume (veic)		Atraso em fila médio (s)		Velocidade sensor (km/h)		Fila média (m)	Fila máxima (m)
		Carros	Ônibus	Carros	Ônibus	Carros	Ônibus		
Atual	Consolação	2387	96	22,1	122,2	26,7	5,3	101,0	149,0
	Paraíso	1783	133	1,5	0,0	54,0	48,9	-	-
Recuado	Consolação	2519	102	19,9	13,4	26,4	19,4	32,2	145,1
	Paraíso	1783	133	1,5	0,0	54,0	48,9	-	-
Alongado	Consolação	2443	102	21,4	14,1	26,6	25,2	1,9	42,4
	Paraíso	1783	133	1,5	0,0	54,0	48,9	-	-
Recuado + Alongado	Consolação	2459	102	21,9	9,9	26,7	45,0	0,3	37,7
	Paraíso	1831	133	3,0	0,0	49,8	48,8	-	-
Antes do Semáforo	Consolação	2393	82	22,2	196,6	27,0	17,4	70,9	98,4
	Paraíso	1783	133	1,5	0,0	54,0	48,9	-	-
Escala de cores em relação ao atual									
Recuado	Consolação	5,5%	6,3%	-9,7%	-89,1%	-0,9%	262,1%	-68,2%	-2,7%
Alongado	Consolação	2,3%	6,3%	-3,3%	-88,4%	-0,2%	371,9%	-98,1%	-71,5%
Recuado + Alongado	Consolação	3,0%	6,3%	-1,0%	-91,9%	0,1%	741,2%	-99,7%	-74,7%
Antes do Semáforo	Consolação	0,3%	-14,6%	0,4%	60,9%	1,1%	225,9%	-29,8%	-34,0%
Pesos									
Peso Modo		1	3	1	3	1	3	4	4
Peso da Variável		1	1	2	2	2	2	2	2
Peso Final		1	3	2	6	2	6	8	8
Notas									
Recuado	Consolação	1,00	1,00	1,00	0,98	0,00	0,07	0,55	0,00
Alongado	Consolação	0,40	1,00	0,37	0,98	0,34	0,28	0,98	0,96
Recuado + Alongado	Consolação	0,52	1,00	0,14	1,00	0,51	1,00	1,00	1,00
Antes do Semáforo	Consolação	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,43
									Resultado
									0,50
									0,81
									0,93
									0,12

5.2. Proposta de continuidade

Como continuidade ao trabalho realizado são propostas três frentes de trabalho independentes. As propostas consistem respectivamente na reavaliação, aprofundamento e ampliação do micromodelo:

- Revisão das hipóteses adotadas e dados coletados;
- Análise de desempenho da rede e novas propostas de intervenção;
- Expansão do micromodelo e sua área de abrangência;

A primeira proposta de continuidade dos trabalhos está baseada na aquisição de mais dados e refinamento das informações que já foram obtidas. Pode ser tomada, como exemplo, a velocidade dos ônibus e a hipótese assumida que esta seria representada pela velocidade dos carros. A análise da simulação comprovou que tal hipótese seria verdadeira somente para a pista sentido Paraíso, portanto - para o sentido oposto deveria ser revisada a hipótese da representatividade dos carros e/ou obtidos dados acerca da velocidade dos ônibus.

A segunda possibilidade de continuação dos trabalhos está em torno do aprofundamento da análise realizada. Até então, o trabalho feito consistiu na confrontação dos resultados obtidos com os observados na realidade (calibração do modelo) e propostas de intervenção com foco no ponto de parada contido no modelo. Propõe-se aqui a exploração de ferramentas do VISSIM que possibilitem uma análise ainda mais completa da rede, envolvendo parâmetros como consumo de combustível médio, fila formada em cada *link*, etc. A análise aprofundada destes parâmetros permitiria a identificação de outros gargalos na

rede e então motivaria a busca de mais intervenções possíveis para solucioná-los.

Por fim, está talvez a proposta mais natural de ser seguida: a expansão do modelo para além dos limites atuais. Dado que o objeto de estudo é o movimento dos ônibus na Avenida Paulista propõe-se aqui a ampliação desta até a próxima parada de ônibus em cada sentido. Dessa forma, seria construído um micromodelo que permitiria análises de fenômenos mais robustos, como o *bus bunching*.

Referências Bibliográficas

BARTHOLDI, John J.; EISENSTEIN, Donald D. A self-coordinating bus route to resist bus bunching. **Transportation Research Part B: Methodological**, v. 46, n. 4, p. 481-491, 2012.

BEHRISCH, Michael et al. SUMO—simulation of urban mobility: an overview. In: **Proceedings of SIMUL 2011, The Third International Conference on Advances in System Simulation**. ThinkMind, 2011.

CET. **CET e SPTrans implantam faixa exclusiva à direita para o transporte público em vias paralelas à Avenida Paulista**. Julho/2016. Disponível em: <<http://www.cetsp.com.br/noticias/2016/07/01/cet-e-sptrans-implantam-faixa-exclusiva-a-direita-para-o-transporte-publico-em-vias-paralelas-a-avenida-paulista.aspx>>

CET. **CET realiza Operação Especial de trânsito na Avenida Paulista para 91ª Corrida de São Silvestre**. Dezembro/2015. Disponível em: <<http://www.cetsp.com.br/noticias/2015/12/29/cet-realiza-operacao-especial-de-transito-na-avenida-paulista-para-91a-corrida-de-sao-silvestre.aspx>>

CET. **Mobilidade no Sistema Viário Principal: Volume e Velocidade – 2015**. Setembro/2016.

CHEN, Xumei et al. Microscopic traffic simulation approach to the capacity impact analysis of weaving sections for the exclusive bus lanes on an urban expressway. **Journal of Transportation Engineering**, v. 136, n. 10, p. 895-902, 2010.

ESTRADA, Miquel et al. Bus control strategies in corridors with signalized intersections. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, v. 71, p. 500-520, 2016.

MARTE, C. L.; MARQUEZ, J. M.; SANTOS, A. S.; CARRERA, C. M. A.; SARAIVA, P. B.. **INTELLIGENCE IN URBAN MOBILITY FOR WORLD CUP 2014: A CASE STUDY OF THE SAO PAULO ARENA**. 2014. (Apresentação de Trabalho/Congresso).

Matthew Hardy, Karl Wunderlich. **EVACUATION MANAGEMENT OPERATIONS (EMO) MODELING ASSESSMENT: TRANSPORTATION MODELING INVENTORY**, Outubro 2007. Disponível em: <http://www.its.dot.gov/its_publicsafety/emo/emo.pdf>

METRO. **Entrada de Passageiros por Linha - Junho/2017**. Disponível em: <https://transparencia.metrosp.com.br/sites/default/files/Entrada%20de%20Passageiros%20por%20Linha%20-%20Junho%20-%202017.pdf>

METRO. **Relatório Síntese da Pesquisa de Mobilidade 2012**. Dezembro/2013. Disponível em: <http://www.metro.sp.gov.br/metro/arquivos/mobilidade-2012/relatorio-sintese-pesquisa-mobilidade-2012.pdf>

MUSSO, B. et al. **Elaboração de um modelo macroscópico de tráfego**. Trabalho de formatura do curso de Engenharia Civil. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2017.

PEREIRA, A.L.S. **Análise da Aplicabilidade Operacionais com uso de ITS em Sistemas de Ônibus de Cidades de Países em Desenvolvimento**. Dissertação para exame de qualificação de mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2017.

SHALABY, Amer S. Simulating performance impacts of bus lanes and supporting measures. **Journal of transportation engineering**, v. 125, n. 5, p. 390-397, 1999.

SPTTrans. **Rede de Ônibus São Paulo**. Julho/2017. Disponível em: <http://www.sptrans.com.br/rede-onibus/>

YU, Bin et al. Dynamic extra buses scheduling strategy in public transport. **PROMET-Traffic&Transportation**, v. 27, n. 3, p. 205-216, 2015.

ViaQuatro. **Mais de 600 mil passageiros usam a Linha 4 diariamente**. Disponível em: <http://www.viaquatro.com.br/imprensa/noticias/Mais-de-600-mil-passageiros-usam-a-Linha-4-diariamente?releaseld=10386>