

DÉBORA TOLEDO GONÇALVES  
JOSÉ VICTOR DE OLIVEIRA LABINAS  
MARCELO FERRAREZ REBESCHINI

Análise do Impacto no Tráfego com a Implantação de um Corredor de  
Ônibus na Avenida dos Bandeirantes

Projeto de Formatura apresentado à  
Escola Politécnica da Universidade de  
São Paulo, no âmbito do curso de  
Engenharia Civil

São Paulo  
2015

DÉBORA TOLEDO GONÇALVES  
JOSÉ VICTOR DE OLIVEIRA LABINAS  
MARCELO FERRAREZ REBESCHINI

Análise do Impacto no Tráfego com a Implantação de um Corredor de  
Ônibus na Avenida dos Bandeirantes

Projeto de Formatura apresentado à  
Escola Politécnica da Universidade de  
São Paulo, no âmbito do curso de  
Engenharia Civil

Orientador: Prof. Dr. Ettore José Bottura

São Paulo

2015

#### Catálogo-na-publicação

Rebeschini, Marcelo Ferrarez

Análise do Impacto no Tráfego com a Implantação de um Corredor de Ônibus na Avenida dos Bandeirantes / M. F. Rebeschini, D. T. Gonçalves, J. V. O. Labinas -- São Paulo, 2015.

114 p.

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

1.ÔNIBUS 2.TRÁFEGO RODOVIÁRIO 3.SÃO PAULO (SP)  
4.TRANSPORTE PÚBLICO 5.SIMULAÇÃO I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Transportes II.t. III.Gonçalves, Débora Toledo IV.Labinas, José Victor de Oliveira

## AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Ettore José Bottura, por aceitar ser o nosso orientador, sugerir o tema deste trabalho e ter fornecido os dados para que o mesmo pudesse ser desenvolvido. Também por seu tempo e pela ajuda fornecida ao longo do desenvolvimento do trabalho.

Ao Prof. Dr. Hugo Pietrantonio, que nos ajudou muito nas dúvidas a respeito da microssimulação. Também por ter fornecido os dados de temporização dos semáforos do trecho estudado, sem os quais não seria possível a realização deste trabalho.

À PTV, por fornecer uma licença para o VISSIM, sem a qual este trabalho não poderia ser realizado.

Ao Prof. Dr. Daniel Caetano, o qual nos deu preciosas dicas e idealizou os cenários que foram estudados nesse trabalho.

À Engenheira Rebeca Bianco, a qual nos forneceu dados importantes para a realização do trabalho e também foi de grande ajuda na revisão final do texto.

Ao Diogo Jardim e à Ana Maciel, da empresa TIS de Portugal, os quais auxiliaram quanto à algumas dúvidas relacionadas à microssimulação.

## RESUMO

Este trabalho utilizou um simulador de tráfego para analisar o impacto que a implantação de um corredor de ônibus na Avenida dos Bandeirantes, importante avenida da cidade de São Paulo, implicará aos usuários de transporte individual pela redução do número de faixas disponíveis ao tráfego de automóveis.

A partir de um projeto geométrico, dados de contagens de veículos, de velocidades médias, de semáforos e topográficos, foi construído e calibrado um modelo de microssimulação, utilizando o *software* alemão VISSIM, através do qual se estudou o impacto do corredor em dois diferentes cenários: um pessimista, onde nenhum dos motoristas que trafegam pela via atualmente passaram a utilizar o corredor, mudaram de rota ou mudaram o horário de utilização da via; e um esperado, onde 5% dos motoristas passaram a não mais utilizar a via por qualquer dos motivos citados anteriormente.

Os impactos foram analisados tanto em termos de níveis de serviço da via como em termos dos custos financeiros decorrentes da implantação do corredor para os motoristas e para a sociedade, levando-se em conta custos de oportunidade, consumo de combustível e também emissão de poluentes. Como resultado, se verificou, no pior cenário, uma queda na velocidade média de todos os veículos de 30% em todo trecho estudado e de 70% no trecho mais afetado, assim como um aumento de 140% nos atrasos gerados por todos os veículos.

Com base em uma análise financeira desenvolvida a partir dos dados de saída do simulador, se verificou que o custo para se atravessar o trecho analisado, no pior cenário, aumentou em aproximadamente 80%, o que corresponde a prejuízos da ordem de R\$ 42 milhões em um ano. No cenário esperado, os resultados foram um aumento em torno de 50%, gerando prejuízos de aproximadamente R\$ 26 Milhões por ano.

## ABSTRACT

This study utilized a traffic simulator to analyze the impact that the implementation of a bus corridor on Bandeirantes Avenue, important avenue in the city of São Paulo, would cause on the drivers, which would lose a lane to transit.

Using several collected data, such as the avenue geometric design, vehicle count data, average velocities, traffic lights timings and topographic data; it was built and calibrated a microsimulation model utilizing the German software VISSIM. The impact of the bus corridor was studied in two different scenarios: a worst-case scenario, in which none of the drivers would utilize the bus corridor, would change his route or would change the time of the day that he use the avenue; and an expected scenario, where there was a reduction of 5% on the avenue drivers caused by any of the previous reasons.

The impacts were analyzed in terms of travel times on the avenue and financial losses to the drivers and to the society due to the implementation of the bus corridor, taking into account the opportunity costs, fuel consumption and pollutant emissions. In the worst-case scenario, it was observed a decrease of 30% on the average velocity of all the vehicles in the network and of 70% on the most affected area, as well as an increase of 140% on the driver's delay times.

After a financial analysis developed from the software output data, it was verified that the cost to cross the analyzed area, on the worst-case scenario, increased in 80%, value that correspond to losses around R\$ 42 million in one year. On the expected scenario, the results were an increase on the travel cost of around 50%, which correspond to losses of approximately R\$ 26 million in one year.

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 2.1 - Mapa de corredores de ônibus em São Paulo até maio de 2015 e seus terminais.....                                | 21 |
| Figura 2.2 - Corredores Existentes e em Projeto. ....                                                                        | 22 |
| Figura 3.1 - Localização dos trechos I e II do Corredor Perimetral Bandeirantes - Salim Farah Maluf. ....                    | 26 |
| Figura 3.2 - Localização das quatro seções típicas encontradas no Trecho I. ....                                             | 27 |
| Figura 3.3 - Seção-tipo 1. ....                                                                                              | 28 |
| Figura 3.4 - Seção-tipo 2. ....                                                                                              | 28 |
| Figura 3.5 - Seção-tipo 3. ....                                                                                              | 28 |
| Figura 3.6 - Seção-tipo 4. ....                                                                                              | 29 |
| Figura 3.7 - Diagrama Unifilar das novas linhas de ônibus do Corredor Perimetral Bandeirantes - Salim Farah Maluf. ....      | 30 |
| Figura 3.8 - Acompanhamento das fases do corredor. ....                                                                      | 31 |
| Figura 3.9 - Trecho I do corredor Bandeirantes-Salim Farah Maluf. ....                                                       | 32 |
| Figura 5.1 – Cronograma típico de um estudo de microssimulação.....                                                          | 41 |
| Figura 5.2 – Exemplo de diagrama link/node de uma interseção rodoviária. ....                                                | 43 |
| Figura 6.1 - Parte do projeto do corredor, trecho entre a Al. dos Maracatins e a Al. dos Nhambiquaras. ....                  | 48 |
| Figura 6.2 - Imagem de satélite da Avenida dos Bandeirantes, trecho entre a Al. dos Maracatins e a Al. dos Nhambiquaras..... | 49 |
| Figura 6.3 - Pontos de contagem ao longo do trecho estudado da Avenida dos Bandeirantes. ....                                | 50 |
| Figura 6.4 - Detalhamento do ponto de contagem 2, indicando os sentidos de fluxo que foram realizadas as contagens.....      | 51 |
| Figura 6.5 - Localização dos pontos de contagem e da rota de medição de velocidade. ....                                     | 53 |
| Figura 6.6 - Velocidades médias no trecho analisado da Avenida dos Bandeirantes, no pico da manhã.....                       | 59 |
| Figura 6.7 - Distribuição dos retardamentos no trecho analisado da Avenida dos Bandeirantes, no pico da manhã.....           | 59 |

|                                                                                                                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 6.8 - Localização dos cruzamentos semaforizados ao longo do trecho estudado da Av. dos Bandeirantes.....                                                                       | 60 |
| Figura 6.9 - Croqui e diagrama de estágios do cruzamento da Av. dos Bandeirantes com a Al. Vicente Pinzon. ....                                                                       | 61 |
| Figura 6.10 – Tabela horária indicando os horários em que cada programação estará operando na via.....                                                                                | 62 |
| Figura 6.11 – Tabela de programações do cruzamento entre a Av. dos Bandeirantes e a Al. Vicente Pinzon. ....                                                                          | 62 |
| Figura 6.12 - Perfil do terreno, greide médio e greide máximo no trecho de estudo.                                                                                                    | 63 |
| Figura 6.13 - Captura de tela do VISSIM, mostrando o projeto do corredor como <i>background</i> no trecho próximo à marginal pinheiros, com a parada Berrini destacada na imagem..... | 64 |
| Figura 6.14 – Diagrama link/node completo do trecho estudado. ....                                                                                                                    | 64 |
| Figura 6.15 – Temporizações programadas para os controladores na altura do cruzamento com a Av. Santo Amaro, entre o horário das 07:00 às 08:00. ....                                 | 65 |
| Figura 6.16 – Imagem de parte do modelo já pronto e indicações das ferramentas de modelagem utilizadas, na altura da Rua Ribeiro do Vale.....                                         | 66 |
| Figura 6.17 – Pontos de entrada de veículos e os respectivos fluxos para o cenário atual. ....                                                                                        | 66 |
| Figura 6.18 – Distribuição de velocidades adotada para todos os veículos da rede.                                                                                                     | 67 |
| Figura 6.19 – Captura de tela no VISSIM mostrando os parâmetros de simulação adotados.....                                                                                            | 69 |
| Figura 6.20 – Captura de tela no VISSIM mostrando os dados que foram coletados. ....                                                                                                  | 70 |
| Figura 6.21 – Trechos e seções de contagem consideradas no estudo. ....                                                                                                               | 71 |
| Figura 6.22 – Localização e sentido de crescimento da fila gerada com a implantação do corredor. Google Maps (2015). ....                                                             | 77 |
| Figura 6.23 – Distribuição de velocidades médias no cenário atual simulado. ....                                                                                                      | 81 |
| Figura 6.24 – Distribuição de velocidades médias no cenário futuro um. ....                                                                                                           | 81 |
| Figura 6.25 – Distribuição de velocidades médias no cenário futuro dois.....                                                                                                          | 82 |
| Figura 6.26 – Localização das áreas de redução de velocidade utilizadas no modelo. ....                                                                                               | 85 |



## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 2.1 - Corredores de ônibus na cidade de São Paulo.....                                                                                                                              | 20 |
| Tabela 3.1 – Distribuição de custos na implantação do Corredor Perimetral<br>Bandeirantes – Salim Farah Maluf. ....                                                                        | 31 |
| Tabela 6.1 - Detalhamento da contagem do fluxo no sentido 2.7. ....                                                                                                                        | 51 |
| Tabela 6.2- Dados de contagem do Ponto 3, no sentido Marginal Pinheiros –<br>Anchieta. ....                                                                                                | 54 |
| Tabela 6.3 - Dados de contagem do Ponto 3, no sentido Anchieta - Marginal<br>Pinheiros. ....                                                                                               | 54 |
| Tabela 6.4 – Contagem volumétrica classificada para o período e para o trecho<br>estudado no sentido Marginal Pinheiros – Anchieta.....                                                    | 54 |
| Tabela 6.5 – Contagem volumétrica classificada para o período e para o trecho<br>estudado no sentido Anchieta – Marginal Pinheiros.....                                                    | 55 |
| Tabela 6.6 - Soma das contagens nas 3 horas de cada pico, para os quatro pontos<br>analisados. Sentido Marginal Pinheiros – Anchieta.....                                                  | 55 |
| Tabela 6.7 - Soma das contagens nas 3 horas de cada pico, para os quatro pontos<br>analisados. Sentido Anchieta - Marginal Pinheiros. ....                                                 | 55 |
| Tabela 6.8 - Média dos resultados das três viagens no sentido Anchieta - Marginal<br>Pinheiros. ....                                                                                       | 58 |
| Tabela 6.9 - Média dos resultados das três viagens no sentido Anchieta - Marginal<br>Pinheiros. ....                                                                                       | 58 |
| Tabela 6.10 – Comparação entre os valores medidos em campo e os reproduzidos<br>no modelo do cenário atual. ....                                                                           | 71 |
| Tabela 6.11 – Resultados de velocidades médias nos trechos, contagens de<br>veículos nas seções e quantitativo de veículos que não entraram na rede no sentido<br>Marginal – Anchieta..... | 74 |
| Tabela 6.12 – Resultados de velocidades médias nos trechos e de contagens nas<br>seções no sentido Marginal – Anchieta.....                                                                | 78 |
| Tabela 6.13 – Legenda de cores dos intervalos de velocidades médias. Valores em<br>km/h. ....                                                                                              | 80 |
| Tabela 6.14 – Resultados de performance da rede para os diferentes cenários<br>analisados. ....                                                                                            | 82 |

|                                                                                                                                       |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela 6.15 - Resultados de atrasos para os diferentes cenários analisados. ....                                                      | 82  |
| Tabela 7.1 - Valor do tempo em transporte considerado para os usuários de ônibus e automóveis. Fonte: Metrô de São Paulo (2014) ..... | 89  |
| Tabela 7.2 – Custo de oportunidade total observado no período de 1 hora, para os diferentes cenários. ....                            | 89  |
| Tabela 7.3 – Cálculo do valor gasto em combustível ao longo da hora simulada, para o cenário atual simulado. ....                     | 92  |
| Tabela 7.4 – Resultados dos gastos com combustíveis em todos os cenários e comparação com o cenário atual. ....                       | 93  |
| Tabela 7.5 – Custo unitário da emissão de poluentes.....                                                                              | 94  |
| Tabela 7.6 – Cálculo do custo das emissões de CO ao longo da hora simulada, para o cenário atual simulado. ....                       | 95  |
| Tabela 7.7 - Resultados dos gastos com emissões em todos os cenários e comparação com o cenário atual. ....                           | 96  |
| Tabela 7.8 – Custos totais da hora simulada e diferenças para o cenário atual simulado.....                                           | 96  |
| Tabela 7.9: Custos totais diário e anual e suas diferenças para o cenário simulado. ....                                              | 96  |
| Tabela 7.10 - Demanda total de passageiros de ônibus por sentido no Trecho I do corredor Bandeirantes.....                            | 100 |
| Tabela 7.11 – Cálculo do benefício econômico por passageiro nos dois períodos de pico do sentido Marginal – Anchieta.....             | 101 |
| Tabela 7.12 - Cálculo do benefício econômico por passageiro nos dois períodos de pico do sentido Anchieta - Marginal. ....            | 101 |
| Tabela 7.13 - Cálculo do benefício econômico anual do corredor.....                                                                   | 102 |

## LISTA DE GRÁFICOS

|                                                                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gráfico 6.1 - Composição da frota média no trecho estudado. ....                                                                    | 56 |
| Gráfico 6.2 – Composição da frota média utilizada nos cenários simulados.....                                                       | 57 |
| Gráfico 6.3 – Contagens de veículos nas seções A e B para os diferentes cenários estudados, no sentido Marginal – Anchieta.....     | 75 |
| Gráfico 6.4 – Velocidades médias observadas nos trechos para os diferentes cenários estudados, no sentido Marginal – Anchieta. .... | 75 |
| Gráfico 6.5 - Contagens de veículos nas seções A e B para os diferentes cenários estudados, no sentido Anchieta - Marginal.....     | 78 |
| Gráfico 6.6 - Velocidades médias observadas nos trechos para os diferentes cenários estudados, no sentido Anchieta – Marginal. .... | 79 |
| Gráfico 7.1 - Consumo de Combustível de automóveis (l/km) x velocidade média (km/h) .....                                           | 90 |
| Gráfico 7.2 - Consumo de Diesel (l/km) x velocidade média (km/h).....                                                               | 91 |

## LISTA DE SIGLAS

|          |                                                             |
|----------|-------------------------------------------------------------|
| ANP      | Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis |
| ANTP     | Associação Nacional de Transportes Públicos                 |
| BDI      | Bonificação e Despesas Indiretas                            |
| BRT      | Bus Rapid Transit                                           |
| CET      | Companhia de Engenharia de Tráfego                          |
| DNIT     | Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes      |
| FHP      | Fator de Hora Pico                                          |
| FHWA     | Federal Highway Administration                              |
| IBGE     | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística             |
| IPCA     | Índice Nacional de Preços ao Consumidor                     |
| Ipea     | Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada                    |
| PAC      | Programa de Aceleração do Crescimento                       |
| PTV      | Planung Transport Verkehr AG                                |
| SIURB    | Secretaria Municipal de Infraestrutura Urbana e Obras       |
| SPTTrans | São Paulo Transporte SA                                     |
| TCM      | Tribunal de Contas do Município                             |
| VISSIM   | Verkehr In Städten - Simulationsmodell                      |

## SUMÁRIO

|       |                                                                                |    |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1     | INTRODUÇÃO.....                                                                | 15 |
| 1.1   | Objetivos .....                                                                | 16 |
| 1.1.1 | Estudar o impacto no tráfego com a implantação do corredor .....               | 16 |
| 1.1.2 | Avaliar economicamente o impacto do corredor para o motorista particular ..... | 16 |
| 1.2   | Metodologia.....                                                               | 16 |
| 1.3   | Estrutura do relatório.....                                                    | 17 |
| 2     | CORREDORES DE ÔNIBUS .....                                                     | 19 |
| 2.1   | Descrição .....                                                                | 19 |
| 2.2   | Corredores na cidade de São Paulo .....                                        | 19 |
| 3     | CORREDOR DE ÔNIBUS NA AVENIDA DOS BANDEIRANTES .....                           | 24 |
| 3.1   | A Avenida dos Bandeirantes .....                                               | 24 |
| 3.2   | Implantação do corredor .....                                                  | 24 |
| 3.3   | Custos de implantação.....                                                     | 30 |
| 3.4   | Andamento da licitação .....                                                   | 31 |
| 3.5   | Foco de estudo .....                                                           | 32 |
| 4     | SIMULAÇÃO DE TRÁFEGO .....                                                     | 34 |
| 4.1   | Importância, vantagens e desvantagens.....                                     | 34 |
| 4.2   | Tipos de simuladores .....                                                     | 35 |
| 4.2.1 | Macroscópicos.....                                                             | 36 |
| 4.2.2 | Microscópicos .....                                                            | 36 |
| 4.2.3 | Mesoscópicos.....                                                              | 37 |
| 4.3   | Simulador VISSIM.....                                                          | 37 |
| 4.3.1 | <i>Car-following</i> .....                                                     | 38 |
| 4.3.2 | <i>Lane change</i> .....                                                       | 39 |

|       |                                                                      |    |
|-------|----------------------------------------------------------------------|----|
| 4.3.3 | Dados de saída.....                                                  | 39 |
| 5     | METODOLOGIA .....                                                    | 40 |
| 5.1   | Identificação do propósito do estudo e o seu escopo.....             | 40 |
| 5.2   | Coleta de dados e sua preparação .....                               | 41 |
| 5.3   | Desenvolvimento do modelo base .....                                 | 42 |
| 5.4   | Verificação de erros .....                                           | 44 |
| 5.5   | Calibração do modelo .....                                           | 45 |
| 5.6   | Análise de alternativas .....                                        | 46 |
| 5.7   | Relatório final e técnico .....                                      | 46 |
| 6     | DESENVOLVIMENTO DA MICROSSIMULAÇÃO.....                              | 47 |
| 6.1   | Identificação do propósito do estudo e o seu escopo.....             | 47 |
| 6.2   | Coleta de dados e sua preparação .....                               | 47 |
| 6.2.1 | Projeto geométrico do corredor .....                                 | 47 |
| 6.2.2 | Dados de contagem volumétrica classificada e composição da frota.... | 49 |
| 6.2.3 | Dados de velocidade, tempo de retardamento e tempo de percurso ....  | 57 |
| 6.2.4 | Dados semaforicos .....                                              | 59 |
| 6.2.5 | Dados topográficos.....                                              | 63 |
| 6.3   | Desenvolvimento do modelo base .....                                 | 63 |
| 6.4   | Verificação de erros .....                                           | 70 |
| 6.5   | Calibração do modelo .....                                           | 70 |
| 6.6   | Análise das alternativas .....                                       | 72 |
| 6.7   | Resultados obtidos e conclusões parciais.....                        | 73 |
| 6.7.1 | Velocidades médias e contagens – sentido Marginal - Anchieta.....    | 73 |
| 6.7.2 | Velocidades médias e contagens – sentido Anchieta - Marginal.....    | 77 |
| 6.7.3 | Distribuição de velocidades médias na rede por cores.....            | 80 |
| 6.7.4 | Performance da rede .....                                            | 82 |
| 6.8   | Limitações e simplificações do modelo .....                          | 84 |

|       |                                                                                                                            |     |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 6.8.1 | Limite de representação do modelo.....                                                                                     | 84  |
| 6.8.2 | União da pista local e expressa .....                                                                                      | 86  |
| 6.8.3 | Mudanças realizadas na via após a coleta de dados em campo.....                                                            | 86  |
| 6.8.4 | Reorganização do tráfego e mudanças de trajeto .....                                                                       | 87  |
| 7     | ANÁLISE ECONÔMICA.....                                                                                                     | 88  |
| 7.1   | Custos indiretos - custo de oportunidade .....                                                                             | 88  |
| 7.2   | Custos advindos dos veículos .....                                                                                         | 89  |
| 7.2.1 | Consumo de combustível .....                                                                                               | 90  |
| 7.2.2 | Emissão de poluentes .....                                                                                                 | 93  |
| 7.3   | Custo Global .....                                                                                                         | 96  |
| 7.4   | Benefícios .....                                                                                                           | 98  |
| 7.4.1 | Cálculo do benefício .....                                                                                                 | 99  |
| 8     | CONCLUSÃO .....                                                                                                            | 103 |
|       | BIBLIOGRAFIA .....                                                                                                         | 105 |
|       | APÊNDICES.....                                                                                                             | 107 |
|       | Apêndice A – Resultados individuais das simulações e valores médios, mínimos e máximos – Velocidade média e contagens..... | 107 |
|       | Apêndice B - Resultados individuais das simulações e valores médios, mínimos e máximos – Performance da rede .....         | 110 |
|       | Apêndice C – Curvas de distribuição de velocidade das zonas de redução de velocidade.....                                  | 112 |

## 1 INTRODUÇÃO

Os corredores de ônibus são, sem dúvida nenhuma, obras de infraestrutura extremamente importantes para o transporte público urbano em grandes cidades, como a cidade de São Paulo. Sua implantação favorece o grande número de usuários que dependem do transporte público diariamente, já que uma parte do viário passa a ser dedicado exclusivamente a este tipo de transporte, diminuindo assim os tempos de viagem e proporcionando um maior conforto a seus usuários.

Apesar dos benefícios, os corredores se tratam de obras grandes que geram um impacto ao usuário de transporte particular da via, tanto na fase de obras, quanto na fase de operação, já que em geral diminui o espaço que este possuía anteriormente para trafegar na via. Por esta razão, sua implantação tem que ser embasada em um estudo muito bem feito, que meça os benefícios e os malefícios gerados por aquela obra de infraestrutura e, caso os benefícios superem os malefícios com uma determinada margem de segurança, sua implantação é então economicamente justificável.

A implantação de corredores de ônibus é aconselhável em vias caracterizadas por um elevado volume de ônibus, com grande demanda por transporte, em que os benefícios gerados a estes usuários compensem os transtornos ocasionados na fase anterior ao início da operação. Quando não há um elevado tráfego de ônibus na avenida na qual um corredor de ônibus será implantado, como na Avenida dos Bandeirantes, surgem dúvidas se a obra gerará um benefício suficiente para que sua implantação seja justificada. Pode, em contrapartida, haver uma grande demanda reprimida de pessoas que dependem do transporte público, mas que não conseguem fazer o trajeto na avenida com conforto e qualidade precisamente por não haver linhas de ônibus ou frequências adequadas ao seu atendimento.

Apesar das dúvidas quanto aos benefícios da obra, seus malefícios são claros, já que milhares de motoristas já enfrentam congestionamentos diários nesta via, principalmente nos horários de pico. A implantação do corredor provavelmente irá agravar esta situação, gerando assim um prejuízo ao motorista que utiliza a via diariamente. Quantificar este prejuízo é o objetivo principal do trabalho que foi desenvolvido.



Os benefícios gerados pelo corredor também serão abordados neste trabalho, mas de forma mais simplista, já que, para uma análise completa, seriam necessários dados da demanda beneficiada pelo corredor, o que é difícil de se estimar já que há, atualmente, apenas uma linha que passaria a utilizar o corredor e não é parte do escopo deste trabalho estudar com detalhes a demanda que as novas linhas criadas atrairiam.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Estudar o impacto no tráfego com a implantação do corredor**

Alguns trechos da avenida possuem atualmente em suas pistas principais 4 faixas por sentido. Após a construção dos pontos de parada no canteiro central e da demarcação da faixa exclusiva ao tráfego de ônibus, o tráfego para os demais veículos será prejudicado, principalmente nessas seções críticas. Ao suprimir uma faixa de cada sentido de uma via tão movimentada quanto a Avenida dos Bandeirantes, até que haja uma reacomodação da demanda a rotas alternativas, o impacto no tempo de percurso é óbvio. Este trabalho tem como objetivo estudar o quão considerável seria esse impacto para os usuários de transporte individual e também analisar se o impacto seria constante ao longo da via ou se existirão pontos críticos, apontando quais seriam eles.

### **1.1.2 Avaliar economicamente o impacto do corredor para o motorista particular**

A avaliação do prejuízo ao motorista foi feita principalmente com a comparação entre o tempo que este leva para percorrer a via na situação atual e o que passará a levar após a implantação do corredor de ônibus. Sendo assim, para realmente mensurar esse prejuízo, o objetivo do trabalho é converter os atrasos gerados por aumentos no congestionamento da via em perdas econômicas para o usuário do transporte individual, partindo-se de um custo médio do valor tempo atribuído a ele. Adicionado a este custo, serão considerados outros impactos, como o consumo de combustível e a emissões de poluentes.

## **1.2 Metodologia**

A estratégia utilizada para análise do problema foi adotada de forma a garantir uma fidelidade suficiente para compreensão do impacto do corredor de ônibus na

Avenida dos Bandeirantes. Foram coletados dados principalmente da SPTrans (São Paulo Transporte S.A.) e da CET (Companhia de Engenharia de Tráfego). Os dados consistem em projetos geométricos, tabelas de contagens volumétricas de veículos por período, velocidade média, tempo de retardamento, entre outros. Primeiramente, a partir dos dados de pesquisas de tráfego e da geometria existente, foi feita a modelagem do cenário atual no *software* de microssimulação VISSIM.

A partir da situação atual modelada, foi inserida no programa a nova geometria baseada no projeto básico do edital da SPTrans e prevista a situação futura, imediatamente após a construção do BRT. Os arquivos de saída incluem dados de performance da rede, dentre os quais velocidades médias e tempos de viagem em cada um dos trechos, atrasos, média de paradas por veículo, dentre outros. A análise desses dados envolve principalmente a comparação entre o cenário atual e a futuro, para então se chegar a conclusões relativas ao impacto da implantação do corredor.

### **1.3 Estrutura do relatório**

Este trabalho está organizado em oito capítulos. O primeiro capítulo tem como objetivo contextualizar a situação que foi estudada, sua justificativa, objetivos e qual foi a metodologia utilizada para atingir esses objetivos.

O capítulo 2 irá discorrer sobre corredores de ônibus de maneira geral, com um pouco do histórico da implantação dos mesmos na cidade de São Paulo, enquanto o capítulo 3 irá focar na avenida de estudo e no corredor de ônibus específico que este trabalho irá analisar.

O capítulo 4 tem a missão de informar o leitor sobre a simulação de tráfego, mostrar sua importância e os tipos de simuladores existentes no mercado. Ele também conterá um aprofundamento do simulador que foi utilizado para a realização deste trabalho, o VISSIM.

O capítulo 5 tem como objetivo expor a metodologia que foi utilizada para o desenvolvimento do modelo de microssimulação.

O capítulo 6 mostra todos os dados que foram obtidos e utilizados no trabalho, assim como o passo a passo de como foi desenvolvido o modelo, sua calibração, seus resultados e também a análise destes resultados.

No capítulo 7 foi desenvolvida a análise econômica do corredor de ônibus a partir dos dados de saída da microssimulação.

O capítulo 8, finalmente, sumariza os resultados obtidos e explicita as conclusões nas quais se chegou a partir desses resultados.

## **2 CORREDORES DE ÔNIBUS**

### **2.1 Descrição**

Os corredores de ônibus servem para priorizar a utilização do espaço urbano para esse meio de transporte. Usualmente eles ocupam a faixa da esquerda no sentido do fluxo, e podem estar separadas fisicamente das demais faixas através da implantação de pequenas barreiras contínuas por quase todo o trajeto, impedindo a circulação de outros tipos de veículos.

Dessa maneira, as viagens de ônibus se tornam mais rápidas, os pontos de ônibus nos canteiros centrais tornam o embarque e desembarque mais organizado e concentrado, fazendo com que o serviço de transporte público se torne muito mais eficiente para os passageiros que dependem dele todos os dias. Em contrapartida, em geral é necessário o estreitamento ou eliminação de faixas para os carros ou até mesmo a invasão das calçadas e imóveis vizinhos; o que demandaria desapropriações e prejudicaria os moradores e algumas relações urbanísticas da região, além de aumentar o custo do corredor.

Nota-se, então, que a decisão de investimento nesse tipo de intervenção envolve diversos fatores negativos e positivos que devem ser muito bem ponderados em cada contexto da cidade.

### **2.2 Corredores na cidade de São Paulo**

De acordo com dados da SPTrans, a cidade de São Paulo conta atualmente com 123,5 km de corredores de ônibus e 150 km de faixas preferenciais à direita. Os corredores e terminais conectados por eles estão descritos na tabela 2.1 e ilustrados na figura 2.1, ambas abaixo.

| <b>Corredores de ônibus na cidade de São Paulo</b> |                 |                    |
|----------------------------------------------------|-----------------|--------------------|
| <b>Corredor</b>                                    | <b>Extensão</b> | <b>Inauguração</b> |
| Campo Limpo / Rebouças / Centro                    | 12km            | 11/09/2014         |
| Ver. José Diniz / Ibirapuera / Santa Cruz          | 5km             | 15/08/2004         |
| Expresso Tiradentes (Eixo Sudeste)                 | 12km            | 09/03/2007         |
| Inajar / Rio Branco / Centro                       | 14km            | 03/07/2004         |
| Itapecerica / João Dias / Santo Amaro              | 8km             | 17/07/2004         |
| Jd Ângela / Guarapiranga / Santo Amaro             | 8km             | 08/08/2004         |
| Paes de Barros                                     | 7,5km           | 08/03/2004         |
| Parelheiros / Rio Bonito / Santo Amaro             | 31km            | 21/08/2004         |
| Pirituba / Lapa / Centro                           | 15km            | 14/12/2003         |
| Santo Amaro / Nove de Julho / Centro               | 13km            | 28/08/2004         |

Tabela 2.1 - Corredores de ônibus na cidade de São Paulo.  
 Fonte: SPTrans (2015)

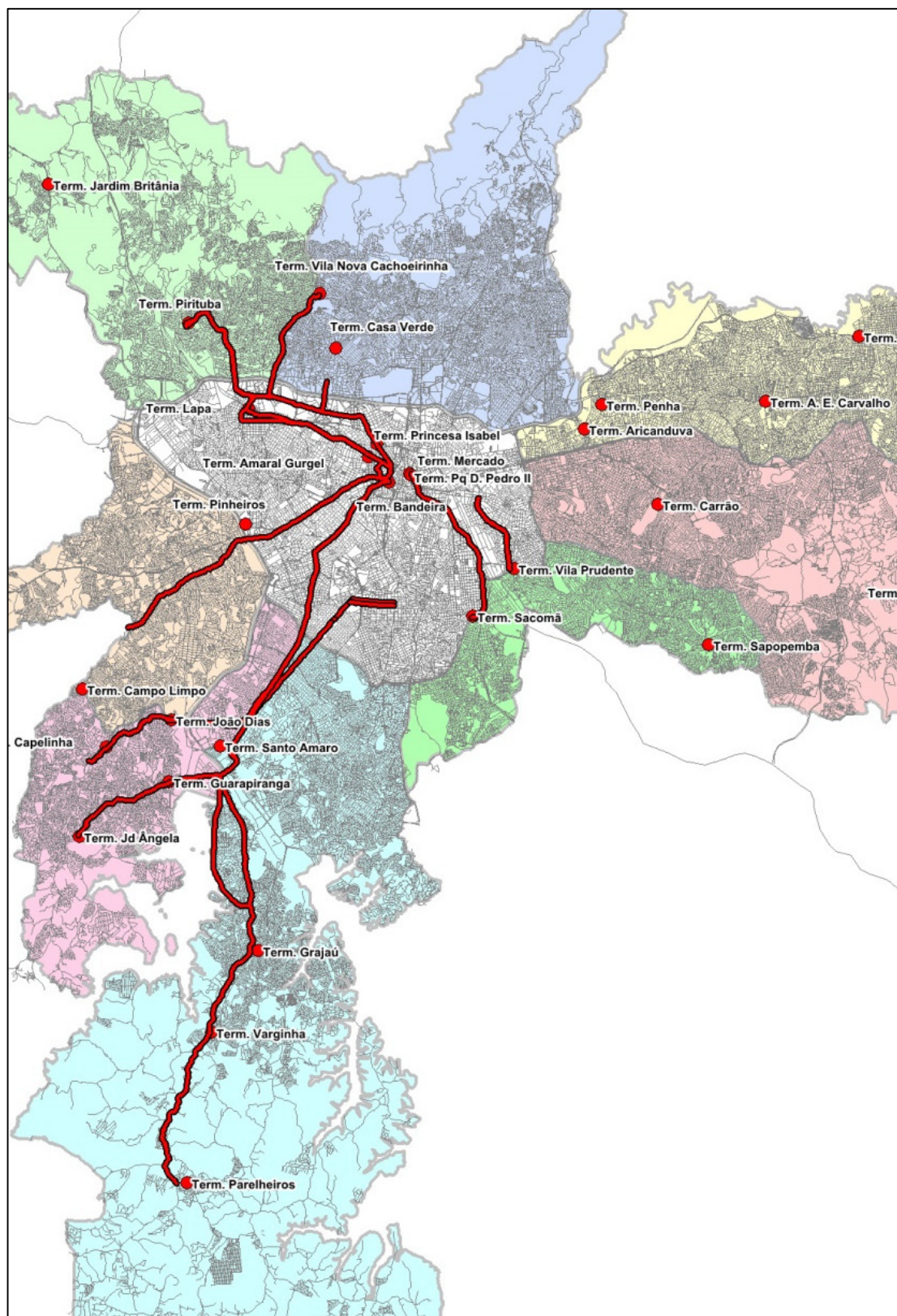


Figura 2.1 - Mapa de corredores de ônibus em São Paulo até maio de 2015 e seus terminais.  
Fonte: Assessoria Técnica SPTrans – DT/AST (2015)

O processo que antecede a implantação de um corredor de ônibus é bastante complicado. Os projetos precisam ser aprovados e as licitações aceitas para que a



construção possa efetivamente ocorrer. Na figura 2.2 é possível visualizar os corredores existentes e em fase de projeto na cidade de São Paulo; destes, nota-se que apenas 66 km foram licitados até janeiro de 2014. O corredor em estudo é indicado pelo número 13.

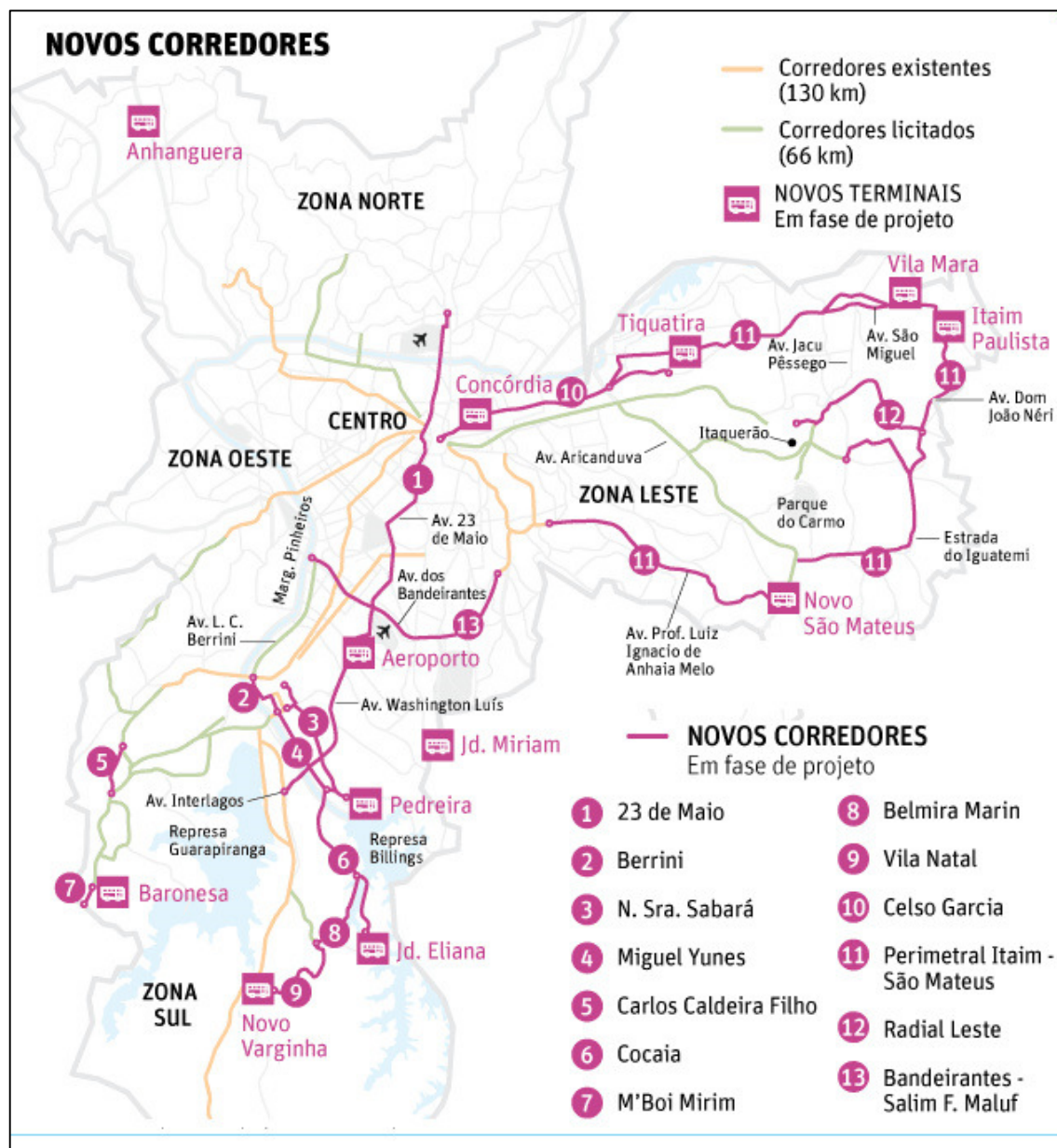


Figura 2.2 - Corredores Existentes e em Projeto.  
Fonte: Jornal Estadão (2014)

Desde então essas licitações estão paralisadas pelo Tribunal de Contas do Município (TCM), sob argumentos de falta de detalhamento dos recursos necessários para a construção e desapropriação, além de falhas no processo de contratação. A decisão da prefeitura foi, portanto, diminuir a quantidade de corredores, após atribuir prioridades para os mesmos. Os investimentos serão bancados em parte pelo Programa de Aceleração de Crescimento (PAC).

Os 40 km de corredores que permaneceram aprovados, de acordo com o jornal Estadão, resultariam em um investimento de até R\$ 1,2 bi, sendo estes destinados aos seguintes projetos:

- Perimetral Itaim Paulista-São Mateus, com 16 km de extensão total;
- Trecho 3 da Radial Leste, entre Itaquera e Guaianazes, com 8 km;
- Perimetral Bandeirantes-Salim Farah Maluf, também com 16 km de extensão, sendo este último o foco deste trabalho.



### **3 CORREDOR DE ÔNIBUS NA AVENIDA DOS BANDEIRANTES**

#### **3.1 A Avenida dos Bandeirantes**

Construída em meados de 1970, a Avenida dos Bandeirantes delimita o centro expandido da cidade e faz parte do mini-anel viário, promovendo uma conexão circular entre importantes vias radiais, como as avenidas Santo Amaro, Ibirapuera, Washington Luís, Jabaquara e Radial Leste. Ela também faz a conexão entre a Marginal Pinheiros e importantes rodovias, como a dos Imigrantes e a Anchieta. Além disso, a avenida é atualmente um importante eixo de acesso ao aeroporto de Congonhas, principal aeroporto doméstico da cidade de São Paulo.

As margens da avenida apresentam ocupação densa, de caráter misto. Mesmo após sofrer, ao longo dos anos, reformas de ampliação de capacidade com a implantação de novas faixas de tráfego, resultando num total de três a cinco faixas por sentido (dependendo do trecho), além de restrições de rodízio de placas e horários limitados para tráfego de caminhões (proibido em dias úteis, das 5h às 21h), essa via apresenta saturação diárias nos horários de pico, recebendo em seus 6 km de extensão um enorme volume de veículos.

De acordo com a CET (2014), o fluxo na avenida é predominantemente de automóveis, os quais compõem aproximadamente 78,5% da frota nos períodos de pico, seguido pelo volume de motocicletas, com 18,8%. Já os caminhões e ônibus fretados respondem por, respectivamente, a 1,2% e 1,4% deste volume. Sendo assim, fica claro que hoje em dia a avenida é pouco utilizada como trajeto para ônibus urbanos, futuros utilizadores do corredor a ser construído, os quais correspondem a apenas 0,1% da frota que passa pelo trecho de estudo nos horários de pico.

#### **3.2 Implantação do corredor**

O *Bus Rapid Transit* (BRT) a ser implantado na Avenida Bandeirantes se configura como uma obra de infraestrutura de mobilidade urbana, integrante do PAC, na categoria Mobilidade Urbana e Trânsito. O objetivo atestado nos relatórios e no edital da SPTrans de maio de 2015 para implantação do projeto é principalmente a tentativa de minimizar a deficiência do transporte público na região. O corredor visa aumentar a qualidade do transporte, o conforto e a velocidade do passageiro em suas viagens diárias. Segundo a SPTrans (2013), a escolha desse eixo se deu principalmente pela dificuldade de locomoção de moradores e

trabalhadores entre a zona sul e o centro de São Paulo. O corredor, quando implantado, possuirá integração ao Sistema Expresso Tiradentes, e conectará as subprefeituras de Pinheiros, Santo Amaro, Vila Mariana, Ipiranga, Jabaquara, Mooca e Vila Prudente.

A Contratada desenvolverá o projeto executivo com base nos Projetos Básicos fornecidos no edital, com as respectivas diretrizes da SPTrans. O corredor terá faixa exclusiva à esquerda, com largura de 3,50 m em pavimento rígido em toda sua extensão, exceto nas paradas onde se estreita para 3,00 m. As paradas serão em média a cada 600 m com plataformas junto ao canteiro central. O trecho estudado possui 12 paradas em seus 4 km de comprimento.

O Empreendimento compreende dois trechos, divididos por cronologia de construção. O primeiro tem extensão de 4 km, inicia-se na Ponte Engenheiro Ari Torres na confluência com a Avenida Engenheiro Luiz Carlos Berrini, segue pela extensão da Avenida dos Bandeirantes até a confluência com a Avenida Washington Luis, Viaduto João Julião da Costa Aguiar. O segundo trecho tem extensão de 12,6 km, inicia-se junto ao Viaduto João Julião da Costa Aguiar, segue pela Avenida dos Bandeirantes até o Viaduto Jabaquara, segue pela extensão da Avenida Afonso D'Escagnolle Taunay, Complexo Viário Maria Maluf, Avenida Presidente Tancredo Neves até o Terminal Sacomã.

O projeto possui uma grande diversidade de seções transversais. O trecho adotado como foco de análise é o chamado Trecho I, primeiro a ser implantado. Ele é composto por quatro diferentes seções típicas, todas elas caracterizadas pela substituição de uma faixa que antes era compartilhada por todos os veículos, por uma faixa preservada para ônibus em ambos os sentidos. Essa substituição se fez necessária pela impossibilidade de estreitamento das faixas já existentes. Os canteiros centrais possuem largura variável, no projeto há, portanto, espaço suficiente para implantação de paradas e acesso a passarelas nos locais menos estreitos. A Figura 3.2 resume em planta as localizações exatas de cada seção-tipo, detalhadas nos parágrafos seguintes, e do trecho com seção muito heterogênea próximo ao entrelaçamento com a Marginal Pinheiros.



Figura 3.1 - Localização dos trechos I e II do Corredor Perimetral Bandeirantes - Salim Farah Maluf.  
(Fonte: SPTrans 2015)

Para garantir o conforto e principalmente o bom funcionamento do sistema, foram adotadas algumas considerações geométricas:

- Faixas de tráfego geral de 3,3 m, com estreitamentos para no mínimo 3,0 m;
- Faixas para ônibus de 3,5 m, com estreitamentos para no mínimo 3,3 m;
- Ciclovias na lateral à direita de 2,5 m (quando viável para a seção transversal);
- Conexões verticais com as paradas dos corredores que cruzam a Av. dos Bandeirantes.

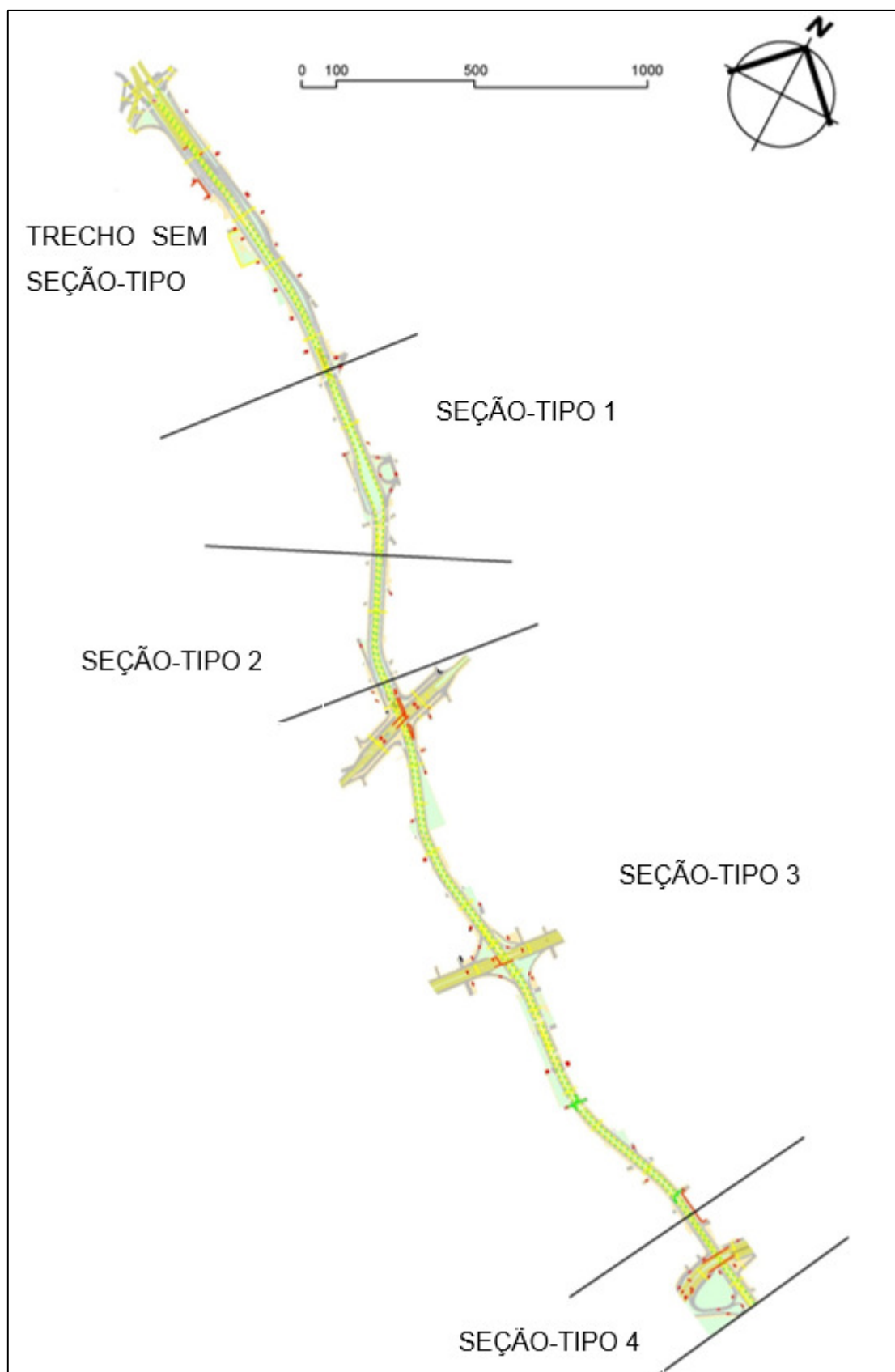


Figura 3.2 - Localização das quatro seções típicas encontradas no Trecho I.

O início do trecho estudado, junto à Marginal Pinheiros, não possui seção tipo característica por compreender um estreitamento em função das alças e acessos

Marginal – Avenida. Aproximadamente na altura da Rua Dr. Manuel da Rocha Passos Filho, a seção se torna uniforme, como ilustrado na Figura 3.3, pelos próximos 559 m. Além da faixa de ônibus, de 3,55 m, cada sentido da avenida possui mais cinco faixas de rolamento, a serem compartilhadas pelos outros modos de transporte rodoviário.

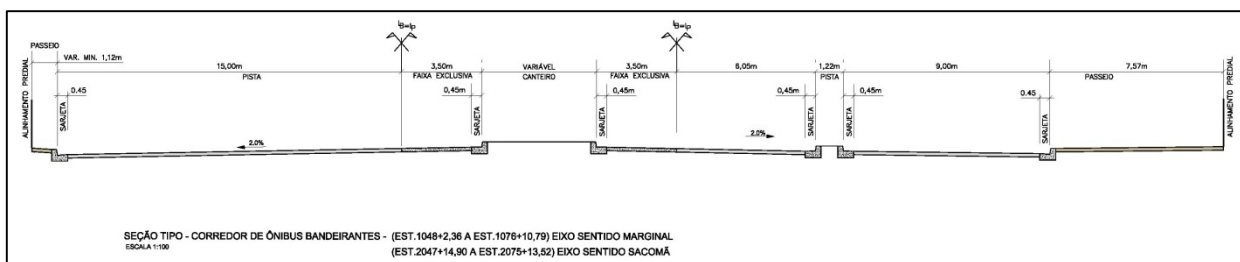


Figura 3.3 - Seção-tipo 1.

A segunda seção-tipo é a de um trecho de 379 m de extensão, até a Rua Prof. Daijiro Matsuda. Nesse subtrecho, as faixas compartilhadas por automóveis e caminhões somam 16 metros em cada sentido.

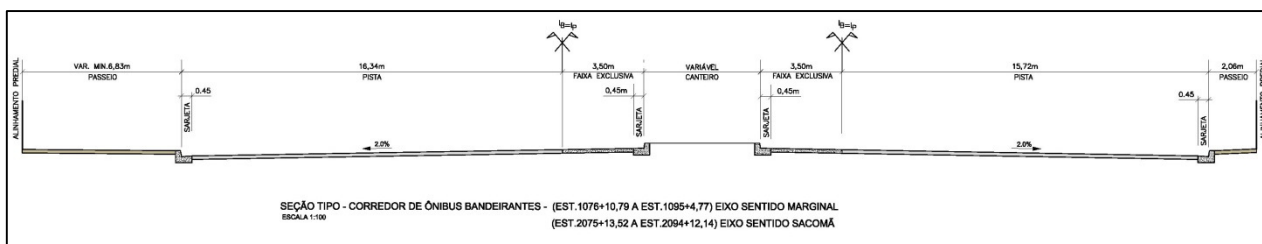


Figura 3.4 - Seção-tipo 2.

A seção-tipo 3 é referente ao trecho que cruza as Avenidas Santo Amaro e Ibirapuera e possui maior largura e extensão. O volume de tráfego é bastante intenso, e a interligação entre o corredor do projeto e as linhas já existentes dessas duas movimentadas avenidas exerce grande importância na mobilidade da cidade. A seção se mantém praticamente homogênea por aproximadamente 1,82 km, com exceção do canteiro central, bastante variável.

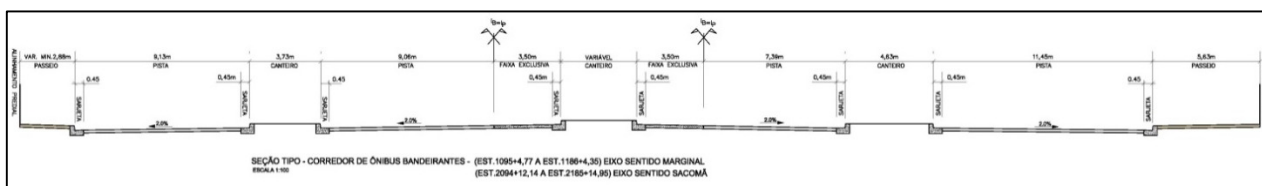


Figura 3.5 - Seção-tipo 3.

A última seção-tipo situa-se da Rua Anduzeiro até o primeiro acesso ao aeroporto de Congonhas, cruzando o Viaduto João Julião da Costa Aguiar, no final

do trecho I em análise. Aqui, a seção é mais estreita, mas o passeio é mais largo (8,55m) que no restante do trecho, demonstrando maior preocupação com o pedestre.

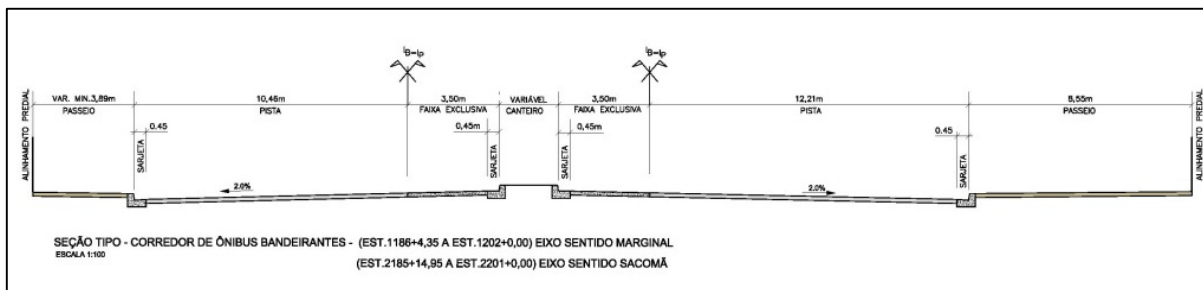


Figura 3.6 - Seção-tipo 4.

Como é possível observar nas seções transversais típicas definidas anteriormente, não haverá faixa de ultrapassagem para os ônibus. Caso as frequências de ônibus no corredor sejam muito elevadas, esta decisão de projeto acabará resultando em acréscimos no tempo de viagem dos usuários do sistema, devido à impossibilidade de continuarem seu trajeto no caso de haver outro ônibus parado à frente. Em compensação, não alargar mais a seção transversal permitiu desapropriações apenas em pontos específicos, como passarelas, viadutos e algumas paradas.

O projeto inclui onze paradas, uma estação de transferência e quatro passarelas. Os canteiros centrais foram dimensionados para garantir a mobilidade do pedestre: em locais de fluxo bidirecional, foi garantido o mínimo de 1,0 metro; em canteiros com paradas de atendimento unilateral, 3,5 metros; e onde o atendimento ocorrer de ambos os lados, 5,0 metros. As paradas possuem comprimentos superiores a 60 metros, e o pagamento da tarifa será feito antes do embarque, melhorando a produtividade do transporte.

A obra compreende, além do corredor em si, diversos projetos complementares. Existe, por exemplo, um projeto de acessibilidade, que envolve travessia de pedestres por faixas e passarelas e faixas de piso tátil; um projeto de iluminação, com foco nas paradas e travessias; além destes, há projetos de drenagem, de sinalização horizontal, vertical e semafórica, e projeto de tecnologia e informação ao usuário.

Esse trecho em especial possui atualmente apenas uma linha de ônibus: a linha interurbana 190 - Taboão da Serra/Metro Conceição, operada pela Intervias, e que passará a utilizar o corredor. Serão criadas duas novas linhas, uma que percorre exatamente o trecho analisado (previsão de 6 veículos/hora) e outra que continua além dele (previsão de 15 veículos/hora), conforme apresentado na Figura 3.7. Os veículos utilizados serão ônibus articulados, com capacidade máxima de 120 passageiros. O trecho em análise contém o terminal Henrique Chamma e as estações de transferência Av. Berrini, Av. Santo Amaro, Av. Ibirapuera e Av. Washington Luiz.

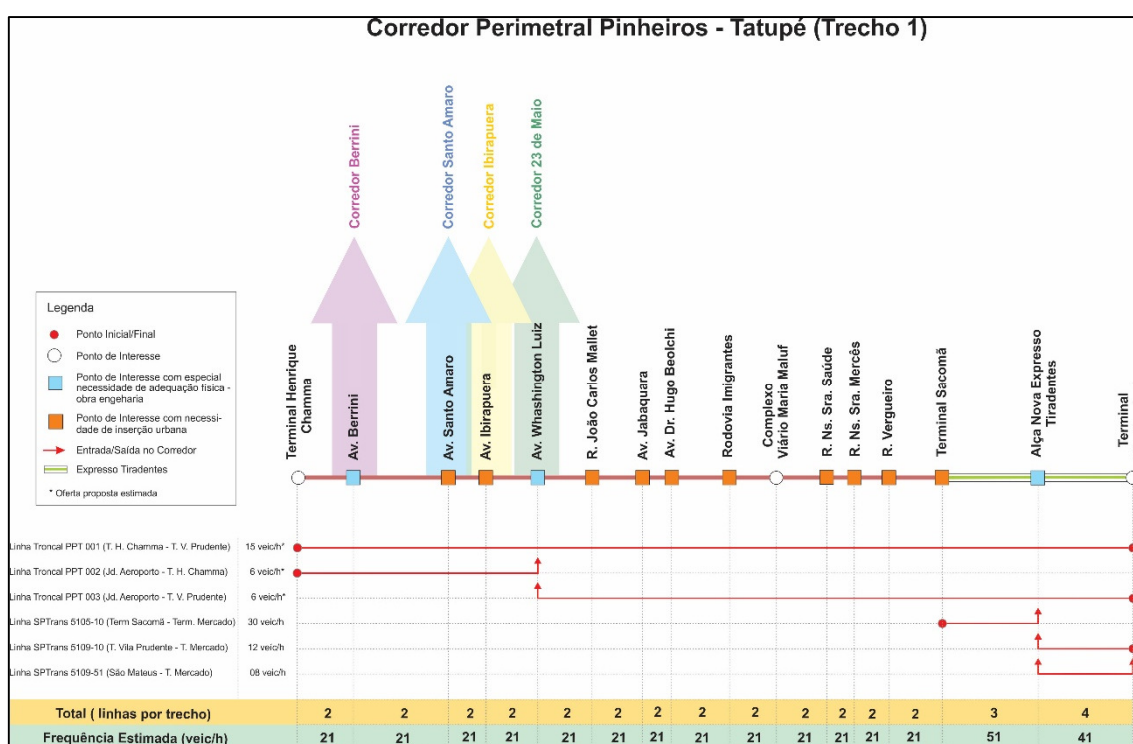


Figura 3.7 - Diagrama Unifilar das novas linhas de ônibus do Corredor Perimetral Bandeirantes - Salim Farah Maluf.  
Fonte: SPTrans (2015)

### 3.3 Custos de implantação

Incluídos nos projetos do corredor, estão os projetos de interdições provisórias para o período de construção e mapas de desapropriações do entorno. As interdições irão prejudicar consideravelmente o tráfego, mas de maneira temporária. Já as desapropriações, que somam aproximadamente 27.000 m<sup>2</sup> de área, e têm como valor total R\$ 46.126.604,43, representam um impacto muito maior para a sociedade. Apesar das desapropriações, a largura da avenida continuará



praticamente a mesma, e esses novos espaços serão utilizados para a inserção das passarelas de travessia de pedestres junto a pontos de parada do corredor, e não para o aumento da capacidade da via.

Os serviços serão remunerados com recursos municipal e federal oriundos de repasse da União, decorrente do Programa Mobilidade Urbana e Trânsito, e onerará dotação orçamentária, da Secretaria de Infraestrutura Urbana e Obras – SIURB, com a qual a empresa/consórcio vencedor da presente licitação firmará Contrato diretamente.

O valor total estimado no Edital da SPTrans para a obra é de R\$ 359.298.391,20 (na data-base julho de 2014), já acrescidos das taxas máximas de 26,97% de BDI (Bonificação e Despesas Indiretas) para Obras Civis, que são os valores máximos admissíveis pela SIURB na presente licitação.

A Tabela 3.1 mostra a distribuição de custos na implantação do corredor.

|           | Custos - Corredor Bandeirantes |                    |                   |                    |
|-----------|--------------------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
|           | Extensão                       | Implantação        | Despropriações    | Total              |
| Trecho I  | 4,0 km                         | R\$ 157.288.815,97 | R\$ 46.126.604,43 | R\$ 203.415.420,40 |
| Trecho II | 12,6 km                        | R\$ 148.020.293,39 | R\$ 7.862.677,41  | R\$ 155.882.970,80 |
|           |                                |                    |                   | R\$ 359.298.391,20 |

Tabela 3.1 – Distribuição de custos na implantação do Corredor Perimetral Bandeirantes – Salim Farah Maluf.  
Fonte: SPTrans (2013)

### 3.4 Andamento da licitação

A figura 3.8 mostra o andamento do projeto do corredor.

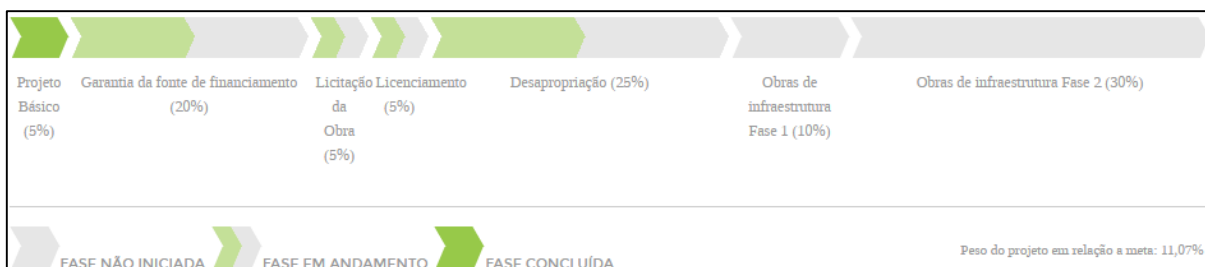


Figura 3.8 - Acompanhamento das fases do corredor.  
Fonte: Prefeitura de São Paulo (2015)

O processo de licitação desse empreendimento depende do andamento de diversos trâmites legais. Em publicação no Diário Oficial em 18 de junho de 2015, a



prefeitura suspendeu oficialmente a licitação de mais de 44 quilômetros de corredores de ônibus das regiões sul e leste da cidade, incluído o corredor em estudo, que contavam com previsão de aprovação até junho de 2015. Não há nova previsão de decisão frente aos questionamentos técnicos que esses projetos vêm sofrendo, principalmente até que haja um relatório detalhado da Subsecretaria de Fiscalização e Controle do TCM (Tribunal de Contas do Município) à Prefeitura.

### 3.5 Foco de estudo

O presente estudo tem como foco apenas o trecho I, que compreende 4 km da extensão total do corredor a ser implantado na Av. dos Bandeirantes. O trecho se inicia na Av. das Nações Unidas (Marginal Pinheiros) até aproximadamente o aeroporto de Congonhas, cruzando com algumas vias importantes para a cidade, como a Av. Engenheiro Luís Carlos Berrini/Rua Funchal, Viaduto Santo Amaro, Av. Ibirapuera e Corredor Norte Sul.

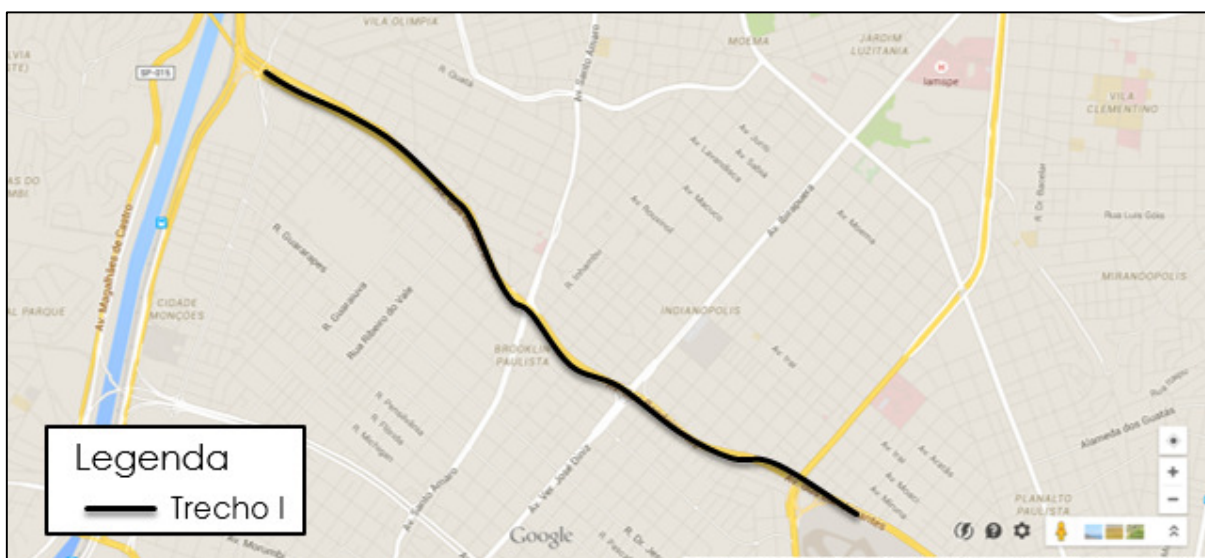


Figura 3.9 - Trecho I do corredor Bandeirantes-Salim Farah Maluf.  
Fonte: Google Maps (2015)

A escolha se deu por pelo fato desse ser o trecho com maior demanda e índice de congestionamentos da avenida. Esse trecho representa uma das mais importantes conexões viárias da cidade, entre a Marginal Pinheiros, um dos principais eixos viários da cidade de São Paulo, e o Aeroporto de Congonhas, que, segundo à Infraero (2015), recebe em média 562 movimentos por dia, entre pousos e decolagens, e transporta mais de 18 milhões de passageiros anualmente, interligando a capital paulista a 25 outras localidades.

Os dados disponibilizados pela SPTrans e CET possuem maior quantidade de pontos de contagem de volume de veículos, velocidade média, tempo de percurso e tempo de retardamento localizadas nesse trecho, e o método de análise por modelagem possui enorme dependência desses dados de entrada. Uma modelagem com maior número de informações do estado atual permite uma melhor calibragem do modelo, melhorando, assim, a fidelidade da simulação.

## 4 SIMULAÇÃO DE TRÁFEGO

### 4.1 Importância, vantagens e desvantagens

Segundo Gomes (2004), a simulação de tráfego surgiu há aproximadamente 60 anos atrás, quando, em 1955, Lighthill e Whitham criaram um simulador que usava uma analogia entre o movimento de partículas em um fluido e o fluxo de veículos. Desde aquele tempo, o poder computacional aumentou exponencialmente ao longo das décadas, mas não apenas a tecnologia se desenvolveu, também houve avanços teóricos na engenharia de tráfego e na aplicação de conceitos de psicologia ao tráfego, os quais são levados em conta e incorporados nos simuladores de tráfego da atualidade. Somando todos esses aspectos, os *softwares* atuais são capazes de executar simulações extremamente fiéis e detalhadas, se os dados de entrada forem compatíveis com a realidade.

O uso de simuladores é de extrema importância para a engenharia de tráfego, já que através dele, ao contrário da observação direta do fluxo de tráfego, é possível ter controle sobre todas ou quase todas as variáveis que influem nesse fluxo. Assim, é possível simular uma grande quantidade de diferentes condições operacionais com certa facilidade, sem os custos e as dificuldades que seriam associadas à coleta de dados para a obtenção de amostras daquela situação (McLean, 1989 *apud* Gomes, 2004). Também se destaca a possibilidade de simulação de situações difíceis ou até impossíveis de serem observadas na prática, como a previsão e análise de uma potencial situação futura da via, a qual pode ser simulada com diversos parâmetros diferentes da realidade, como por exemplo: aumento ou diminuição do número de faixas, maior ou menor largura das faixas, simulação de desvios temporários ou permanentes, etc. E esse é o caso deste trabalho, o qual analisará uma potencial situação futura da via com o corredor de ônibus implantado.

Como obras de infraestrutura geralmente envolvem uma grande soma de recursos e tempo para serem construídas, é essencial analisar o cenário a ser implantado antes que o mesmo seja construído. Com a análise, deve-se confirmar ou negar sua viabilidade antes que a obra seja executada, diminuindo consideravelmente a chance de que essa grande quantidade de recursos seja utilizada de forma a piorar ao invés de melhorar a situação, e mais recursos tenham que ser gastos posteriormente para que se corrija o erro.

A principal desvantagem da simulação é a possibilidade de o modelo não ser capaz de representar adequadamente o sistema o qual se deseja estudar. Isso pode ser minimizado por meio dos processos de verificação, validação e calibração, os quais diminuem as diferenças entre o fluxo de tráfego real e o simulado (Gomes, 2004).

## **4.2 Tipos de simuladores**

Segundo Burghout (2004), em se tratando de simulação, independente do assunto que ela tratar, é comum haver divergências quanto ao que se julga necessário de ser representado ou não. Assim sendo, é natural que se tenha uma grande quantidade de modelos disponíveis no mercado, cada um mais voltado para um certo tipo de representação ou resultado. Isso é devido à impossibilidade de tratar, em um ambiente único, todos os aspectos físicos e sociais que afetam o comportamento de um sistema de tráfego.

Assim, quando um especialista vai criar um novo modelo de simulação, o mesmo se depara com o fato de que é impossível retratar exatamente a realidade em um programa de computador, seja por dificuldade de codificação de determinado parâmetro, restrições de tempo ou de poder computacional. Este deve então determinar o foco do estudo, e, a partir disso, definir quais dados da realidade serão parametrizados para que o mesmo seja realizado (Mugnola, 2012).

Atualmente, há diversos tipos de simuladores, os quais podem ser classificados de acordo com o nível de detalhamento com o qual abordam o tráfego, tanto do lado da oferta (pistas, sinalização, controladores, etc.) quanto da demanda (veículos que utilizam a via). No que diz respeito à demanda, por exemplo, a mesma pode ser representada por veículos individuais, os quais possuem percepção e decisão sobre a sua movimentação; ou pode, ainda, ser representada por um fluxo de veículos, sem nenhuma propriedade individualizada. Do lado da oferta, pode-se variar o nível de detalhamento de uma via, a qual pode ser modelada se considerando ou não parâmetros como greide, controladores, imperfeições na pavimentação, etc.

Levando isso em conta, os simuladores de tráfego podem ser classificados em macroscópicos, microscópicos e mesoscópicos, que serão melhor detalhados a seguir.

### **4.2.1 Macroscópicos**

São os modelos mais antigos e consideram o fluxo de tráfego de uma forma agregada, descrevendo-o como um fluxo contínuo, o qual é representado por uma velocidade e uma densidade. Assim, eles não representam o veículo individual e eventualmente também não representam elementos topológicos da via como número e largura de faixas.

Essa maior simplificação oferece vantagens, como uma maior disponibilidade de dados para alimentar esses modelos e também a falta da necessidade de se incluir dados muito específicos, como fatores comportamentais dos motoristas em uma determinada região. Também são importantes para a modelagem de grandes áreas.

Como desvantagem, é clara a impossibilidade de se observar efeitos comportamentais em determinados trechos de via, como cruzamentos, convergências, bifurcações, inclinações, etc. (Mugnola, 2012).

### **4.2.2 Microscópicos**

Neste modelo, cada veículo é representado individualmente, o qual pode receber até traços comportamentais específicos de seus condutores, como agressividade ou tranquilidade, taxa de troca de faixas, dentre outros. Assim, eles reagem de forma diferente em relação à geometria da via, os sinalizadores que ela contém e ainda aos outros motoristas.

Em relação à infraestrutura da via, a mesma pode ser representada em um elevado nível de detalhe, como número e largura das faixas, greide, sinalizações, curvaturas e regras (como proibições específicas em certos trechos, por exemplo, ultrapassagens) (Boxill; Yu, 2000).

Com tais características, esse tipo de modelo é capaz de fornecer uma representação fiel da realidade e do comportamento dos motoristas, ao custo de um elevado poder computacional necessário para a simulação e da necessidade da obtenção de dados para que seja feita a calibragem de todos esses detalhes que podem ser adicionados no modelo.

Assim, este é o modelo que se julgou mais adequado à situação estudada e é um simulador deste tipo que foi utilizado neste trabalho, já que é necessário um

elevado nível de detalhes para que se possa visualizar as diferenças no fluxo de tráfego em uma via causadas pela implementação de uma obra de infraestrutura, neste caso, de um corredor de ônibus.

#### **4.2.3 Mesoscópicos**

É um tipo de modelo misto dos dois anteriores, representando uma abordagem intermediária. Nele, tem-se a capacidade de se representar o veículo individualmente, mas o modelo é baseado em características do fluxo de tráfego, como densidade e velocidades médias.

### **4.3 Simulador VISSIM**

Como já foi dito, para este trabalho foi utilizado um simulador microscópico, e dentre as opções disponíveis no mercado, foi escolhido o simulador VISSIM. Ele foi desenvolvido pela empresa PTV (Planung Transport Verkehr AG), sediada na cidade de Karlsruhe, Alemanha. O *software* foi lançado no ano de 1992, e sua última versão lançada é a 7.0, de 2014, que foi utilizada neste trabalho. Primeiramente foi testada a versão de estudante do programa, a qual foi útil para a familiarização com a sua interface e com o seu modo de construção e operação, os quais foram avaliados como extremamente positivos.

Devido a limitações da versão de estudante, como por exemplo tamanho máximo da rede de 1km x 1km e tempos máximos de simulação de apenas 10 minutos, não seria possível realizar a simulação do trecho de aproximadamente 4 km de extensão da Av. dos Bandeirantes, bem como as análises necessárias com esta versão. Foi necessário então pedir uma licença completa do *software* para fins científicos à PTV, a qual prontamente e gratuitamente forneceu a licença *full* (com uma limitação no tamanho máximo da rede de 5 km x 5 km, a qual é suficientemente grande para a modelagem do trecho de interesse) até a data de conclusão do trabalho.

O *software* possui um grande número de aplicações, dentre as quais podemos citar: comparação de geometrias de interseções, planejamento de tráfego, análise de capacidade, impacto de desvios, estudos de operação de semáforos e o impacto no tráfego devido à passagem de transporte público, como ônibus e trens (PTV, 2015).

O mesmo apresenta uma facilidade de elaboração das redes e de entendimento dos fenômenos ocorridos, representando qualquer alternativa realista de um sistema, e sendo assim amplamente utilizado tanto em meio acadêmico como em meio profissional.

A interface do *software* permite que os dados de entrada e o desenho da rede sejam inseridos facilmente e, durante a simulação, é possível uma visualização da rede em operação, a qual permite uma análise crítica se o que está ocorrendo é compatível com a realidade, facilitando assim os procedimentos de calibração e validação do modelo (Neris, 2014). Durante a simulação, também é possível visualizar importantes parâmetros do fluxo de veículos, como distribuições de tempos de viagem e distribuição de atrasos, em janelas, ou ainda exportá-los para arquivos ou base de dados (PTV, 2015).

A simulação de tráfego do *software* é baseada nos modelos psicofísicos de *car-following* (dirigibilidade em pelotão em faixa única) e de *lane change* (mudança de faixa), os quais, em contraste com modelos menos complexos que utilizam velocidades constantes e lógicas determinísticas, fazem com que seja atingido um padrão elevado de acurácia na simulação de tráfego (PTV, 2015). Os modelos serão melhores descritos a seguir.

#### **4.3.1 Car-following**

De acordo com a PTV (2015), o conceito básico do modelo de *car-following* é que um motorista de um veículo mais veloz começa a desacelerar quando ele percebe um veículo mais lento seguindo à frente. Como ele não pode determinar exatamente a velocidade na qual o veículo mais lento está se deslocando, sua velocidade irá diminuir até ficar abaixo da velocidade do veículo que estava mais lento, momento no qual ele passará a acelerar novamente, se estabelecendo, assim, um ciclo de brandas acelerações e desacelerações. Dessa forma, comportamentos de diferentes motoristas são levados em conta, utilizando-se funções de distribuição de velocidade e de comportamentos de acordo com a distância do veículo à frente.

O VISSIM é dotado de dois modelos diferentes de *car-following*, cada qual possui uma determinada gama de parâmetros a serem calibrados, e cabe ao usuário selecionar o modelo que for mais adequado ao trabalho que estiver sendo desenvolvido. Ambos os modelos foram desenvolvidos por Wiedermann, um em

1974, o qual é mais recomendado para a modelagem do tráfego em ambientes urbanos e foi o utilizado neste trabalho, e o outro em 1999, o qual é mais adequado para o tráfego interurbano.

#### **4.3.2 Lane change**

O VISSIM possui dois casos de mudança de faixa: a mudança de faixa necessária, quando o motorista precisa mudar de faixa para fazer uma conversão e está disposto a atingir a desaceleração máxima a fim de executar a manobra, e a mudança de faixa livre, na qual o motorista troca de faixa com o objetivo de viajar com uma maior velocidade ou de obter um maior espaço na via (Neris, 2014). Para ambos os tipos, é necessário que se tenha um espaço suficiente na faixa desejada, espaço o qual depende da velocidade do veículo que está executando a manobra de mudança de faixa e da velocidade e posição do veículo que está se aproximando por trás na faixa de destino (PTV, 2015).

#### **4.3.3 Dados de saída**

O VISSIM é capaz de fornecer os mais diversos dados ao final de cada simulação, os quais são mostrados dentro da plataforma do *software* ou registrados em arquivos de texto. O usuário do programa pode escolher os dados de saída que julgar relevantes e também escolher o intervalo nos quais os mesmos devem ser recolhidos.

Dentre os dados de saída possíveis se destacam: tempos de viagem, contagem de veículos em seções, atrasos, número de paradas, veículos que não conseguem entrar na rede e dados gerais da rede. O programa também pode gerar animações e vídeos em 3D da simulação sendo rodada.



## 5 METODOLOGIA

Para a modelagem do trabalho, foi utilizada como base uma metodologia desenvolvida pela Federal Highway Administration (FHWA), órgão do departamento de transportes dos Estados Unidos da América. A metodologia foi desenvolvida em 2004, e descreve detalhadamente os procedimentos a serem seguidos para que seja executada uma modelagem de microsimulação satisfatória.

De acordo com a mesma, o processo de desenvolvimento e aplicação de um modelo de microsimulação consiste em sete tarefas principais:

- Identificação do propósito do estudo e o seu escopo;
- Coleta de dados e sua preparação;
- Desenvolvimento do modelo base;
- Verificação de erros;
- Calibração do modelo;
- Análise das alternativas;
- Relatório final e técnico.

Tais tarefas serão detalhadas a seguir.

### 5.1 Identificação do propósito do estudo e o seu escopo

Segundo a FHWA (2004), a microsimulação pode prover muitas informações; entretanto, também pode ser um processo que toma muito tempo e exija bastante recursos.

Assim, é essencial que o analista coordene a simulação de uma maneira a garantir uma boa relação custo x eficiência para o estudo. O componente primário de um gerenciamento eficiente é a definição do escopo, o qual define os objetivos, a extensão do trabalho, a abordagem, as ferramentas, os recursos e o cronograma do trabalho. Um cronograma típico de um estudo de microsimulação pode ser visualizado na figura 5.1

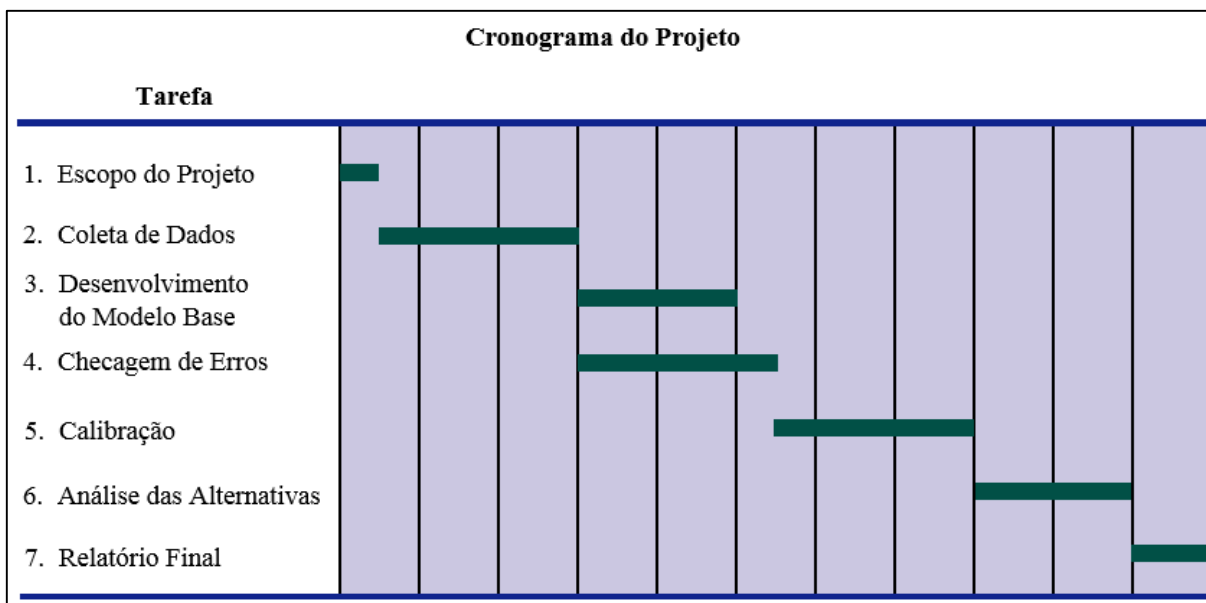


Figura 5.1 – Cronograma típico de um estudo de microsimulação.  
Fonte: FHWA (2004)

As questões chave para o gerenciamento de um estudo de microsimulação são:

- Adquirir conhecimento suficiente para desenvolver e avaliar o modelo;
- Prover tempo e recursos suficientes para desenvolver e calibrar o modelo de microsimulação;
- Desenvolver uma documentação adequada para o processo de desenvolvimento do modelo e dos resultados de calibração.

## 5.2 Coleta de dados e sua preparação

Esta tarefa envolve a coleta e a preparação de todos os dados necessários para a análise da microsimulação. O modelo exige uma gama de dados de entrada, dentre os quais:

- Geometria da via (comprimento, faixas, curvaturas);
- Controladores (Semáforos e suas respectivas temporizações);
- Demanda existente (quantidade de veículos em cada conversão, rotas);
- Dados de calibração (Contagem de veículos, tempos de viagem e velocidades médias por trecho, filas).

Para que a verificação de erros e a calibração sejam executadas corretamente, é importante que os dados colhidos sejam recentes e acurados. Também é essencial que os diferentes dados de calibração tenham sido colhidos simultaneamente.

### 5.3 Desenvolvimento do modelo base

Após a definição do escopo do trabalho e da coleta dos dados necessários para sua realização, a próxima etapa é a reprodução da situação real no software, isto é, a modelagem.

Segundo a FHWA (2004), o objetivo desta etapa é a criação de um modelo que é verificável, reproduzível e acurado. Tal tarefa pode ser bastante complexa e tomar bastante tempo para ser executada. O método para a execução desta tarefa pode ser pensado como a execução de diversas camadas do modelo até que o mesmo se complete.

A primeira camada é a modelagem da geometria do trecho estudado, o qual se dá por meio da criação de um diagrama *link/node*, a exemplo do apresentado na figura 5.2, estabelecendo uma base para o modelo.

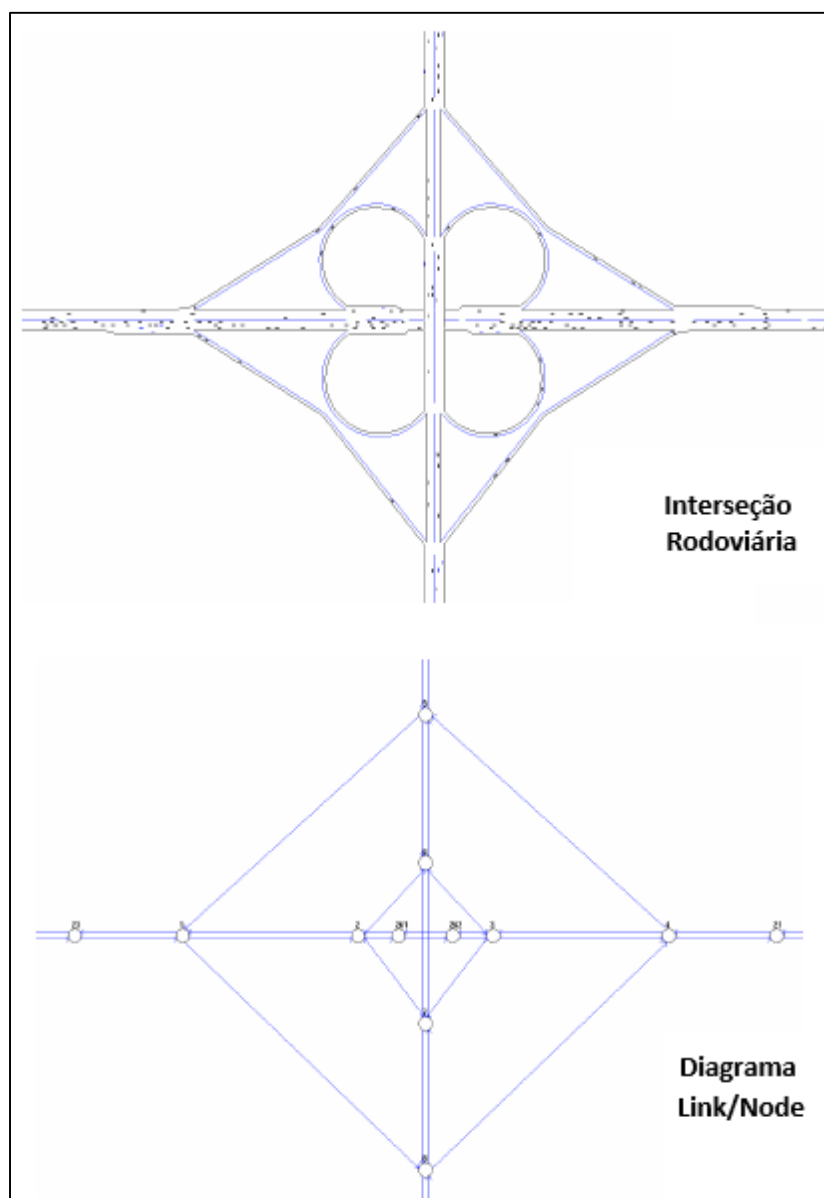


Figura 5.2 – Exemplo de diagrama *link/node* de uma interseção rodoviária.  
Fonte: FHWA (2014)

A passagem dos dados da geometria da via de estudo para o software é uma das etapas mais importantes do trabalho e é o esqueleto que serve de base para todas as simulações que venham a ser executadas. De acordo com a FHWA tais dados incluem:

- Comprimento das pistas;
- Número de faixas;
- Largura das faixas;
- Greide da pista;
- As curvaturas de cada pista;

- Conversões;
- Cruzamentos.

Acima desta camada, são incluídos os semáforos e suas respectivas temporizações. Em seguida, devem ser incluídas as regras que regem o fluxo de tráfego na via, isto é, limites de velocidade, regras de preferências em cruzamentos, sinais de “Pare” e de convergências e até a localização de radares.

Depois, com a rede pronta, devem ser adicionados os veículos que compõem a demanda, assim como os seus respectivos comportamentos e as rotas as quais seguirão.

Finalmente, completando o modelo base, contadores e parâmetros devem ser colocados no modelo com o objetivo de controle da simulação, como por exemplo:

- As seções na via que serão feitas as contagens de veículos (as quais devem estar localizadas nos mesmos locais nos quais os dados de contagem foram coletados e, se necessário, em mais locais);
- O tempo de duração da simulação;
- Os tipos de relatórios e imagens que se deseja como *output* (relatório de tempos de viagem, diagrama de distribuições de velocidades médias na rede, etc.);
- Arquivos de animação e a resolução desejada, dentre outros.

O processo de desenvolvimento do modelo não tem que seguir necessariamente esta exata ordem, entretanto cada uma dessas camadas é necessária de alguma forma em qualquer modelo de microssimulação (FHWA, 2004).

#### **5.4 Verificação de erros**

A verificação de erros deve ser feita em conjunto com o desenvolvimento do modelo base e também durante simulações teste. Ela é essencial para uma modelagem bem-sucedida, já que, no caso de o modelo conter erros, a próxima etapa (calibragem) pode resultar em parâmetros distorcidos, de forma a compensar esses erros da forma errada (FWHA, 2004). Tal compensação invalidaria a análise de diferentes cenários, e, no caso deste trabalho, a simulação da via com o corredor de ônibus implantado.

Segundo a FWHA (2004), o processo de verificação de erros consiste numa revisão da rede codificada, da demanda e dos parâmetros padrão do software. Ele deve ser executado na seguinte sequência:

- Checagem de erros relacionados ao software;
- Checagem de erros relacionados aos dados de entrada;
- Revisão da animação da simulação, para que sejam encontrados erros menos óbvios.

## 5.5 Calibração do modelo

A calibração é o ajuste de uma série de parâmetros com o objetivo de se reproduzir no modelo o comportamento do motorista e a performance de tráfego locais. Tais parâmetros podem ser:

- Parâmetros comportamentais dos motoristas;
- Distribuição de velocidades da frota;
- Proporção de veículos em cada conversão;
- Quantidade de veículos que estão entrando na rede;
- Modelagem de obstruções que não foram possíveis de serem reproduzidas dentro do modelo, como por exemplo congestionamento nas ruas lindeiras fora do modelo.

Os ajustes desses parâmetros são feitos de forma iterativa, isto é, os mesmos são alterados e depois é feita uma simulação, na qual são analisados se os dados que estão sendo gerados pelo *software* (como contagem dos veículos em cada seção, tempos de viagem, atrasos, por exemplo) estão mais próximos dos dados que foram coletados em campo. Assim, a etapa de calibração termina quando os dados que estão sendo gerados estiverem suficientemente próximos dos dados coletados em campo. Este processo pode vir a consumir bastante tempo até que o objetivo seja atingido.

Segundo a FHWA (2004), os pontos chave na calibração do modelo são:

- Identificação dos parâmetros medidos em campo que devem ser igualados no modelo;
- Alocação de tempo e recursos suficientes para que se atinja essa igualdade;

- Seleção dos valores dos parâmetros de calibração que mais se adequam às capacidades medidas da via, rodovia, autoestrada e interseções;
- Seleção dos valores dos parâmetros de calibração que melhor representem o padrão de escolha de rotas;
- Calibração do modelo global com os dados de performance do sistema colhidos, como tempos de viagem, atrasos e filas.

## **5.6 Análise de alternativas**

Nesta etapa do trabalho, com o cenário base já pronto e calibrado, deverão ser desenvolvidos os cenários alternativos, sejam esses uma mudança na geometria da rede, diferente localização e temporização de semáforos, outro limite de velocidade na via, uma maior ou menor demanda, ou uma combinação desses parâmetros.

Para que se compare o cenário base com os cenários futuros, o analista deve escolher quais dados de performance da simulação devem ser colhidos e assim comparar os resultados obtidos entre os diversos cenários simulados.

## **5.7 Relatório final e técnico**

De acordo com FHWA (2004), esta etapa consiste em sumarizar os resultados analíticos em um relatório final e documentar a abordagem analítica em um documentário técnico. Esta etapa também pode incluir a apresentação dos resultados do estudo para supervisores técnicos, oficiais e o público geral.

O relatório final deve conter as hipóteses, os passos tomados e os resultados da análise em detalhe suficiente para que os tomadores de decisão possam escolher entre as alternativas. FHWA (2004) diz ainda que o esforço envolvido para a compilação dos resultados não deve ser subestimado, já que o simulador irá gerar uma grande quantidade de *outputs* numéricos, os quais devem ser tabulados e resumidos.

A documentação técnica é importante para garantir que os tomadores de decisão entendam as hipóteses por trás do processo de calibração e dos resultados obtidos e também para permitir que outros analistas reproduzam, a partir dos mesmos dados de entrada, a análise das alternativas.

## **6 DESENVOLVIMENTO DA MICROSSIMULAÇÃO**

### **6.1 Identificação do propósito do estudo e o seu escopo**

Conforme elencado no capítulo 1 deste trabalho, o propósito do trabalho é estudar o impacto nos usuários da via com a implantação do corredor de ônibus na Avenida dos Bandeirantes. Para isso, foi feita a coleta de diversos dados que se fizeram necessários para que se partisse para a modelagem do cenário atual.

Após o desenvolvimento do modelo do cenário atual, se partiu para a modelagem de mais dois cenários: um cenário na qual a diminuição de veículos na via em função da existência do corredor é nula (cenário pessimista), outro em que o fluxo de veículos é diminuído em 5% (cenário provável). A diminuição pode ser causada por motoristas que aderiram ao uso do corredor de ônibus, mudaram suas rotas ou mudaram o horário no qual passam pela via.

Por último, os dados de saída do software foram analisados e também foi feita uma análise econômica sobre os mesmos. Tal processo será detalhado em seguida.

O modelo que foi desenvolvido simula a primeira hora do horário de pico da manhã, ou seja, entre as 7h00 e as 8h00. Esse horário tem a vantagem de o tráfego fluir bem no sentido Marginal – Anchieta e também ter trechos congestionados no sentido Anchieta – Marginal, sendo possível assim analisar o impacto do corredor em diferentes níveis de serviço da via.

### **6.2 Coleta de dados e sua preparação**

Nesta etapa do trabalho, foram colhidos os dados necessários para realizar o estudo de microssimulação. Tais dados consistem no projeto geométrico do corredor, contagens volumétricas classificadas, tempos de viagem e velocidades médias, composição da frota, dados semaforicos e dados topográficos da via estudada.

#### **6.2.1 Projeto geométrico do corredor**

Obteve-se o projeto geométrico básico do corredor para todo o trecho analisado, com o qual é possível verificar como ficará a via depois de implantado o corredor de ônibus. O projeto está disponível em um arquivo DWG, o qual permite um alto nível de detalhamento quanto às características do corredor, tais quais:



- Geometria completa da via e de sua vizinhança;
- Local da divisão exata entre a faixa exclusiva (pavimentação rígida) e as faixas livres (pavimentação asfáltica);
- Ruas que cruzam ou convergem com a Avenida dos Bandeirantes e as indicações das direções dos fluxos e das possibilidades de conversão;
- Localização precisa das estações e passarelas que serão construídas no trecho.
- O arquivo é georreferenciado, e todas as dimensões representadas são condizentes com as dimensões reais da via.

Por meio de comparação com a via atual, também é possível inferir que tipos de mudanças ocorrerão na via para que seja implantado o corredor.

A figura 6.1 representa uma imagem do projeto, no trecho entre a Alameda dos Maracatins e a Alameda dos Nhambiquaras, onde se pode observar alguma das características do mesmo que foram citadas acima. A figura 6.2 é uma imagem de satélite do mesmo trecho, da via atual.

Fazendo tal comparação, percebe-se que o espaço utilizado para o corredor será obtido basicamente transformando a faixa livre da esquerda em uma faixa exclusiva, em ambos os sentidos da via. Esse padrão se repete para todo o trecho estudado.

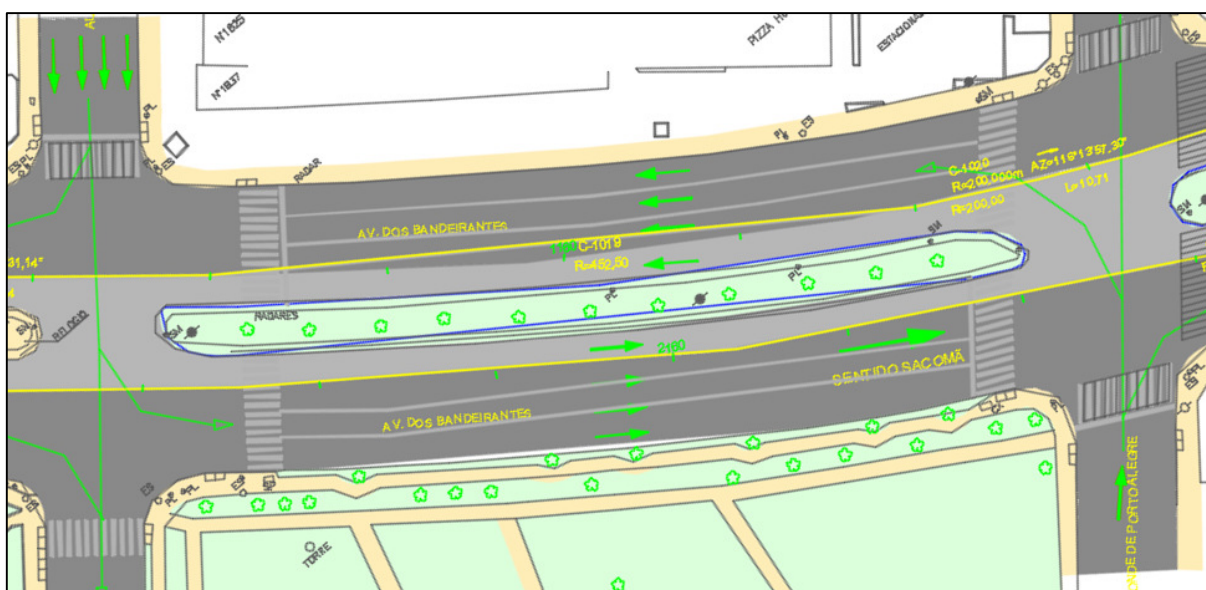


Figura 6.1 - Parte do projeto do corredor, trecho entre a Al. dos Maracatins e a Al. dos Nhambiquaras.

Fonte: SPTrans (2013)



Figura 6.2 - Imagem de satélite da Avenida dos Bandeirantes, trecho entre a Al. dos Maracatins e a Al. dos Nhambiquaras.

Fonte: Google Maps (2015)

O projeto foi extremamente importante para este trabalho por poder ser importado para o simulador, servindo assim de *background*. Esse *background*, além de facilitar a modelagem dos *links*, também possibilitou uma modelagem das vias fiel à realidade.

### 6.2.2 Dados de contagem volumétrica classificada e composição da frota

A contagem volumétrica classificada tem como objetivo determinar a quantidade, a composição e o sentido do fluxo de veículos em uma seção do sistema viário por unidade de tempo.

Nos dois estudos utilizados nesse trabalho, a contagem foi realizada por pesquisadores utilizando contadores manuais, os quais são posicionados na seção de contagem, em local com boa visibilizada do fluxo a ser contado. O número de pesquisadores é dimensionado de acordo com a seção, dependendo do número de faixas, volume e composição do tráfego (CET, 2014). Ainda, veículos são classificados em tipos (automóveis de passeio, motocicletas, caminhões e ônibus).

Tais dados são extremamente importantes para este trabalho, já que serão eles os principais dados de entrada para que seja feita não apenas as simulações dos cenários que se deseja, mas também para que seja executada calibração do modelo para que essas simulações sejam possíveis.

Para o presente estudo, foram obtidos dados de contagem de duas fontes: SPTrans e CET, os quais serão utilizados de forma complementar. Os dados obtidos de cada uma dessas fontes serão detalhados a seguir.

#### 6.2.2.1 Relatório da SPTrans

Num estudo específico para a implantação do corredor de ônibus, a SPTrans realizou contagens volumétricas classificadas ao longo do trecho de interesse durante o mês de agosto de 2013, na Avenida dos Bandeirantes. A contagem foi discriminada de 15 em 15 minutos, por 4 horas consecutivas, realizada nos períodos de pico da manhã (das 6h00 às 10h00) e da tarde (das 16h00 às 20h00), em um dia útil.

As seções analisadas são mostradas na figura 6.3, a seguir:

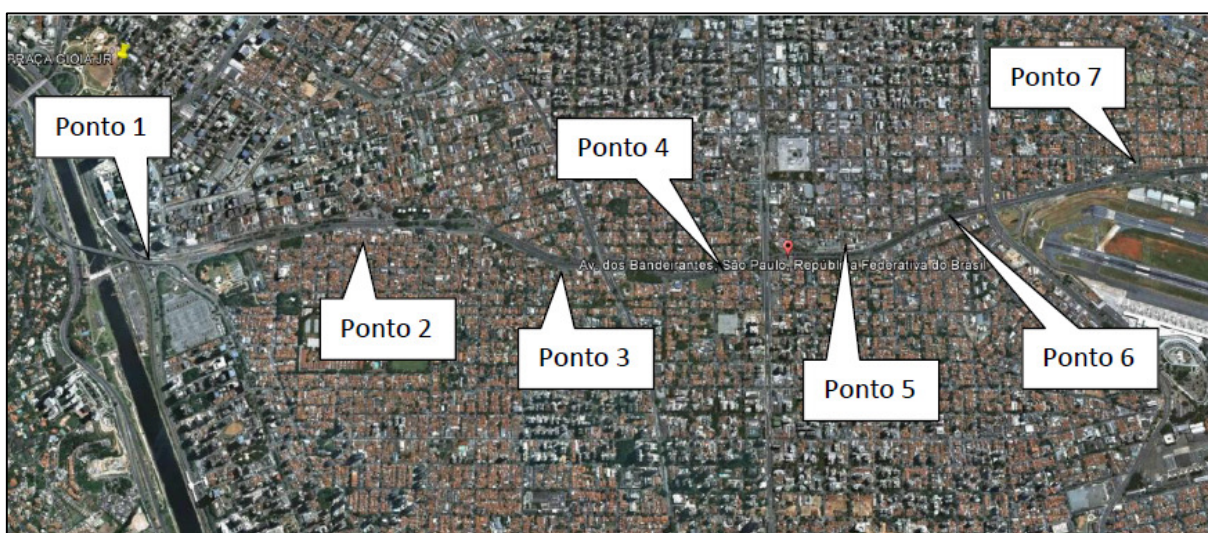


Figura 6.3 - Pontos de contagem ao longo do trecho estudado da Avenida dos Bandeirantes.  
Fonte: SPTrans (2013)

Tais seções estão inclusas no trecho de interesse, e ficam, mais precisamente, nos seguintes cruzamentos:

- Ponto 1 – Av. dos Bandeirantes x Saída/Acesso ao Viaduto Armênia;
- Ponto 2 – Av. dos Bandeirantes x Rua Ribeiro do Vale;
- Ponto 3 – Av. dos Bandeirantes x Av. Santo Amaro;
- Ponto 4 – Av. dos Bandeirantes, acesso à Av. Vereador José Diniz/Av. Ibirapuera;
- Ponto 5 – Av. dos Bandeirantes x Al. dos Maracatins x Al. dos Nhambiquaras;
- Ponto 6 – Av. dos Bandeirantes, acesso ao Aeroporto de Congonhas;
- Ponto 7 – Av. dos Bandeirantes x Praça João Carlos Mallet.



Cada ponto possui contagens direcionais nos diversos movimentos permitidos em cada interseção. A figura 6.4, a seguir, mostra o ponto 2 e os movimentos em que foram executadas as contagens:



Figura 6.4 - Detalhamento do ponto de contagem 2, indicando os sentidos de fluxo que foram realizadas as contagens.  
Fonte: SPTrans (2013)

Para cada movimento, foram tabelados o tipo e a quantidade de veículos que passaram pela seção em determinado período de tempo. A tabela 6.1 mostra a contagem realizada para o sentido 2.7:

| Local    |          | Sentido 2.7                    |        |                |                |                |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |       |
|----------|----------|--------------------------------|--------|----------------|----------------|----------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|
| Data     |          | 22 agosto, 2013 - quinta-feira |        |                |                |                |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |       |
| Hora Ini | Hora Fim | Fluxo                          | Auto   | Onibus 2 Eixos | Onibus 3 Eixos | Onibus 4 Eixos | Caminhões 2 Eixos | Caminhões 3 Eixos | Caminhões 4 Eixos | Caminhões 5 Eixos | Caminhões 6 Eixos | Caminhões 7 Eixos | Caminhões 9 Eixos | MOTOS |
| 06:00    | 07:00    | 6.815                          | 6.402  | 37             | -              | -              | 78                | 14                | -                 | 1                 | -                 | 1                 | -                 | 282   |
| 07:00    | 08:00    | 7.342                          | 6.640  | 43             | -              | -              | 113               | 23                | -                 | 2                 | 1                 | -                 | -                 | 520   |
| 08:00    | 09:00    | 7.619                          | 6.928  | 34             | -              | -              | 105               | 23                | -                 | 1                 | -                 | -                 | -                 | 528   |
| 09:00    | 10:00    | 6.145                          | 5.332  | 23             | -              | -              | 96                | 20                | 1                 | -                 | -                 | -                 | -                 | 673   |
| 16:00    | 17:00    | 4.376                          | 3.669  | 30             | -              | -              | 122               | 17                | -                 | -                 | 1                 | -                 | 2                 | 335   |
| 17:00    | 18:00    | 3.824                          | 3.327  | 31             | -              | -              | 105               | 16                | -                 | -                 | -                 | -                 | -                 | 345   |
| 18:00    | 19:00    | 4.419                          | 3.994  | 44             | -              | -              | 126               | 21                | -                 | -                 | -                 | -                 | -                 | 234   |
| 19:00    | 20:00    | 2.987                          | 2.688  | 36             | -              | -              | 111               | 17                | -                 | -                 | -                 | -                 | -                 | 135   |
| Total    |          | 43.527                         | 39.180 | 278            | -              | -              | 856               | 151               | 1                 | 4                 | 2                 | 1                 | 2                 | 3.052 |

Tabela 6.1 - Detalhamento da contagem do fluxo no sentido 2.7.  
Fonte: SPTrans (2013)

### 6.2.2.2 Pesquisa de monitoramento da fluidez CET

A CET emite anualmente um relatório de desempenho do sistema viário da cidade, no qual a fluidez é monitorada por meio da contagem volumétrica classificada e o tempo de percurso com retardamento, nas principais vias da cidade, desde 1977. O objetivo do relatório é exatamente fornecer informações de volume e velocidade para subsidiar os estudos de engenharia de tráfego, como este trabalho. O relatório possui dados de 29 rotas, totalizando 220 km lineares de vias (CET, 2014).

Uma dessas rotas é a Avenida dos Bandeirantes, identificada no relatório como sendo a rota 19G, eixo de interesse deste trabalho. Cada relatório contém a compilação dos dados colhidos no ano anterior, tendo-se utilizado no presente estudo o último relatório emitido, datado de 2014, o qual possui dados referentes a 2013.

Os valores de contagens obtidos pela CET apresentaram discrepâncias quando comparados com os valores obtidos pela SPTrans. A pesquisa da SPTrans apresentou contagens em alguns movimentos que se mostraram acima da capacidade daquele movimento no simulador e não puderam ser modelados. Pelo fato da pesquisa realizada pela CET já ser realizada há vários anos, se optou por utilizar esta como base para o desenvolvimento e calibração do modelo. Entretanto, a desvantagem da pesquisa realizada pela CET é o fato de não haver contagens detalhadas nos cruzamentos principais que o trecho em estudo engloba. Assim sendo, a proporção das conversões em cada cruzamento foi modelada com base nos dados da SPTrans.

A figura 6.5 mostra a localização dos pontos de contagem que foram realizadas ao longo da via. Apenas os pontos 1C, 2L e 3 estão inclusos no trecho que está sendo analisado neste estudo; dado que o ponto 4 também é importante devido a sua proximidade à área de interesse, este foi utilizado juntamente com os outros três pontos para a determinação da composição da frota que passa pelo trecho estudado.

Rota 19G - Av. dos Bandeirantes, Av. Affonso D'Escagnolle Taunay, C.V. Maria Maluf, Av. Pres. Tancredo Neves

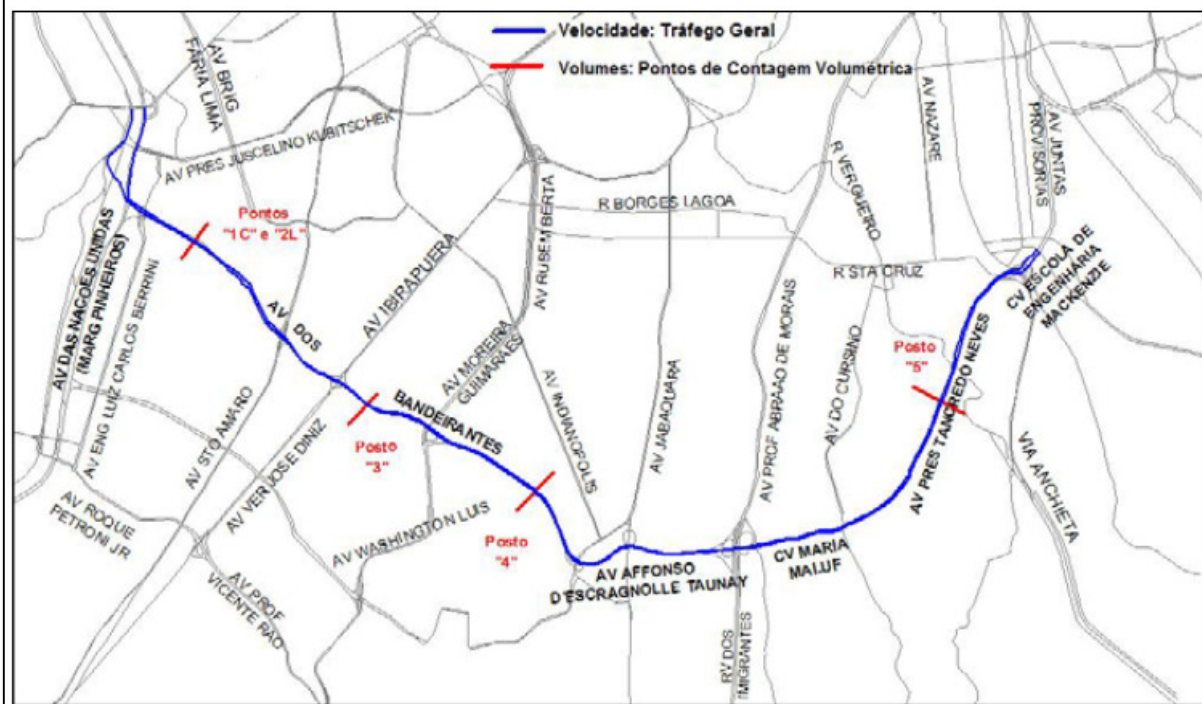


Figura 6.5 - Localização dos pontos de contagem e da rota de medição de velocidade.

Fonte: CET (2014)

Os pontos de contagem se localizam, mais precisamente, nos seguintes locais:

- Ponto 1C - Av. dos Bandeirantes (Central), entre R. Lourenço Marques e R. Júlio Diniz;
- Ponto 2L - Av. dos Bandeirantes (Lateral), entre R. Lourenço Marques e R. Júlio Diniz;
- Ponto 3 - Av. dos Bandeirantes, entre Al. dos Nhambiquaras e Al. dos Maracatins;
- Ponto 4 - Av. dos Bandeirantes, entre R. Francisco de Paula Brito e R. Camundó.

Foram feitas medições para as três horas do pico da manhã (7h00 às 10h00) e também para as três horas do pico da noite (17h00 às 20h00), em ambos os sentidos de fluxo (Anchieta – Marginal Pinheiros e Marginal Pinheiros - Anchieta). Os dados de volume em cada ponto são apresentados em volumes por hora, com intervalos de 15 minutos, ou seja, das 07h00 às 08h00, 07h15 às 08h15, ..., 09h00

às 10h00. As contagens foram realizadas nos dias 14/05/2013 (terça-feira) e 15/05/2013 (quarta-feira).

A tabela 6.2 e a tabela 6.3 mostram como foram coletados os dados de volume em cada ponto analisado, sendo que elas são referentes aos dois sentidos do ponto 3.

| Pico Manhã    |       |        |      |           |      |      |       |              |        |      | Pico Tarde    |        |        |      |           |      |      |       |              |        |      |
|---------------|-------|--------|------|-----------|------|------|-------|--------------|--------|------|---------------|--------|--------|------|-----------|------|------|-------|--------------|--------|------|
| Hora          | Auto  | Ônibus |      | Caminhões |      |      | Motos | Volume Total |        | FHP  | Hora          | Auto   | Ônibus |      | Caminhões |      |      | Motos | Volume Total |        | FHP  |
|               |       | Urb    | Fret | 2eix      | 3eix | 4eix |       | Simp.        | Equiv. |      |               |        | Urb    | Fret | 2eix      | 3eix | 4eix |       | Simp.        | Equiv. |      |
| 07:00 - 08:00 | 3.445 | 3      | 40   | 49        | 24   | 3    | 620   | 4.184        | 4.303  | 0,72 | 17:00 - 18:00 | 5.047  | 5      | 125  | 37        | 9    | 2    | 1.258 | 6.483        | 6.661  |      |
| 07:15 - 08:15 | 3.361 | 4      | 41   | 33        | 20   | 3    | 692   | 4.154        | 4.255  |      | 17:15 - 18:15 | 4.769  | 4      | 181  | 31        | 5    | 1    | 1.296 | 6.287        | 6.509  |      |
| 07:30 - 08:30 | 3.297 | 5      | 41   | 26        | 19   | 3    | 731   | 4.122        | 4.216  |      | 17:30 - 18:30 | 4.926  | 4      | 209  | 35        | 5    | 1    | 1.377 | 6.557        | 6.811  | 0,89 |
| 07:45 - 08:45 | 2.900 | 6      | 30   | 28        | 17   | 3    | 705   | 3.689        | 3.773  |      | 17:45 - 18:45 | 4.789  | 5      | 204  | 28        | 5    | 0    | 1.347 | 6.378        | 6.620  |      |
| 08:00 - 09:00 | 3.329 | 6      | 23   | 27        | 22   | 1    | 718   | 4.126        | 4.205  |      | 18:00 - 19:00 | 4.572  | 5      | 189  | 28        | 4    | 0    | 1.309 | 6.107        | 6.333  |      |
| 08:15 - 09:15 | 3.343 | 6      | 21   | 27        | 20   | 1    | 682   | 4.100        | 4.175  |      | 18:15 - 19:15 | 4.760  | 6      | 140  | 31        | 6    | 1    | 1.216 | 6.160        | 6.344  |      |
| 08:30 - 09:30 | 3.228 | 5      | 17   | 32        | 17   | 2    | 670   | 3.971        | 4.044  |      | 18:30 - 19:30 | 4.709  | 5      | 99   | 24        | 7    | 1    | 994   | 5.839        | 5.975  |      |
| 08:45 - 09:45 | 3.184 | 3      | 18   | 31        | 22   | 2    | 651   | 3.911        | 3.987  |      | 18:45 - 19:45 | 4.664  | 4      | 74   | 27        | 9    | 1    | 837   | 5.616        | 5.731  |      |
| 09:00 - 10:00 | 3.158 | 2      | 21   | 40        | 21   | 3    | 637   | 3.882        | 3.969  |      | 19:00 - 20:00 | 4.661  | 4      | 38   | 24        | 9    | 2    | 693   | 5.431        | 5.508  |      |
| Total 3 horas | 9.932 | 11     | 84   | 116       | 67   | 7    | 1.975 | 12.192       | 12.477 | 0,97 | Total 3 horas | 14.280 | 14     | 352  | 89        | 22   | 4    | 3.260 | 18.021       | 18.502 | 0,91 |

Tabela 6.2- Dados de contagem do Ponto 3, no sentido Marginal Pinheiros – Anchieta.  
Fonte: CET (2014)

| Pico Manhã    |       |        |      |           |      |      |       |              |        |      | Pico Tarde    |        |        |      |           |      |      |       |              |        |      |
|---------------|-------|--------|------|-----------|------|------|-------|--------------|--------|------|---------------|--------|--------|------|-----------|------|------|-------|--------------|--------|------|
| Hora          | Auto  | Ônibus |      | Caminhões |      |      | Motos | Volume Total |        | FHP  | Hora          | Auto   | Ônibus |      | Caminhões |      |      | Motos | Volume Total |        | FHP  |
|               |       | Urb    | Fret | 2eix      | 3eix | 4eix |       | Simp.        | Equiv. |      |               |        | Urb    | Fret | 2eix      | 3eix | 4eix |       | Simp.        | Equiv. |      |
| 07:00 - 08:00 | 3.886 | 2      | 179  | 19        | 17   | 2    | 1.103 | 5.208        | 5.427  | 0,88 | 17:00 - 18:00 | 3.982  | 6      | 42   | 44        | 5    | 2    | 796   | 4.877        | 4.976  | 0,91 |
| 07:15 - 08:15 | 3.636 | 2      | 110  | 14        | 14   | 2    | 1.271 | 5.049        | 5.191  |      | 17:15 - 18:15 | 3.937  | 5      | 42   | 44        | 4    | 1    | 795   | 4.828        | 4.924  |      |
| 07:30 - 08:30 | 3.340 | 2      | 74   | 11        | 15   | 2    | 1.354 | 4.798        | 4.902  |      | 17:30 - 18:30 | 3.810  | 5      | 35   | 40        | 5    | 1    | 756   | 4.652        | 4.738  |      |
| 07:45 - 08:45 | 3.093 | 2      | 39   | 13        | 18   | 2    | 1.347 | 4.514        | 4.588  |      | 17:45 - 18:45 | 3.605  | 4      | 28   | 38        | 5    | 1    | 686   | 4.367        | 4.443  |      |
| 08:00 - 09:00 | 3.038 | 3      | 25   | 15        | 20   | 2    | 1.312 | 4.415        | 4.480  |      | 18:00 - 19:00 | 3.738  | 3      | 24   | 37        | 4    | 0    | 689   | 4.475        | 4.543  |      |
| 08:15 - 09:15 | 2.913 | 4      | 15   | 16        | 20   | 2    | 1.298 | 4.268        | 4.325  |      | 18:15 - 19:15 | 3.640  | 2      | 22   | 30        | 5    | 0    | 588   | 4.287        | 4.346  |      |
| 08:30 - 09:30 | 2.861 | 5      | 13   | 20        | 22   | 3    | 1.186 | 4.110        | 4.173  |      | 18:30 - 19:30 | 3.520  | 4      | 24   | 30        | 7    | 0    | 484   | 4.069        | 4.134  |      |
| 08:45 - 09:45 | 2.797 | 5      | 12   | 25        | 22   | 4    | 1.013 | 3.878        | 3.946  |      | 18:45 - 19:45 | 3.406  | 5      | 31   | 31        | 7    | 0    | 415   | 3.895        | 3.969  |      |
| 09:00 - 10:00 | 2.958 | 7      | 15   | 37        | 25   | 3    | 930   | 3.975        | 4.062  |      | 19:00 - 20:00 | 3.261  | 5      | 33   | 29        | 6    | 0    | 363   | 3.697        | 3.770  |      |
| Total 3 horas | 9.882 | 12     | 219  | 71        | 62   | 7    | 3.345 | 13.598       | 13.969 | 0,86 | Total 3 horas | 10.981 | 14     | 99   | 110       | 15   | 2    | 1.828 | 13.049       | 13.289 | 0,89 |

Tabela 6.3 - Dados de contagem do Ponto 3, no sentido Anchieta - Marginal Pinheiros.  
Fonte: CET (2014)

Para o período simulado neste trabalho (07:00 – 08:00), os dados de interesse se encontram sumarizados na tabela 6.4 e na tabela 6.5, onde os valores destacados em verde são os que foram utilizados para a calibração do modelo.

| Contagem volumétrica classificada - Sentido Marginal Pinheiros - Anchieta |       |        |         |           |         |         |       |                |
|---------------------------------------------------------------------------|-------|--------|---------|-----------|---------|---------|-------|----------------|
| Ponto de Contagem                                                         | Auto  | Onibus |         | Caminhões |         |         | Total | Total na Seção |
|                                                                           |       | Urbano | Fretado | 2 eixos   | 3 eixos | 4 eixos |       |                |
| 1C                                                                        | 2.913 | 0      | 9       | 38        | 17      | 1       | 2.978 | 4.742          |
| 2L                                                                        | 1.672 | 6      | 51      | 21        | 13      | 1       | 1.764 |                |
| 3                                                                         | 3.445 | 3      | 40      | 49        | 24      | 3       | 3.564 | 3.564          |

Tabela 6.4 – Contagem volumétrica classificada para o período e para o trecho estudado no sentido Marginal Pinheiros – Anchieta.  
Fonte: CET (2014)



| Contagem volumétrica classificada - Sentido Anchieta - Marginal Pinheiros |       |        |         |           |         |         |       |                |
|---------------------------------------------------------------------------|-------|--------|---------|-----------|---------|---------|-------|----------------|
| Ponto de Contagem                                                         | Auto  | Onibus |         | Caminhões |         |         | Total | Total na Seção |
|                                                                           |       | Urbano | Fretado | 2 eixos   | 3 eixos | 4 eixos |       |                |
| 1C                                                                        | 2.607 | 0      | 89      | 38        | 25      | 2       | 2.761 | 4.526          |
| 2L                                                                        | 1.635 | 2      | 119     | 5         | 4       | 0       | 1.765 |                |
| 3                                                                         | 3.886 | 2      | 179     | 19        | 17      | 2       | 4.105 | 4.105          |

Tabela 6.5 – Contagem volumétrica classificada para o período e para o trecho estudado no sentido Anchieta – Marginal Pinheiros.  
Fonte: CET (2014)

O fluxo total em cada ponto de medição também foi somado e se encontra sumarizado na tabela 6.6 e na tabela 6.7, as quais foram utilizadas para formar a composição da frota aplicada no modelo. Foi somada a contagem de cada tipo de veículo em todos os pontos de contagem e se chegou à composição mostrada no gráfico 6.1.

| Rota | Ponto | Local                                                                      | Centro-Bairro |          |           |      |       |        |        |        |          |           |      |       |        |        |
|------|-------|----------------------------------------------------------------------------|---------------|----------|-----------|------|-------|--------|--------|--------|----------|-----------|------|-------|--------|--------|
|      |       |                                                                            | Manhã         |          |           |      |       |        |        | Tarde  |          |           |      |       |        |        |
|      |       |                                                                            | Auto          | Bus Urb. | Bus Fret. | Cam. | Moto  | Simp.  | Equiv. | Auto   | Bus Urb. | Bus Fret. | Cam. | Moto  | Simp.  | Equiv. |
| 19   | 1     | Av. dos Bandeirantes (Central), entre R. Lourenço Marques e R. Júlio Diniz | 7.997         | 1        | 27        | 169  | 1.452 | 9.646  | 9.843  | 4.735  | 0        | 11        | 53   | 1.733 | 6.532  | 6.596  |
| 19   | 2     | Av. dos Bandeirantes (Lateral), entre R. Lourenço Marques e R. Júlio Diniz | 4.850         | 19       | 80        | 107  | 1.001 | 6.057  | 6.263  | 4.050  | 10       | 348       | 64   | 679   | 5.151  | 5.573  |
| 19   | 3*    | Av. dos Bandeirantes, entre Al. dos Nhamiquaras e Al. dos Maracatins       | 9.932         | 11       | 84        | 190  | 1.975 | 12.192 | 12.477 | 14.280 | 14       | 352       | 115  | 3.260 | 18.021 | 18.502 |
| 19   | 4     | Av. dos Bandeirantes, entre R. Francisco de Paula Brito e R. Camundó       | 10.484        | 26       | 125       | 196  | 2.100 | 12.931 | 13.278 | 13.000 | 24       | 472       | 169  | 3.881 | 17.546 | 18.211 |

Tabela 6.6 - Soma das contagens nas 3 horas de cada pico, para os quatro pontos analisados. Sentido Marginal Pinheiros – Anchieta.  
Fonte: CET (2014)

| Rota | Ponto | Local                                                                      | Bairro - Centro |          |           |      |       |        |        |        |          |           |      |       |        |        |
|------|-------|----------------------------------------------------------------------------|-----------------|----------|-----------|------|-------|--------|--------|--------|----------|-----------|------|-------|--------|--------|
|      |       |                                                                            | Manhã           |          |           |      |       |        |        | Tarde  |          |           |      |       |        |        |
|      |       |                                                                            | Auto            | Bus Urb. | Bus Fret. | Cam. | Moto  | Simp.  | Equiv. | Auto   | Bus Urb. | Bus Fret. | Cam. | Moto  | Simp.  | Equiv. |
| 19   | 1     | Av. dos Bandeirantes (Central), entre R. Lourenço Marques e R. Júlio Diniz | 6.992           | 11       | 104       | 169  | 1.968 | 9.244  | 9.528  | 8.321  | 1        | 88        | 99   | 1.247 | 9.756  | 9.944  |
| 19   | 2     | Av. dos Bandeirantes (Lateral), entre R. Lourenço Marques e R. Júlio Diniz | 5.939           | 12       | 144       | 24   | 720   | 6.839  | 7.019  | 2.891  | 14       | 7         | 16   | 565   | 3.493  | 3.530  |
| 19   | 3*    | Av. dos Bandeirantes, entre Al. dos Nhamiquaras e Al. dos Maracatins       | 9.882           | 12       | 219       | 140  | 3.345 | 13.598 | 13.969 | 10.981 | 14       | 99        | 127  | 1.828 | 13.049 | 13.289 |
| 19   | 4     | Av. dos Bandeirantes, entre R. Francisco de Paula Brito e R. Camundó       | 6.916           | 18       | 172       | 236  | 3.962 | 11.304 | 11.730 | 11.278 | 17       | 99        | 113  | 2.053 | 13.560 | 13.789 |

Tabela 6.7 - Soma das contagens nas 3 horas de cada pico, para os quatro pontos analisados. Sentido Anchieta - Marginal Pinheiros.  
Fonte: CET (2014)



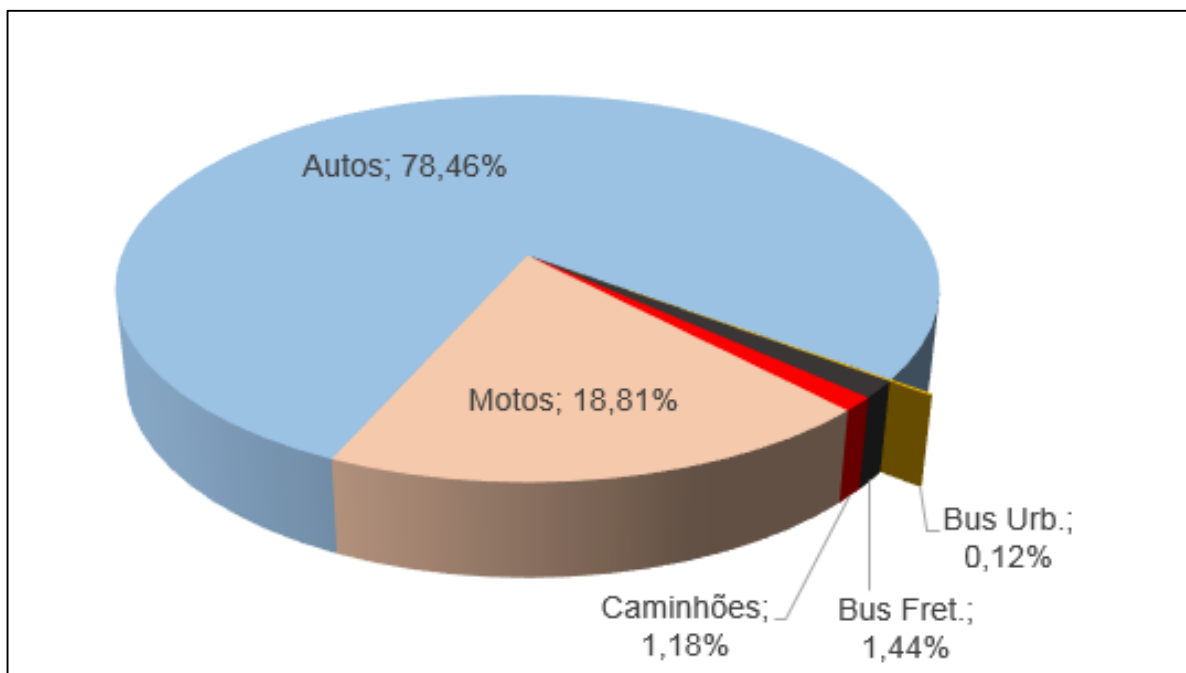


Gráfico 6.1 - Composição da frota média no trecho estudado.  
Fonte: CET (2014)

Analisando o gráfico 6.1, verifica-se que automóveis e motos compõem mais de 97% da frota que passa pela avenida diariamente. Ainda vale destacar que os ônibus urbanos (destacado no gráfico), existentes atualmente e que passarão a utilizar o futuro corredor, correspondem a apenas 0,12% da frota que passa atualmente pela via.

As motos, diferentemente dos outros tipos de veículos, não estão no escopo de simulação do *software* VISSIM, e não podem ser simuladas. Pela sua facilidade de locomoção e pelo fato de geralmente transitarem pelo espaço disponível entre uma faixa e outra, principalmente quando a via se encontra congestionada, as mesmas não foram consideradas na simulação. Portanto, a composição da frota que foi definida na simulação e utilizada para todos os cenários foi a mostrada no gráfico 6.2.

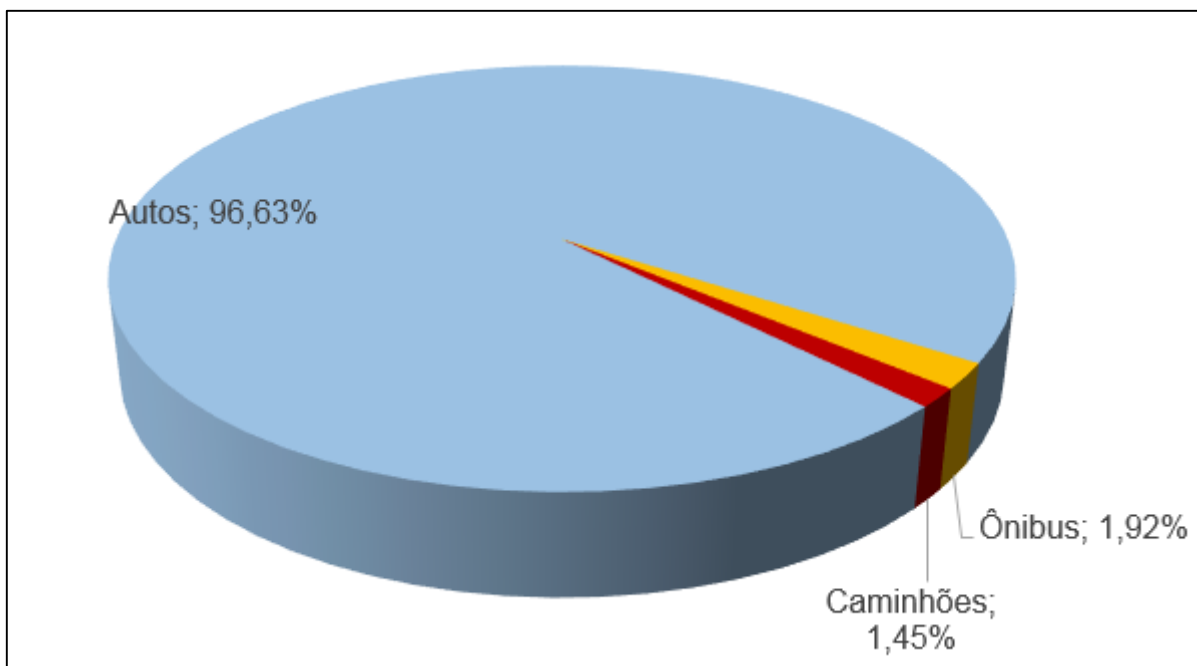


Gráfico 6.2 – Composição da frota média utilizada nos cenários simulados.  
Fonte: CET (2014)

### 6.2.3 Dados de velocidade, tempo de retardamento e tempo de percurso

Foram realizadas pela CET (2014) pesquisas de medição de velocidade, tempo de retardamento e tempo de percurso ao longo da via, as quais tem como objetivo principal descobrir a facilidade ou dificuldade com a qual se percorre o trecho analisado.

Para a realização da pesquisa, foi utilizado um veículo-teste embarcado com dois pesquisadores munidos de um cronômetro cada, os quais trafegaram pela rota. A rota analisada foi dividida em trechos de interesse. O primeiro cronômetro é utilizado para registrar os tempos de percurso de cada trecho, e o segundo para registrar os tempos parados em dois tipos de retardamentos: congestionamento ou semáforos. Depois a velocidade média em cada trecho é obtida dividindo-se o comprimento de cada trecho pelo tempo total gasto para percorrê-lo, e a porcentagem de cada tempo de retardamento é obtida dividindo-se o tempo gasto em cada retardamento pelo tempo total gasto no percurso.

A coleta de dados para a pesquisa foi feita nos dois sentidos por dois dias, nos períodos de pico da manhã (7h00 às 10h00) e da tarde (17h00 às 20h00), sendo que foram realizadas três viagens para cada sentido por período. (CET, 2014).

A tabela 6.8 e a tabela 6.9 representam o sumário dos resultados obtidos para o trecho interessante ao trabalho, os quais foram calculados se levando em conta a média das três viagens realizadas no período da manhã nos mesmos dias da contagem volumétrica classificada do subitem anterior.

| Sentido Marginal Pinheiros - Anchieta |                      |                       |           |               |        |             |                  |       |       |
|---------------------------------------|----------------------|-----------------------|-----------|---------------|--------|-------------|------------------|-------|-------|
| Nº                                    | Início               | Fim                   | Dist. (m) | Tempo (mm:ss) |        | V.M. (km/h) | Retardamento (%) |       |       |
|                                       |                      |                       |           | Total         | S/Ret. |             | Cong.            | Farol | Total |
| 1                                     | Pte. Eng. Ary Torres | R. Guaraiúva          | 1020      | 01:17         | 01:09  | 47.3        | 0.0%             | 12.0% | 12.0% |
| 2                                     | R. Guaraiúva         | Vd. Santo Amaro       | 790       | 01:32         | 01:13  | 30.6        | 5.0%             | 16.0% | 21.0% |
| 3                                     | Vd. Santo Amaro      | Vd. Bandeirantes      | 780       | 01:00         | 00:56  | 46.3        | 0.0%             | 9.0%  | 9.0%  |
| 4                                     | Vd. Bandeirantes     | Vd. João J. C. Aguiar | 1070      | 01:42         | 01:25  | 39.7        | 3.0%             | 12.0% | 15.0% |
| TOTAL                                 |                      |                       | 3660      | 05:31         | 04:43  | 39.8        | 2.3%             | 12.6% | 14.9% |

Tabela 6.8 - Média dos resultados das três viagens no sentido Anchieta - Marginal Pinheiros.  
Fonte: (CET, 2014)

| Sentido Anchieta - Marginal Pinheiros |                       |                     |           |               |        |             |                  |       |       |
|---------------------------------------|-----------------------|---------------------|-----------|---------------|--------|-------------|------------------|-------|-------|
| Nº                                    | Início                | Fim                 | Dist. (m) | Tempo (mm:ss) |        | V.M. (km/h) | Retardamento (%) |       |       |
|                                       |                       |                     |           | Total         | S/Ret. |             | Cong.            | Farol | Total |
| 4                                     | Vd. João J. C. Aguiar | Vd. Bandeirantes    | 1070      | 07:07         | 03:25  | 9.0         | 46.0%            | 6.0%  | 52.0% |
| 3                                     | Vd. Bandeirantes      | Vd. Santo Amaro     | 780       | 03:16         | 01:49  | 14.3        | 44.0%            | 0.0%  | 44.0% |
| 2                                     | Vd. Santo Amaro       | R. Guaraiúva        | 790       | 01:46         | 01:22  | 26.7        | 12.0%            | 10.0% | 22.0% |
| 1                                     | R. Guaraiúva          | Vd. Rep. Da Armênia | 1020      | 01:48         | 01:13  | 33.8        | 27.0%            | 5.0%  | 32.0% |
| TOTAL                                 |                       |                     | 3660      | 13:57         | 07:49  | 15.7        | 38.8%            | 5.0%  | 43.7% |

Tabela 6.9 - Média dos resultados das três viagens no sentido Anchieta - Marginal Pinheiros.  
Fonte: (CET, 2014)

Legenda:

Dist. Distância do trecho

S/Ret: Tempo para percorrer o percurso se não houvesse retenções

V.M.: Velocidade média no trecho

Cong.: Congestionamento

No relatório da CET é indicado que o resultado é uma média de três viagens realizadas no pico da manhã, mas sem especificar exatamente o horário em que essas viagens foram realizadas. O ideal seria que as viagens tivessem sido realizadas no mesmo horário do período estudado. Mesmo assim, se utilizou os resultados de velocidades médias em cada trecho para se efetuar a calibração.

Analisando-se as tabelas anteriores, pode-se inferir que o sentido mais congestionado no pico da manhã é o sentido Anchieta – Marginal Pinheiros, por apresentar as menores velocidades médias, sendo os mesmos sumarizados e destacados em vermelho na figura 6.6.

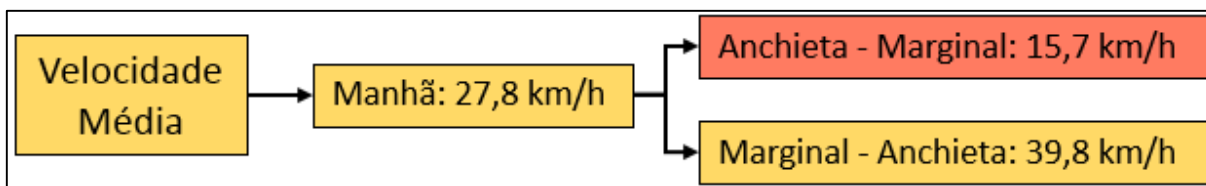


Figura 6.6 - Velocidades médias no trecho analisado da Avenida dos Bandeirantes, no pico da manhã.

Fonte: (CET, 2014)

A porcentagem e distribuição dos retardamentos também foi sumarizada na figura 6.7, com destaque em vermelho para os itens com a maior porcentagem de retardamento.

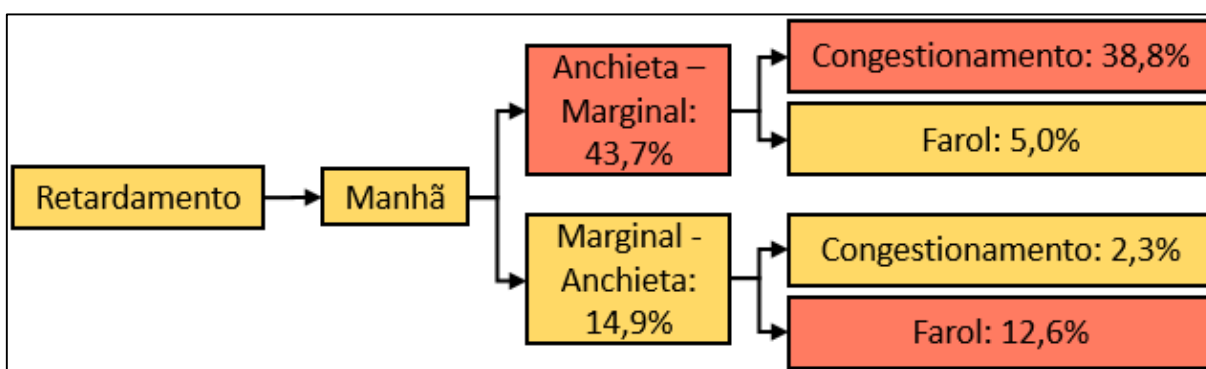


Figura 6.7 - Distribuição dos retardamentos no trecho analisado da Avenida dos Bandeirantes, no pico da manhã.

Fonte: (CET, 2014)

#### 6.2.4 Dados semafóricos

Para a modelagem do trecho estudado, um dos principais componentes que o software utilizado precisou como entrada foram os dados de semáforo, os quais são compostos pelos seguintes itens:

- Localização de cada semáforo;
- Tempo de verde, amarelo, vermelho e de vermelho de segurança de cada um dos controladores;
- Momento em que cada controlador muda de fase.

O trecho estudado contém 7 cruzamentos semaforizados, e a localização de cada um deles se encontra indicada na figura 6.8.

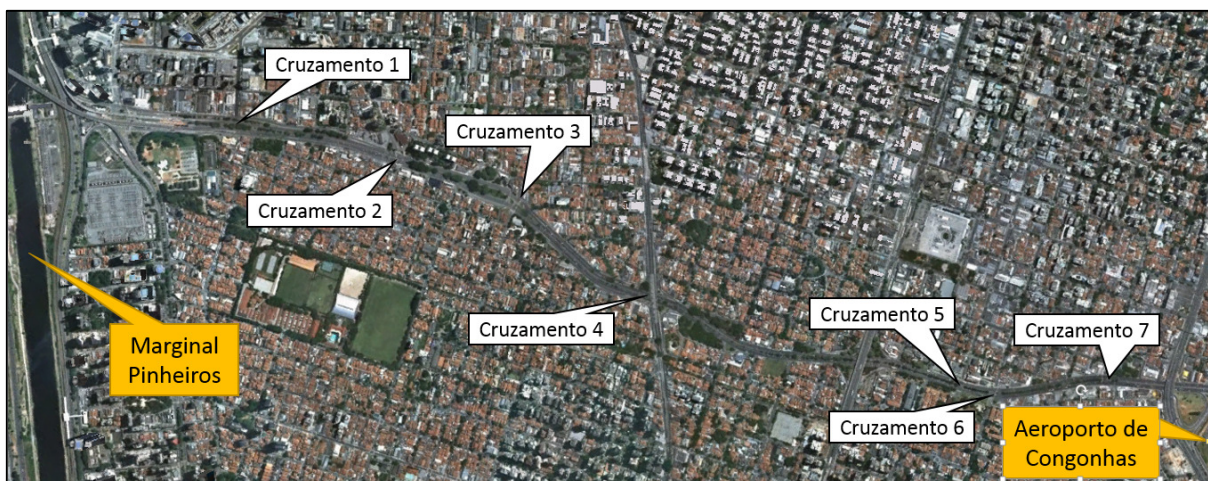


Figura 6.8 - Localização dos cruzamentos semaforizados ao longo do trecho estudado da Av. dos Bandeirantes.  
Fonte: Google Maps (2015)

As ruas que cruzam com a Av. dos Bandeirantes em cada um dos cruzamentos da figura anterior são as seguintes:

- Cruzamento 1: Alameda Vicente Pinzon;
- Cruzamento 2: Rua Conceição de Monte Alegre;
- Cruzamento 3: Rua Ribeiro do Vale;
- Cruzamento 4: Av. Santo Amaro;
- Cruzamento 5: Alameda dos Maracatins;
- Cruzamento 6: Alameda dos Nhambiquaras;
- Cruzamento 7: Alameda dos Tupiniquins.

Cada um desses cruzamentos possui sua própria configuração, número de semáforos e quantidade de estágios semaforicos. Foi possível obter junto à CET um croqui de cada um dos cruzamentos de interesse, os quais mostram a localização dos semáforos e os sentidos de fluxo das vias. Junto com os croquis, foram também obtidos os diagramas de estágio, os quais, segundo Dutra (2005), são as representações esquemáticas da sequência de movimentos permitidos e proibidos para cada intervalo do ciclo.

A figura 6.9 mostra o croqui e o diagrama de estágios do cruzamento da Av. dos Bandeirantes com a Alameda Vicente Pinzon.

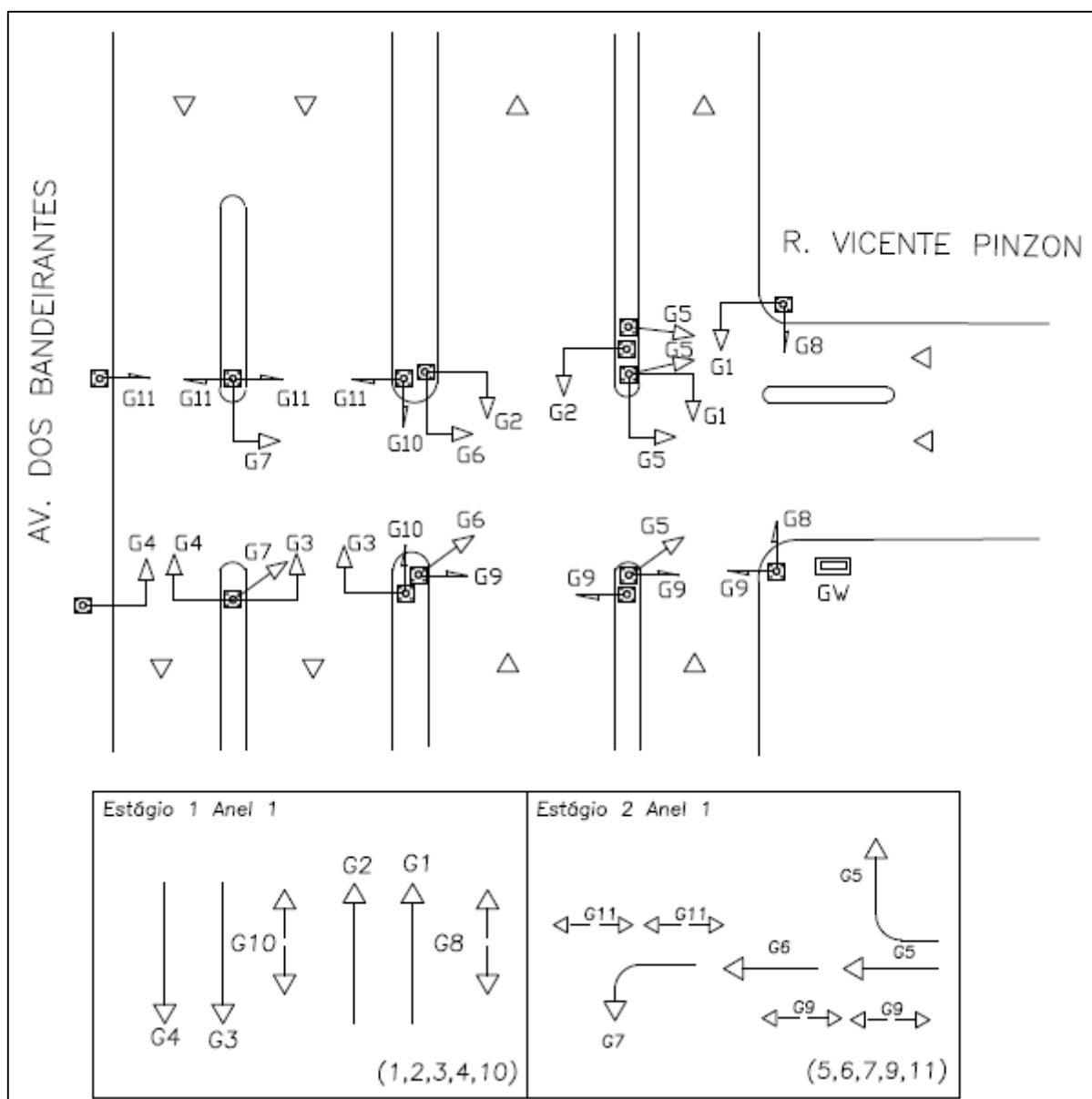


Figura 6.9 - Croqui e diagrama de estágios do cruzamento da Av. dos Bandeirantes com a Al. Vicente Pinzon.

Fonte: CET (2013)

Os semáforos que estão instalados ao longo do trecho de estudo são os chamados controladores de tempo-fixo, os quais, segundo Dutra (2005), são controladores cujos tempo de ciclo, os estágios e os intervalos são fixos, podendo ter programações fixas diferenciadas ao longo do dia e também para diferentes dias da semana, a fim de atender diferentes volumes de tráfego em períodos pré-determinados. Esse tipo de controlador é importante para a coordenação semafórica da via, a qual é responsável por determinar as diferenças entre os instantes de início dos tempos de verde em cada um dos semáforos ao longo da via, buscando

maximizar o número de veículos que atravessam a rede sem ter a necessidade de parar nos semáforos fechados (Dutra, 2005).

A Avenida dos Bandeirantes possui sua própria tabela horária, que indica a programação que os controladores da avenida irão seguir em um determinado horário. A figura abaixo mostra que das 07h00 às 08h00, horário simulado, todos os controladores passarão a operar na programação 7.

|             |                  |              |                                   |                 |
|-------------|------------------|--------------|-----------------------------------|-----------------|
| Tu 20:04:21 | 05-MAY-15        | Timetable 02 | Title:-                           | SEGUNDA À SEXTA |
| 00:01:00    | PLAN             | A55100       | 1                                 | TIMETABLE       |
| 00:01:00    | PLAN             | J55311       | 1                                 | TIMETABLE       |
| 00:01:00    | PLAN             | A55200       | 1                                 | TIMETABLE       |
| 00:20:00    | PLAN             | J55321       | 8                                 | TIMETABLE       |
| 04:28:00    | PLAN             | A55100       | 4                                 | TIMETABLE       |
| 04:28:00    | PLAN             | A55200       | 4                                 | TIMETABLE       |
| 04:28:00    | PLAN             | J55311       | 4                                 | TIMETABLE       |
| 05:00:00    | PLAN             | J55321       | 5                                 | TIMETABLE       |
| 05:30:00    | PLAN             | A55100       | 14                                | TIMETABLE       |
| 05:30:00    | PLAN             | A55200       | 14                                | TIMETABLE       |
| 05:30:00    | PLAN             | J55311       | 14                                | TIMETABLE       |
| 06:00:00    | ACAS             | 11           | (ATENUADOR DE LAMPADAS DESLIGADO) |                 |
| 06:01:00    | PLAN             | A55100       | 8                                 | TIMETABLE       |
| 06:01:00    | PLAN             | A55200       | 8                                 | TIMETABLE       |
| 06:01:00    | PLAN             | J55311       | 8                                 | TIMETABLE       |
| 07:00:00    | PLAN             | J55321       | 7                                 | TIMETABLE       |
| 08:00:00    | PLAN             | J55321       | 2                                 | TIMETABLE       |
| 09:24:00    | PLAN             | J55321       | 3                                 | TIMETABLE       |
| 10:31:00    | PLAN             | A55100       | 7                                 | TIMETABLE       |
| 10:31:00    | PLAN             | A55200       | 7                                 | TIMETABLE       |
| 10:31:00    | PLAN             | J55311       | 7                                 | TIMETABLE       |
| 16:00:00    | PLAN             | J55321       | 4                                 | TIMETABLE       |
| 19:00:00    | ACAS             | 12           | (ATENUA LAMPADAS)                 |                 |
| 21:00:00    | PLAN             | J55321       | 6                                 | TIMETABLE       |
| 22:01:00    | PLAN             | A55100       | 10                                | TIMETABLE       |
| 22:01:00    | PLAN             | A55200       | 10                                | TIMETABLE       |
| 22:01:00    | PLAN             | J55311       | 10                                | TIMETABLE       |
| 23:01:00    | PLAN             | A55100       | 2                                 | TIMETABLE       |
| 23:01:00    | PLAN             | A55200       | 2                                 | TIMETABLE       |
| 23:01:00    | PLAN             | J55311       | 2                                 | TIMETABLE       |
| Tu 20:04:21 | End of Timetable |              |                                   |                 |

Figura 6.10 – Tabela horária indicando os horários em que cada programação estará operando na via.

Fonte: CET (2015)

A figura abaixo mostra os tempos de cada estágio do cruzamento entre a Av. dos Bandeirantes e a Al. Vicente Pinzon, para as diferentes programações. No caso da programação 7, o tempo de ciclo é de 180 segundos e o estágio 1 se inicia no segundo 166 e o estágio 2 no segundo 135 deste ciclo.

|             |           |                      |                 |                    |
|-------------|-----------|----------------------|-----------------|--------------------|
| Tu 20:05:38 | 05-MAY-15 | Current plan Timings |                 |                    |
| Plan        | 1         | J55311               | BANDEIRXVPINZON | CY080 A 0, B 57    |
| Plan        | 2         | J55311               | BANDEIRXVPINZON | CY090 B 53, A 76   |
| Plan        | 3         | J55311               | BANDEIRXVPINZON | CY120 B 80, A 106  |
| Plan        | 4         | J55311               | BANDEIRXVPINZON | CY120 B 0, A 26    |
| Plan        | 5         | J55311               | BANDEIRXVPINZON | CY160 A 0, B 131   |
| Plan        | 6         | J55311               | BANDEIRXVPINZON | CY180 B 135, A 166 |
| Plan        | 7         | J55311               | BANDEIRXVPINZON | CY180 B 135, A 166 |
| Plan        | 8         | J55311               | BANDEIRXVPINZON | CY180 B 25, A 56   |
| Plan        | 9         | J55311               | BANDEIRXVPINZON | CY150 B 107, A 136 |
| Plan        | 10        | J55311               | BANDEIRXVPINZON | CY150 B 107, A 136 |
| Plan        | 14        | J55311               | BANDEIRXVPINZON | CY150 B 107, A 136 |
| Plan        | 27        | J55311               | BANDEIRXVPINZON | CY180 B 64, A 95   |
| Tu 20:05:38 | 05-MAY-15 | End of Plan Timings  |                 |                    |

Figura 6.11 – Tabela de programações do cruzamento entre a Av. dos Bandeirantes e a Al. Vicente Pinzon.

Fonte: CET (2015)



Todos os controladores da avenida, entre às 07h00 e 08h00, estão operando com o tempo de ciclo de 180 segundos.

### 6.2.5 Dados topográficos

Foi levantado um estudo topográfico do trecho pela SPTrans (2013), do qual se pode inferir que o trecho de estudo varia entre as cotas 724m e 757m, sendo essa uma variação aproximadamente linear.

Analizando o perfil do terreno no trecho, se pode chegar a um greide médio de 0,9% e a greide máximo de 1,2%. Tais resultados, assim como o perfil do terreno, são sumarizados na figura 6.12.

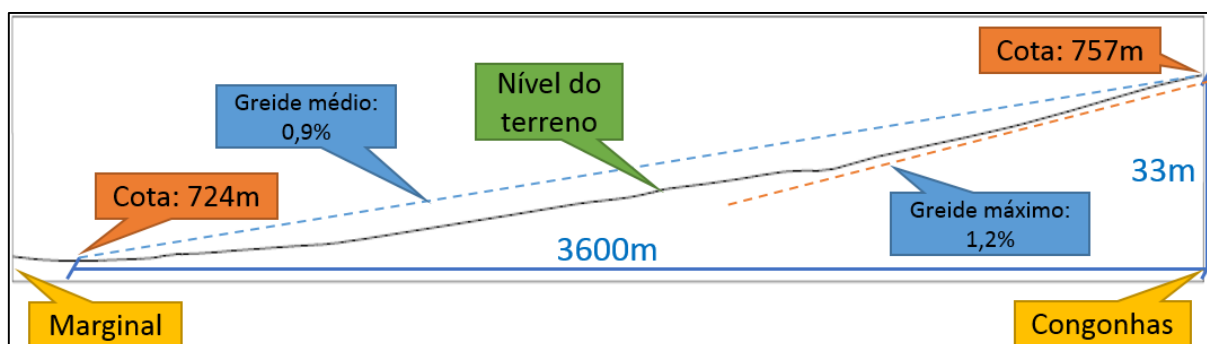


Figura 6.12 - Perfil do terreno, greide médio e greide máximo no trecho de estudo.  
Fonte: SPTrans (2013)

Segundo o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) (2006), os greides obtidos resultam em um alinhamento que pode ser considerado praticamente como plano, havendo assim pouquíssima influência da topografia sobre o fluxo de veículos na via, quando se comparado a uma via completamente plana. Assim, para efeito de simplificação, a modelagem foi feita considerando a via como sendo completamente plana.

### 6.3 Desenvolvimento do modelo base

O modelo base desenvolvido corresponde ao cenário atual da via, ou seja, a modelagem da via como ela é hoje, com sua infraestrutura e fluxo de veículos atuais. Primeiramente, o diagrama *link/node* da via Figura 6.14 foi construído com auxílio do projeto básico do corredor de *background*, como indicado na Figura 6.13.

Imagens de satélite também foram importadas para o *software* e, além de servirem para uma enriquecer a simulação e as animações visualmente, também



serviram para a localização dos controladores no modelo, os quais eram menos óbvios no projeto do corredor.

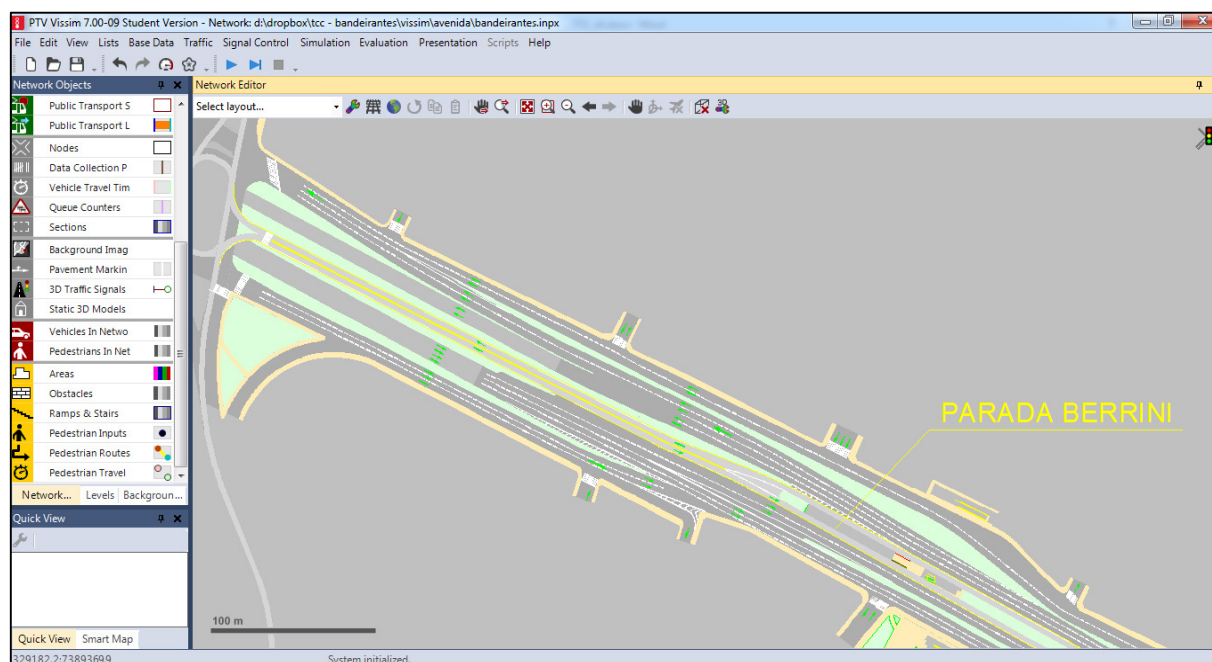


Figura 6.13 - Captura de tela do VISSIM, mostrando o projeto do corredor como *background* no trecho próximo à marginal pinheiros, com a parada Berrini destacada na imagem.

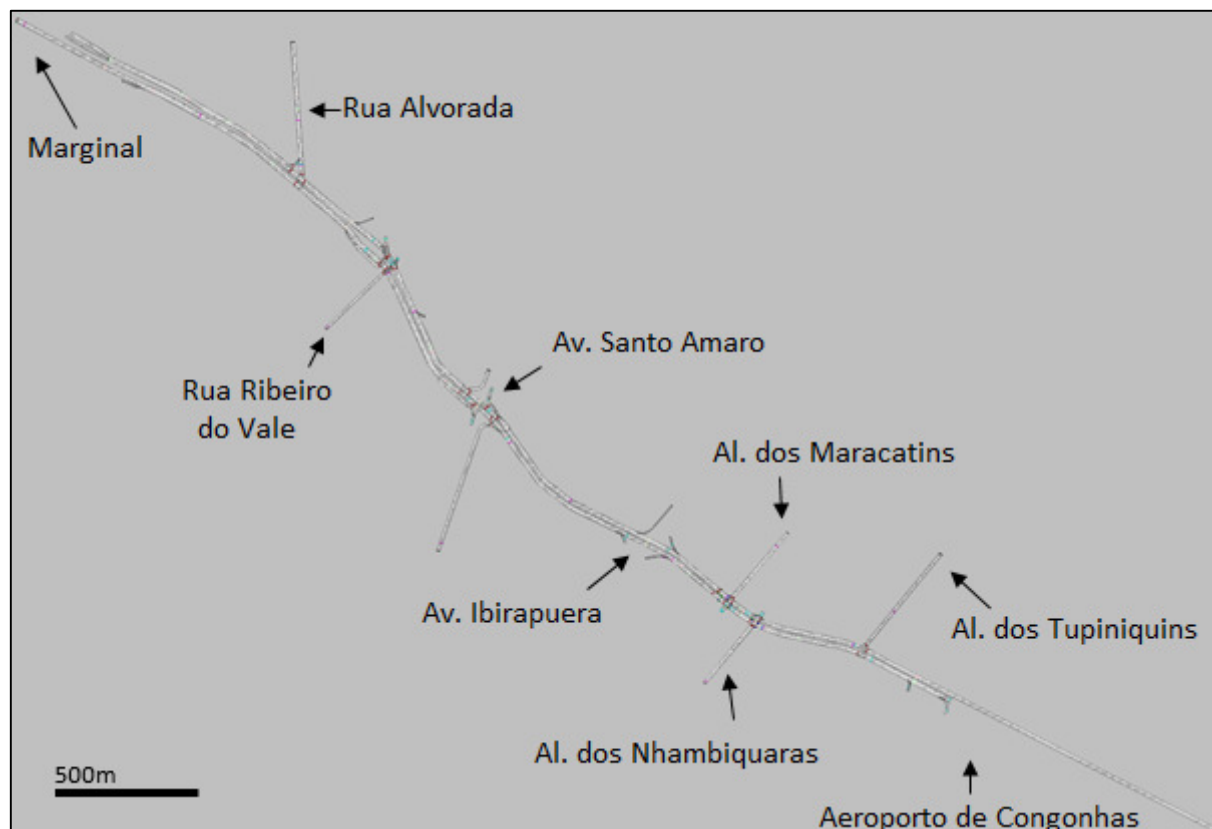


Figura 6.14 – Diagrama *link/node* completo do trecho estudado.

Com a geometria da via modelada, se prosseguiu para a inclusão dos semáforos e os seus respectivos tempos no modelo. A figura 6.15 mostra, como exemplo, as temporizações programadas para o cruzamento com a Av. Santo Amaro.

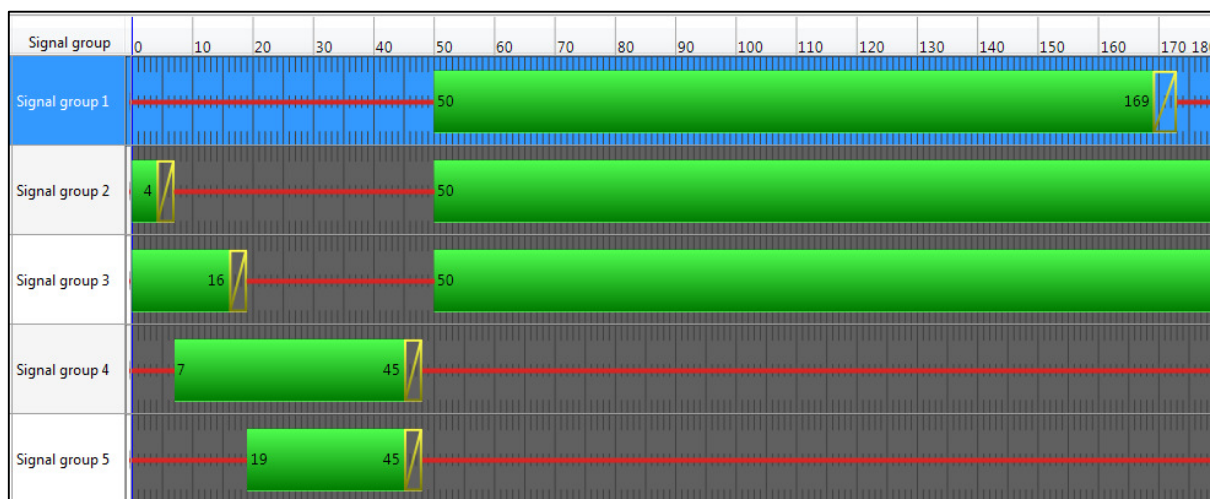


Figura 6.15 – Temporizações programadas para os controladores na altura do cruzamento com a Av. Santo Amaro, entre o horário das 07:00 às 08:00.  
Fonte: CET (2015)

Em seguida, foram incluídas áreas de redução de velocidade em curvas e em outras áreas que os veículos reduzem sua velocidade. Essas áreas também desempenharam um importante papel na calibração do modelo, como se verá em seguida.

As áreas de conflito, que são cruzamentos e locais onde há a conversão de veículos, também foram incluídas no modelo, definidas as prioridades. No entanto, as mesmas possuem pouco efeito sobre os veículos da rede, visto que a maioria dos locais onde estão inclusas são cruzamentos semaforizados.

Depois, foram incluídos os pontos de entrada de tráfego na rede, assim como as possíveis rotas que os mesmos devem seguir. O fluxo de tráfego e as proporções de conversões em cada cruzamento foram ajustadas na calibração, como será descrito mais à frente.

A figura 6.16 ilustra como são representados no *software* os semáforos, áreas de redução de velocidade, áreas de conflito, rotas, seções de contagem e de medição de tempos de viagem, as quais foram utilizadas para se construir o modelo. Esta figura também mostra a utilização da imagem de satélite como *background*.

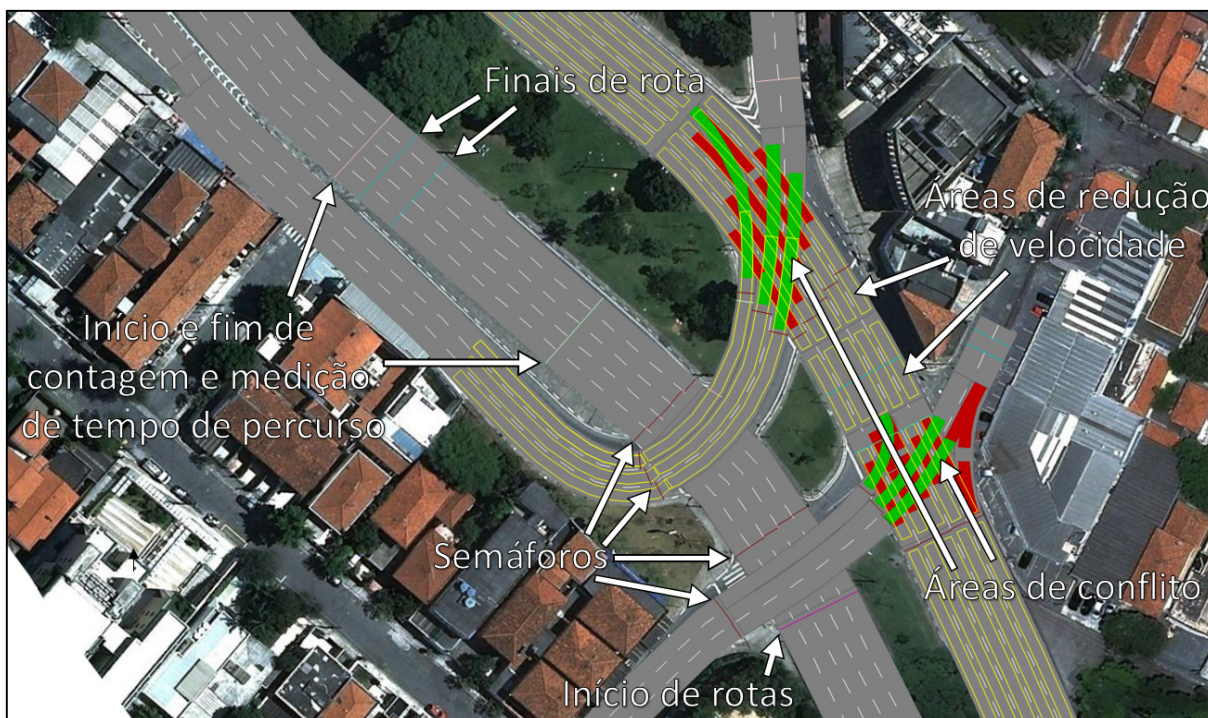


Figura 6.16 – Imagem de parte do modelo já pronto e indicações das ferramentas de modelagem utilizadas, na altura da Rua Ribeiro do Vale.

Com a rede pronta, se partiu para a inclusão do tráfego na rede. Os pontos de entrada de tráfego na rede (*Vehicle Inputs*) e os respectivos fluxos foram definidos após a calibração do modelo, e são mostrados na figura 6.17.

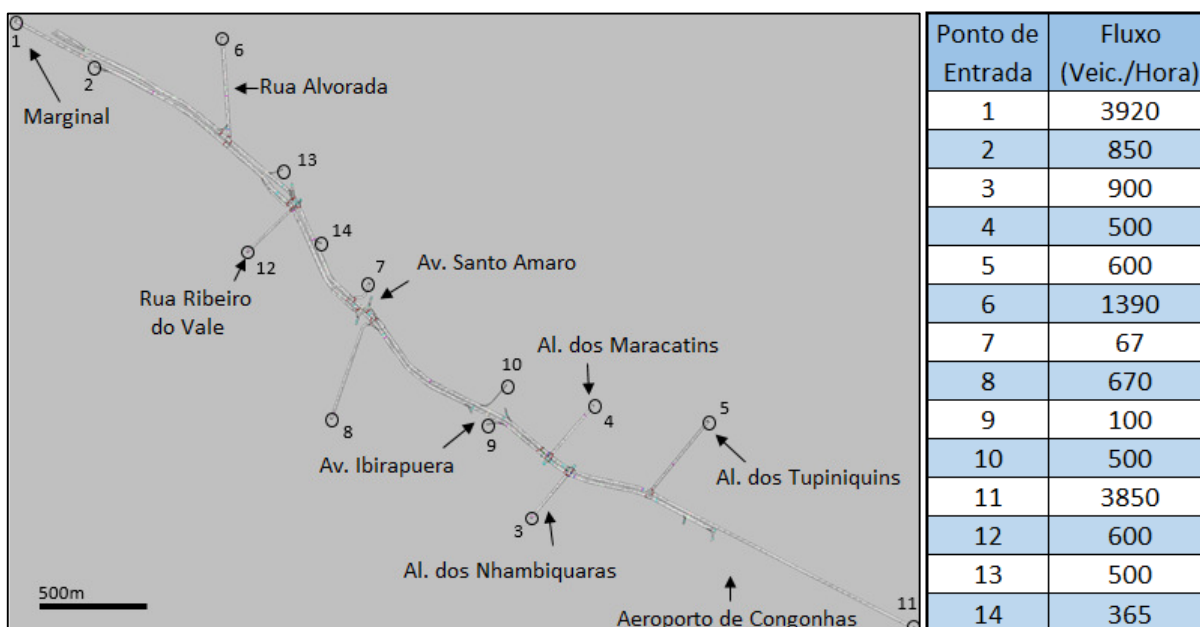


Figura 6.17 – Pontos de entrada de veículos e os respectivos fluxos para o cenário atual.

Em 2014, quando foram feitas as contagens classificadas e medições de tempos de percurso pela CET, a velocidade máxima permitida na via era de 60km/h e, portanto, foi adotada a distribuição de velocidades ilustrada pela figura 6.18.

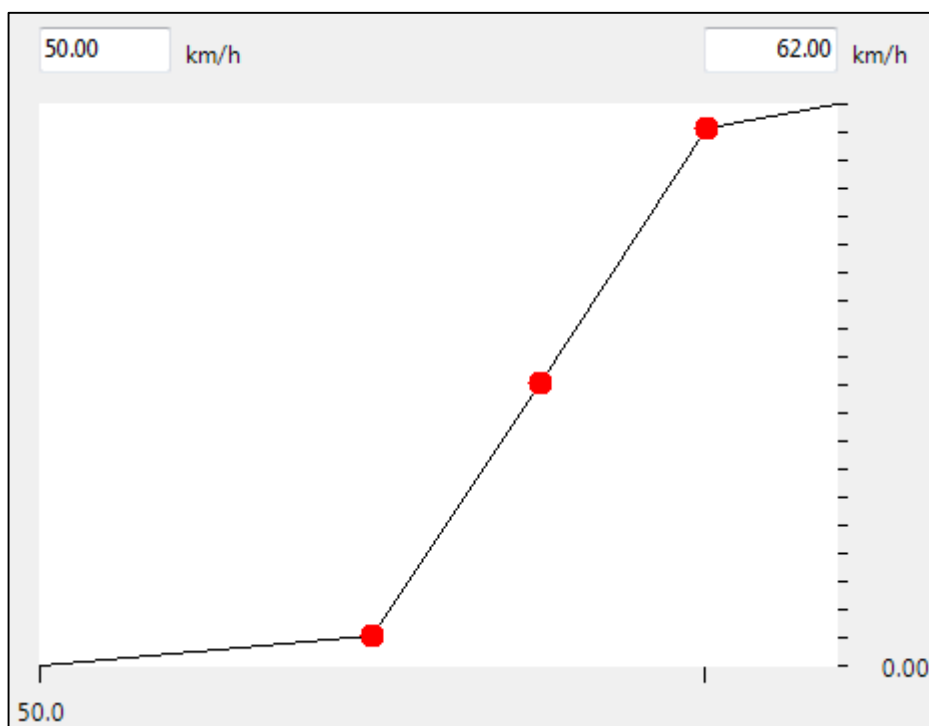


Figura 6.18 – Distribuição de velocidades adotada para todos os veículos da rede.

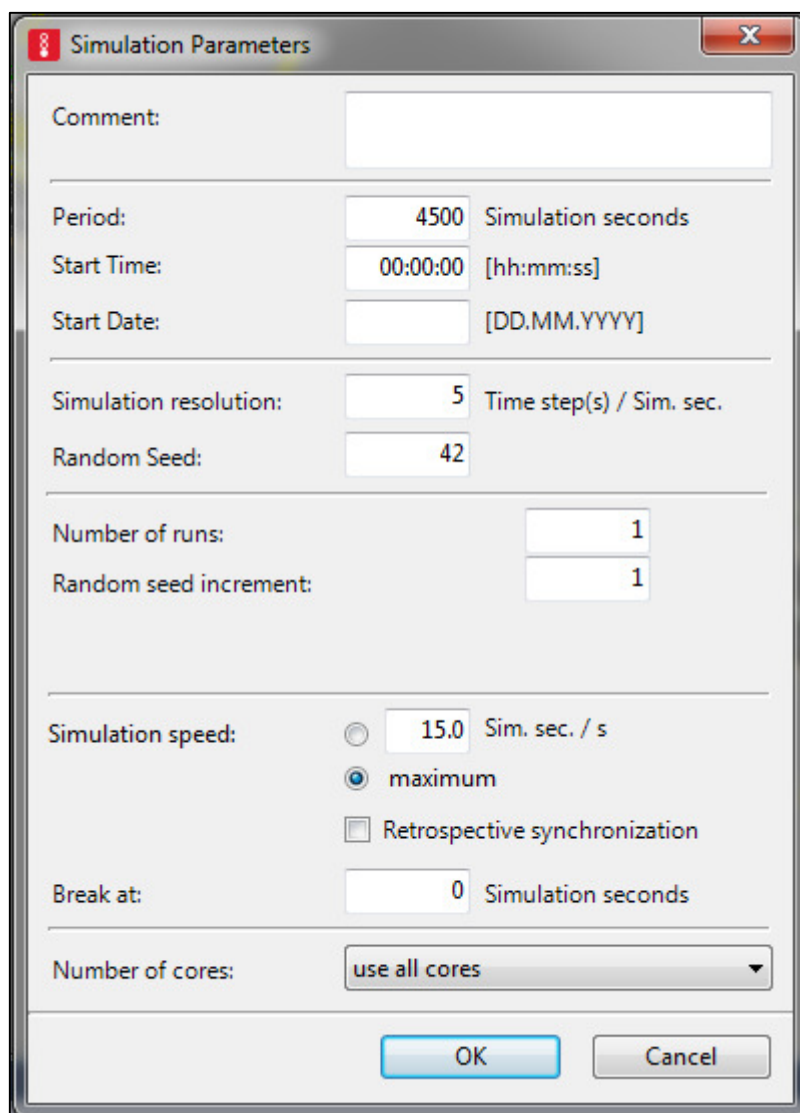
Para as configurações de *car-following* e *lane change* foram mantidos os padrões fornecidos pelo *software*. Por último, foram definidos os parâmetros da simulação e os dados que deveriam ser colhidos.

As simulações foram feitas com 4500 segundos de execução (1 hora e 15 minutos), sendo que os primeiros 15 minutos serv



| Emissão de CO - Cenário atual simulado - Sentido Marginal - Anchieta |                         |                  |                               |                    |              |                    |
|----------------------------------------------------------------------|-------------------------|------------------|-------------------------------|--------------------|--------------|--------------------|
| Trecho                                                               | Velocidade média (km/h) | Comprimento (km) | Emissão (g/km)                |                    | Gastos (R\$) |                    |
|                                                                      |                         |                  | Automóveis                    | Caminhões e ônibus | Automóveis   | Caminhões e ônibus |
| 1                                                                    | 44,1                    | 1,02             | 14,58                         | 9,34               | R\$ 0,011    | R\$ 0,007          |
| 2                                                                    | 29,3                    | 0,79             | 21,45                         | 13,01              | R\$ 0,013    | R\$ 0,008          |
| 3                                                                    | 46,0                    | 0,78             | 14,13                         | 8,96               | R\$ 0,008    | R\$ 0,005          |
| 4                                                                    | 39,5                    | 1,07             | 15,99                         | 10,33              | R\$ 0,013    | R\$ 0,008          |
| Número médio de veículos que passam pelo sentido: 4189               |                         |                  | Total para um veículo:        |                    | R\$ 0,044    | R\$ 0,028          |
|                                                                      |                         |                  | Total para todos os veículos: |                    | R\$ 179,09   | R\$ 3,94           |
|                                                                      |                         |                  | Total para o Sentido:         |                    | R\$ 183,02   |                    |
| Emissão de CO - Cenário atual simulado - Sentido Anchieta - Marginal |                         |                  |                               |                    |              |                    |
| Trecho                                                               | Velocidade média (km/h) | Comprimento (km) | Emissão (g/km)                |                    | Gastos (R\$) |                    |
|                                                                      |                         |                  | Automóveis                    | Caminhões e ônibus | Automóveis   | Caminhões e ônibus |
| 1                                                                    | 34,6                    | 1,02             | 18,13                         | 11,53              | R\$ 0,014    | R\$ 0,009          |
| 2                                                                    | 28,1                    | 0,79             | 22,42                         | 13,39              | R\$ 0,013    | R\$ 0,008          |
| 3                                                                    | 14,1                    | 0,78             | 47,44                         | 19,60              | R\$ 0,027    | R\$ 0,011          |
| 4                                                                    | 12,9                    | 1,07             | 51,92                         | 20,35              | R\$ 0,041    | R\$ 0,016          |
| Número médio de veículos que passam pelo sentido: 4126               |                         |                  | Total para um veículo:        |                    | R\$ 0,095    | R\$ 0,044          |
|                                                                      |                         |                  | Total para todos os veículos: |                    | R\$ 384,665  | R\$ 6,178          |
|                                                                      |                         |                  | Total para o Sentido:         |                    | R\$ 390,84   |                    |
| Total no período:                                                    |                         |                  |                               |                    | R\$ 573,87   |                    |

em apenas como carregamento da rede, já que esta se encontra vazia no início da simulação. A coleta de dados se inicia no segundo 900 da simulação e vai até o segundo 4500, totalizando 1 hora simulada. A resolução adotada para as simulações foi de 5 cálculos por segundo, ou seja, em cada segundo de simulação o *software* realiza 5 atualizações da posição de cada veículo na rede.



The image shows a screenshot of the 'Simulation Parameters' dialog box in VISSIM. The dialog box has a title bar with a red 'X' button. It contains several input fields and checkboxes for configuring simulation parameters. The parameters are organized into sections separated by horizontal lines. The 'Simulation speed' section includes radio buttons for '15.0 Sim. sec. / s' and 'maximum', with 'maximum' being selected. There is also a checkbox for 'Retrospective synchronization'. The 'Break at' field is set to '0 Simulation seconds'. The 'Number of cores' dropdown menu is set to 'use all cores'. The 'OK' button is highlighted in blue.

| Parameter                     | Value                    | Unit / Format            |
|-------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Comment                       |                          |                          |
| Period                        | 4500                     | Simulation seconds       |
| Start Time                    | 00:00:00                 | [hh:mm:ss]               |
| Start Date                    |                          | [DD.MM.YYYY]             |
| Simulation resolution         | 5                        | Time step(s) / Sim. sec. |
| Random Seed                   | 42                       |                          |
| Number of runs                | 1                        |                          |
| Random seed increment         | 1                        |                          |
| Simulation speed              | maximum                  | Sim. sec. / s            |
| Retrospective synchronization | <input type="checkbox"/> |                          |
| Break at                      | 0                        | Simulation seconds       |
| Number of cores               | use all cores            |                          |

Figura 6.19 – Captura de tela no VISSIM mostrando os parâmetros de simulação adotados.

Os dados a serem coletados são os dados de performance da rede (*Vehicle Network Performance*) e os tempos de viagens dos veículos (*Vehicle travel times*), incluindo a contagem de veículos que passam pelo trecho medido.

|                                | Collect data                        | From time | To time | Interval |         |
|--------------------------------|-------------------------------------|-----------|---------|----------|---------|
| Area measurements              | <input type="checkbox"/>            | 0         | 99999   | 99999    |         |
| Areas & ramps                  | <input type="checkbox"/>            | 0         | 99999   | 99999    | More... |
| Data collections               | <input type="checkbox"/>            | 0         | 99999   | 99999    |         |
| Delays                         | <input type="checkbox"/>            | 0         | 99999   | 99999    |         |
| Links                          | <input type="checkbox"/>            | 0         | 99999   | 99999    | More... |
| Nodes                          | <input type="checkbox"/>            | 0         | 99999   | 99999    | More... |
| Pedestrian Network Performance | <input type="checkbox"/>            | 0         | 99999   | 99999    |         |
| Pedestrian travel times        | <input type="checkbox"/>            | 0         | 99999   | 99999    |         |
| Queue counters                 | <input type="checkbox"/>            | 0         | 99999   | 99999    | More... |
| Vehicle Network Performance    | <input checked="" type="checkbox"/> | 900       | 4500    | 3600     |         |
| Vehicle travel times           | <input checked="" type="checkbox"/> | 900       | 4500    | 3600     | More... |

Figura 6.20 – Captura de tela no VISSIM mostrando os dados que foram coletados.

## 6.4 Verificação de erros

Nesta etapa se buscou corrigir os erros que foram sendo encontrados ao longo e depois do desenvolvimento do modelo base. Com a execução de simulações teste logo após a conclusão do modelo, muitos erros cometidos ao longo de sua construção foram explicitados e em seguida corrigidos, como por exemplo semáforos com tempos trocados, áreas de conflito com configurações erradas, links com a ausência de conectores e proporções incorretas de conversões em cruzamentos.

## 6.5 Calibração do modelo

A calibração foi feita se alterando diversos parâmetros iterativamente, a cada simulação rodada, com o intuito de que as velocidades médias dos veículos em cada trecho e a quantidade de veículos contados em cada seção se aproximassem cada vez mais dos valores medidos em campo.

Dentre os parâmetros alterados, estão o fluxo de veículos entrando na rede, mudanças da proporção de veículos que seguem determinada rota, a distância na qual os veículos começam a trocar de faixa para fazer uma conversão, adequações na geometria, alterações nas áreas de redução de velocidade e alterações nas curvas de distribuição de velocidades. Para se calibrar o modelo, foram necessárias cerca de 300 simulações.

Os trechos e seções estão indicados na figura 6.21, e a comparação entre os valores medidos em campo e os simulados no modelo se encontram sumarizados na tabela 6.10.

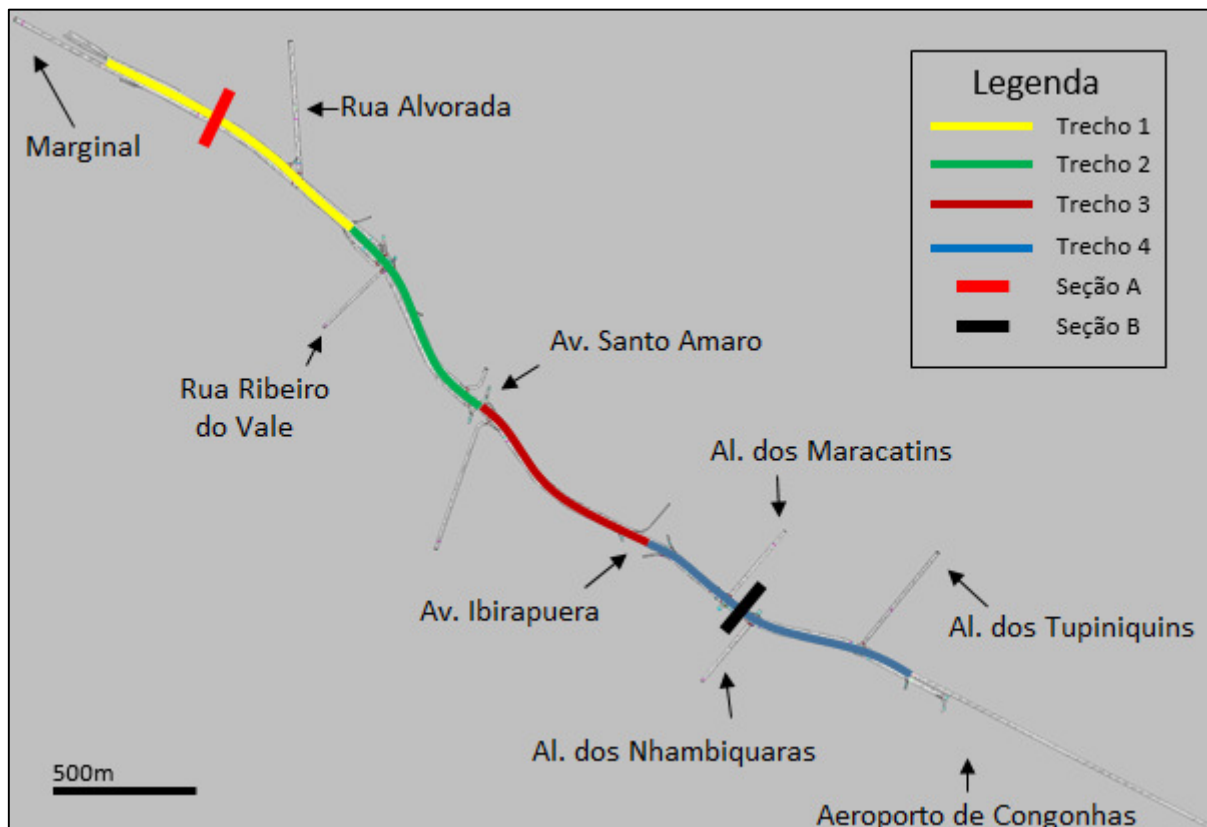


Figura 6.21 – Trechos e seções de contagem consideradas no estudo.

| Trecho | Velocidade Média no Trecho (km/h) |          |                             |          |
|--------|-----------------------------------|----------|-----------------------------|----------|
|        | Sentido Marginal - Anchieta       |          | Sentido Anchieta - Marginal |          |
|        | Medido                            | Simulado | Medido                      | Simulado |
| 1      | 47.3                              | 44.1     | 33.8                        | 34.6     |
| 2      | 30.6                              | 29.3     | 26.7                        | 28.1     |
| 3      | 46.3                              | 46.0     | 14.3                        | 14.1     |
| 4      | 39.7                              | 39.5     | 9.0                         | 12.9     |
| 1 - 4  | 39.8                              | 38.9     | 15.7                        | 18.7     |

| Seção | Veículos que Passaram pela Seção |          |                             |          |
|-------|----------------------------------|----------|-----------------------------|----------|
|       | Sentido Marginal - Anchieta      |          | Sentido Anchieta - Marginal |          |
|       | Medido                           | Simulado | Medido                      | Simulado |
| A     | 4742                             | 4745     | 4526                        | 4515     |
| B     | 3564                             | 3633     | 4105                        | 3737     |

Tabela 6.10 – Comparação entre os valores medidos em campo e os reproduzidos no modelo do cenário atual.



Os maiores desvios entre os valores medidos e simulados estão no sentido Anchieta – Marginal, no trecho 4 e na seção B. Quanto mais se aproximava da velocidade média medida em campo neste trecho, ainda menos veículos conseguiam passar pela seção B, devido ao congestionamento. Essa inconsistência provavelmente se deve ao fato de a velocidade média medida em campo não ter sido realizada das 7h00 às 8h00, e sim em um período mais congestionado, enquanto as contagens foram realizadas no mesmo período que foi simulado. Assim, foram aceitos os valores mostrados na tabela anterior, para que nenhum dos dois resultados simulados apresentasse grandes distorções quando comparados com os valores medidos em campo.

Os resultados obtidos são a média aritmética dos resultados de cinco simulações rodadas, diferenciadas uma da outra pela *random seed* utilizada na simulação.

Duas simulações rodadas com o mesmo arquivo de rede e a mesma *random seed* produzem resultados iguais. Variando a *random seed*, as funções estocásticas do VISSIM assumem outra sequência de valores e o tráfego se comporta de uma maneira diferente. Para produzir resultados significantes, é necessária a execução de múltiplas simulações com diferentes *random seeds*, considerando-se a média aritmética dos valores obtidos em cada simulação (PTV, 2015).

Os resultados individuais de cada uma das simulações, assim como valores de mínimos e máximos podem ser consultados nos apêndices A e B deste trabalho.

## **6.6 Análise das alternativas**

Além do cenário atual, que conta com valores medidos em campo e os simulados no modelo calibrado, foram modelados dois cenários futuros, e todos eles possuem a mesma geometria do cenário atual, a não ser pelo fato de a via ter sido modelada com uma faixa a menos, a qual passou a ser dedicada exclusivamente para os ônibus, conforme observado no projeto do corredor.

O primeiro cenário futuro busca reproduzir o impacto do corredor de ônibus no momento de sua implantação, onde a demanda de veículos é a mesma do cenário atual.

A diminuição das velocidades e a geração de filas e atrasos decorrentes da supressão de uma faixa de tráfego em cada sentido de uma via afeta o comportamento individual dos motoristas. Ao aumentar o congestionamento, a atratividade dessa via diminui, e mais motoristas terão a tendência de migrar de caminho, modal ou horário. Se houver um aumento de qualidade e velocidade do transporte coletivo, também haverá uma maior atratividade em utilizá-lo. Essa migração faz com que a demanda dessas vias diminua, e o congestionamento conseqüentemente também.

Como tentativa de considerar essas variações e analisar os seus efeitos sobre o tráfego, foi simulado um segundo cenário futuro com uma menor demanda de veículos particulares.

Assim, o segundo cenário futuro busca reproduzir um cenário esperado, onde há uma diminuição de 5% do volume de veículos que entram na rede. É importante frisar que a troca do meio de transporte utilizado não é instantânea e pode levar tempo até que haja essa migração. A diminuição foi constante para todos os pontos de entrada de veículos da rede.

## **6.7 Resultados obtidos e conclusões parciais**

Os resultados obtidos, em todos os cenários, são a média aritmética dos resultados de cinco simulações rodadas, que se diferiram uma da outra pela *random seed* utilizada na simulação. Foram utilizadas as *random seeds* 38, 39, 40, 41 e 42 para a realização das simulações. Os resultados de cada simulação individual, assim como os valores de máximo e mínimo encontrados, se encontram nos apêndices A e B deste trabalho.

### **6.7.1 Velocidades médias e contagens – sentido Marginal - Anchieta**

Os resultados de velocidades médias nos trechos e de contagens nas seções, para os diferentes cenários, são mostrados na tabela 6.11, no gráfico 6.3 e no gráfico 6.4.

| Velocidade Média no Trecho (km/h) |                 |                        |                   |                     |
|-----------------------------------|-----------------|------------------------|-------------------|---------------------|
| Sentido Marginal - Anchieta       |                 |                        |                   |                     |
| Trecho                            | Valores Medidos | Cenário Atual Simulado | Cenário Futuro Um | Cenário Futuro Dois |
| 1                                 | 47,3            | 44,1                   | 13,6              | 14,6                |
| 2                                 | 30,6            | 29,3                   | 21,1              | 20,9                |
| 3                                 | 46,3            | 46,0                   | 45,9              | 46,4                |
| 4                                 | 39,7            | 39,5                   | 38,6              | 39,4                |
| 1 - 4                             | 39,8            | 38,9                   | 23,3              | 24,1                |

| Veículos que Passaram pela Seção |                 |                        |                   |                     |
|----------------------------------|-----------------|------------------------|-------------------|---------------------|
| Sentido Marginal - Anchieta      |                 |                        |                   |                     |
| Seção                            | Valores Medidos | Cenário Atual Simulado | Cenário Futuro Um | Cenário Futuro Dois |
| A                                | 4.742           | 4.745                  | 3.739             | 3.791               |
| B                                | 3.564           | 3.633                  | 3.112             | 3.081               |

| Quantidade de Veículos que não Entraram na Rede |                        |                   |                     |
|-------------------------------------------------|------------------------|-------------------|---------------------|
| Ponto de Entrada                                | Cenário Atual Simulado | Cenário Futuro Um | Cenário Futuro Dois |
| 1                                               | 0                      | 636               | 366                 |
| 2                                               | 0                      | 258               | 174                 |
| Total                                           | 0                      | 894               | 540                 |

Tabela 6.11 – Resultados de velocidades médias nos trechos, contagens de veículos nas seções e quantitativo de veículos que não entraram na rede no sentido Marginal – Anchieta.

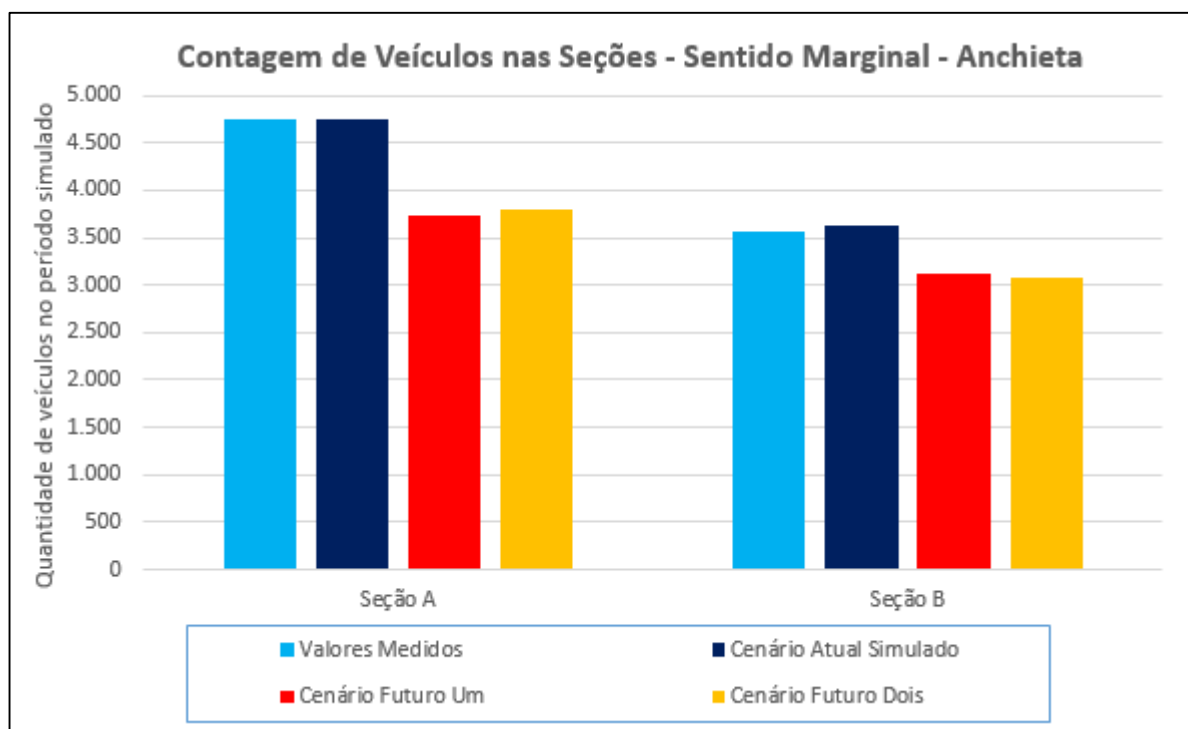


Gráfico 6.3 – Contagens de veículos nas seções A e B para os diferentes cenários estudados, no sentido Marginal – Anchieta.

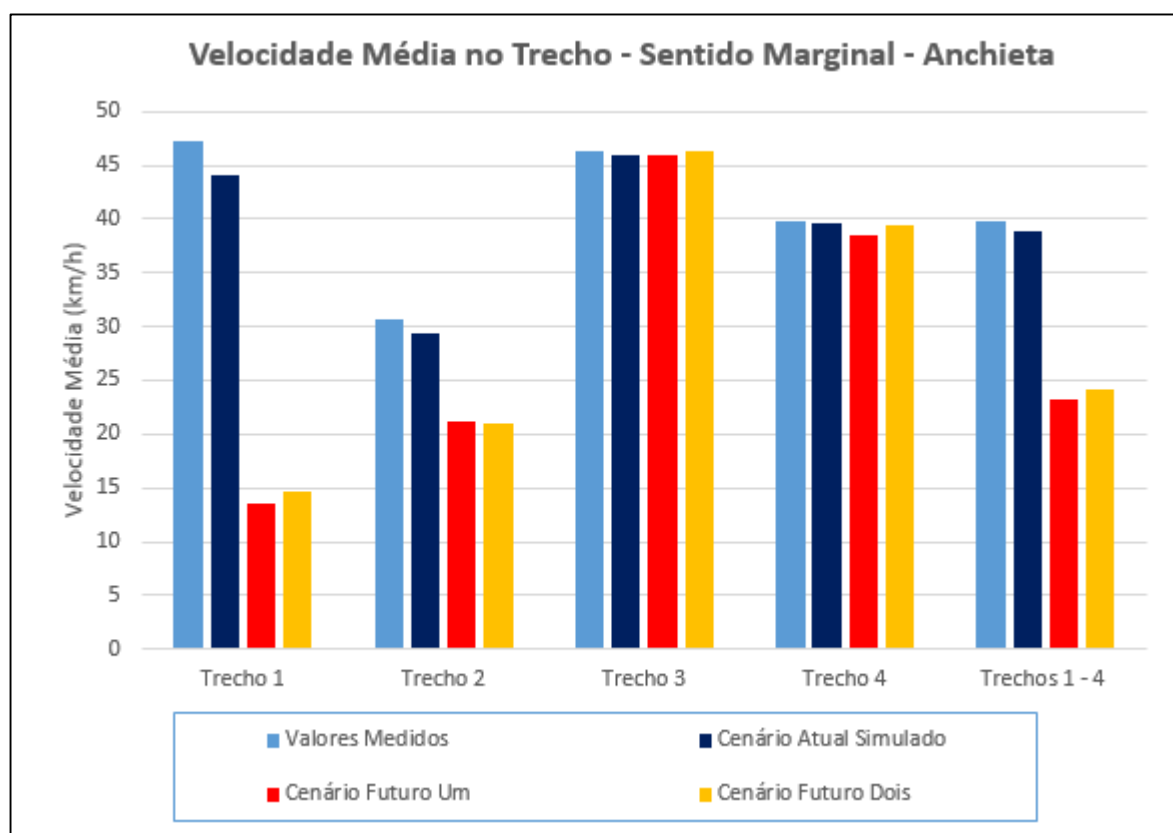


Gráfico 6.4 – Velocidades médias observadas nos trechos para os diferentes cenários estudados, no sentido Marginal – Anchieta.

Pode-se verificar que o tráfego flui bem neste sentido no cenário atual. Com a implantação do corredor, tanto no cenário futuro um como no cenário futuro dois, se verifica uma redução drástica da velocidade média no trecho 1, de cerca de 70%. No trecho 2, também há uma redução considerável na velocidade média observada, da ordem de 30%.

O impacto desses efeitos fica evidente quando se verifica que aproximadamente 1000 veículos a menos passaram pela seção A nos cenários futuros. Com essa diminuição, se espera que haja uma fila crescente nas vias precedentes ao trecho 1, como por exemplo na Ponte Eng. Ari Torres e também na Av. das Nações Unidas, as quais são representadas no modelo pelos pontos de entradas de veículos 1 e 2, respectivamente, na Figura 6.17.

Na situação com o corredor implantado, os pontos de entrada de veículos 1 e 2 apresentaram uma impossibilidade de incluir na rede um total de 894 veículos e de 540 veículos, nos cenários futuros um e dois respectivamente. Assim, se nota uma diminuição da fila que seria formada, caso 5% dos motoristas deixassem de utilizar a via no horário simulado.

A figura 6.22 ilustra o local e o sentido de crescimento da fila que seria gerada com a implantação do corredor.

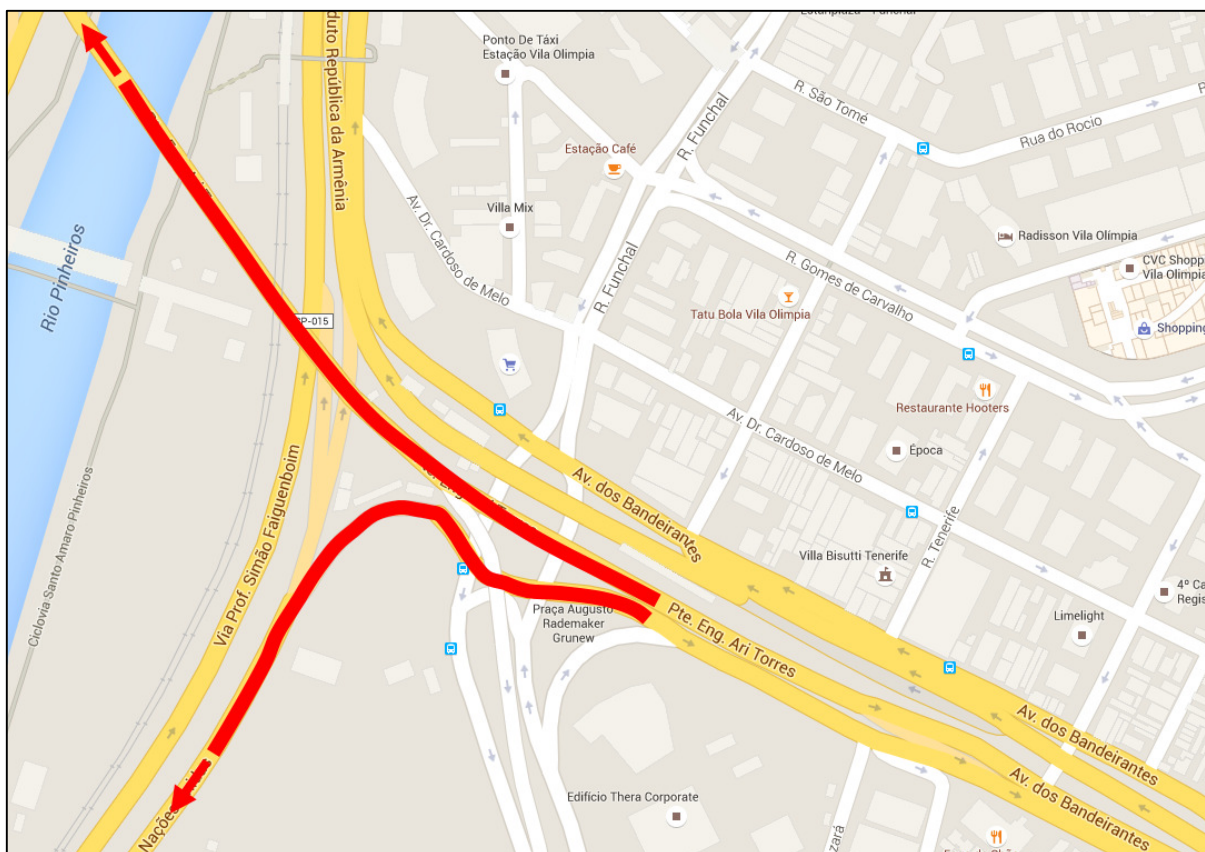


Figura 6.22 – Localização e sentido de crescimento da fila gerada com a implantação do corredor. Google Maps (2015).

No trecho 3, não há diferenças entre a velocidade média observada no cenário atual e a velocidade média observada nos cenários futuros. Isso muito provavelmente se deve à formação de um gargalo nos trechos anteriores, o que é evidenciado pela sua velocidade média reduzida. Assim, quando os veículos passam por este gargalo, conseguem seguir seu fluxo sem maiores problemas.

O trecho 4 também não apresentou diferenças significativas. A razão para isso pode ser a mesma da do trecho 3, mas também há o fato deste ser o trecho final do modelo, onde não se sofre o efeito das vias à frente, fazendo com que os resultados obtidos tenham menores variações com alterações de cenário e, assim, menos relevância e confiança para o estudo.

### 6.7.2 Velocidades médias e contagens – sentido Anchieta - Marginal

Os resultados de velocidades médias nos trechos e de contagens nas seções, para os diferentes cenários, são mostrados na tabela 6.12, no gráfico 6.5 e no gráfico 6.6.

| Velocidade Média no Trecho (km/h) |                 |                        |                   |                     |
|-----------------------------------|-----------------|------------------------|-------------------|---------------------|
| Sentido Anchieta - Marginal       |                 |                        |                   |                     |
| Trecho                            | Valores Medidos | Cenário Atual Simulado | Cenário Futuro Um | Cenário Futuro Dois |
| 1                                 | 33,8            | 34,6                   | 34,3              | 34,4                |
| 2                                 | 26,7            | 28,1                   | 27,8              | 27,8                |
| 3                                 | 14,3            | 14,1                   | 12,9              | 12,9                |
| 4                                 | 9,0             | 12,9                   | 10,8              | 11,0                |
| 1 - 4                             | 15,7            | 18,7                   | 16,8              | 17,0                |

| Veículos que Passaram pela Seção |                 |                        |                   |                     |
|----------------------------------|-----------------|------------------------|-------------------|---------------------|
| Sentido Anchieta - Marginal      |                 |                        |                   |                     |
| Seção                            | Valores Medidos | Cenário Atual Simulado | Cenário Futuro Um | Cenário Futuro Dois |
| A                                | 4.526           | 4.515                  | 3.915             | 3.844               |
| B                                | 4.105           | 3.737                  | 2.804             | 2.840               |

| Quantidade de Veículos que não Entraram na Rede |                        |                   |                     |
|-------------------------------------------------|------------------------|-------------------|---------------------|
| Ponto de Entrada                                | Cenário Atual Simulado | Cenário Futuro Um | Cenário Futuro Dois |
| 11                                              | 0                      | 1.119             | 819                 |

Tabela 6.12 – Resultados de velocidades médias nos trechos e de contagens nas seções no sentido Marginal – Anchieta.

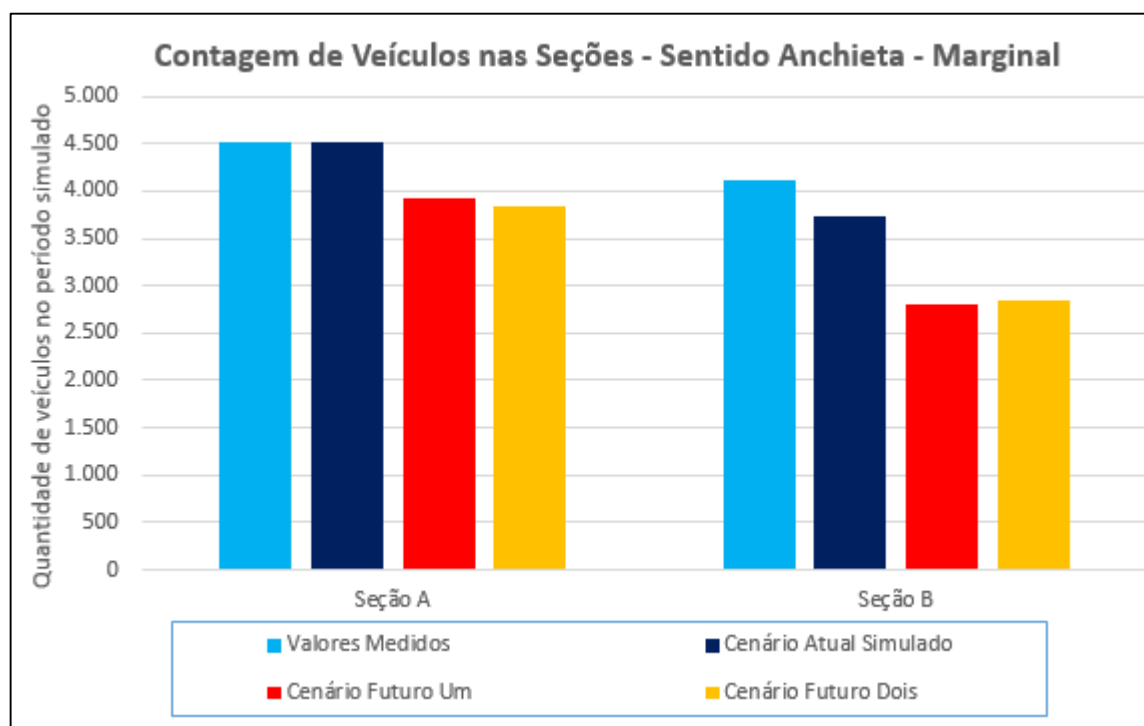


Gráfico 6.5 - Contagens de veículos nas seções A e B para os diferentes cenários estudados, no sentido Anchieta - Marginal.

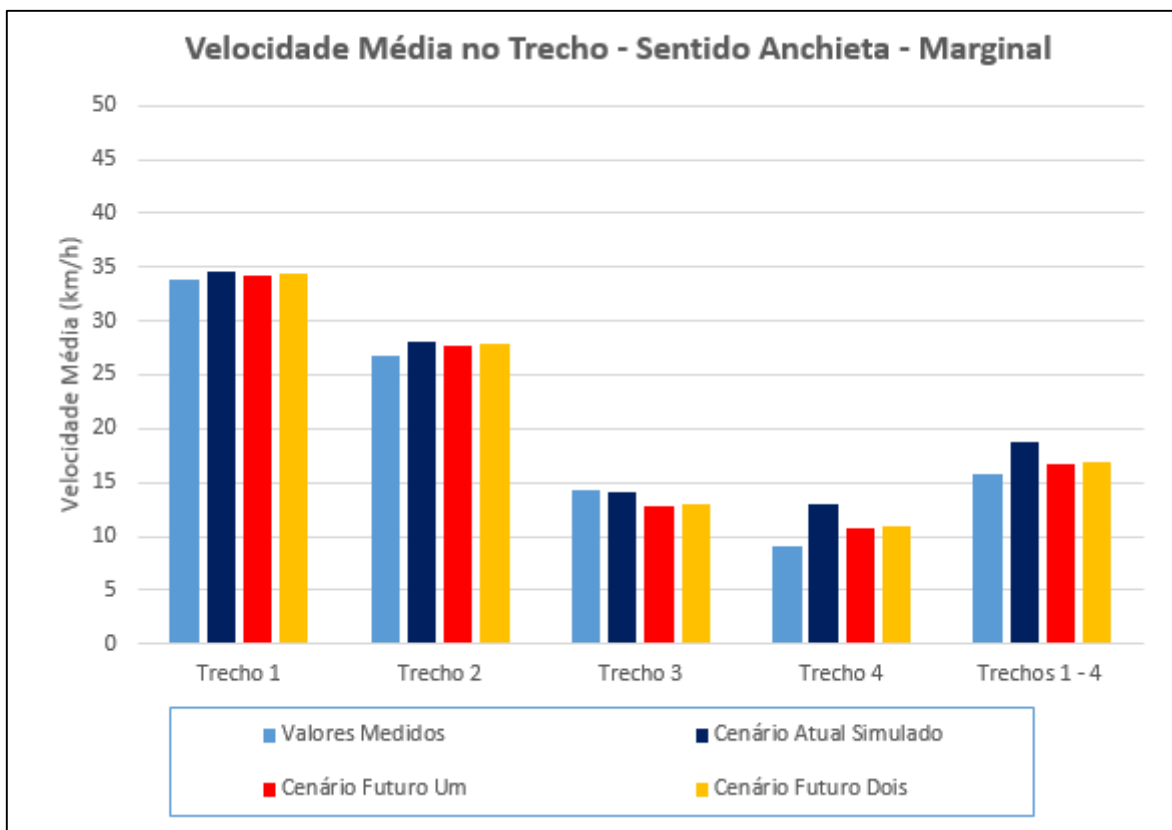


Gráfico 6.6 - Velocidades médias observadas nos trechos para os diferentes cenários estudados, no sentido Anchieta – Marginal.

Verifica-se que o sentido Anchieta – Marginal já se encontrava congestionado nos trechos 3 e 4 no cenário atual simulado e, no cenário futuro um, ocorreu apenas uma ligeira queda na velocidade média observada nesses trechos. Apesar disso, a capacidade da via neste trecho sofreu uma queda considerável, da ordem de 25%, a qual é evidenciada quando se analisa a quantidade de veículos que passa pela seção B antes e depois do corredor. Este número é compatível com a redução do número de faixas no trecho, o qual também teve uma redução de 25% ao passar de 4 para 3 faixas. Essa redução de capacidade gera uma fila, fazendo com que parte da demanda não consiga nem entrar na simulação: 1119 veículos não conseguem entrar no *input* 11 ao fim da simulação.

Nos trechos 1 e 2 não se observa nenhuma variação de velocidade média entre o cenário atual e os futuros, provavelmente pelos mesmos motivos citados nos trechos 3 e 4 do sentido oposto da via, que estão relacionados à diminuição da capacidade da via.

O cenário futuro dois, no qual foi diminuído em 5% o fluxo de veículos em todos os *inputs*, novamente não apresentou nenhuma diferença significativa quando



comparado ao cenário um (sem diminuição do fluxo de veículos), tanto em termos de velocidades médias como em termos de quantidade de veículos que passaram pelas seções. A vantagem foi uma menor quantidade de veículos que ficaram de fora da simulação e, assim, uma menor fila.

### 6.7.3 Distribuição de velocidades médias na rede por cores

O *software* possui uma ferramenta que indica visualmente a velocidade média em cada área da rede analisada. Os intervalos de velocidade média são representados por diferentes cores e ao final da simulação os *links* são coloridos de acordo com a velocidade média coletada durante a simulação. Tal ferramenta é muito útil para se visualizar rapidamente o nível de serviço em um cenário, e também para comparar o nível de serviço entre os diversos cenários estudados.

Na tabela 6.13 é mostrada a legenda de cores, onde cada cor representa um intervalo de velocidades médias.

| LowerBound | UpperBound | Color                                                                                                |
|------------|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| MIN        | 10,000     |  (255, 0, 0, 0)   |
| 10,000     | 20,000     |  (255, 255, 0, 0) |
| 20,000     | 30,000     |  (255, 255, 128)  |
| 30,000     | 40,000     |  (255, 255, 198)  |
| 40,000     | 50,000     |  (255, 255, 255)  |
| 50,000     | 60,000     |  (255, 198, 255)  |
| 60,000     | 80,000     |  (255, 128, 255)  |
| 80,000     | 100,000    |  (255, 0, 255, 0) |
| 100,000    | 120,000    |  (255, 0, 187, 0) |
| 120,000    | 200,000    |  (255, 0, 128, 0) |
| 200,000    | MAX        |  (0, 0, 0, 0)     |

Tabela 6.13 – Legenda de cores dos intervalos de velocidades médias. Valores em km/h.

As figuras a seguir mostram a distribuição de velocidades médias para os diferentes cenários simulados.

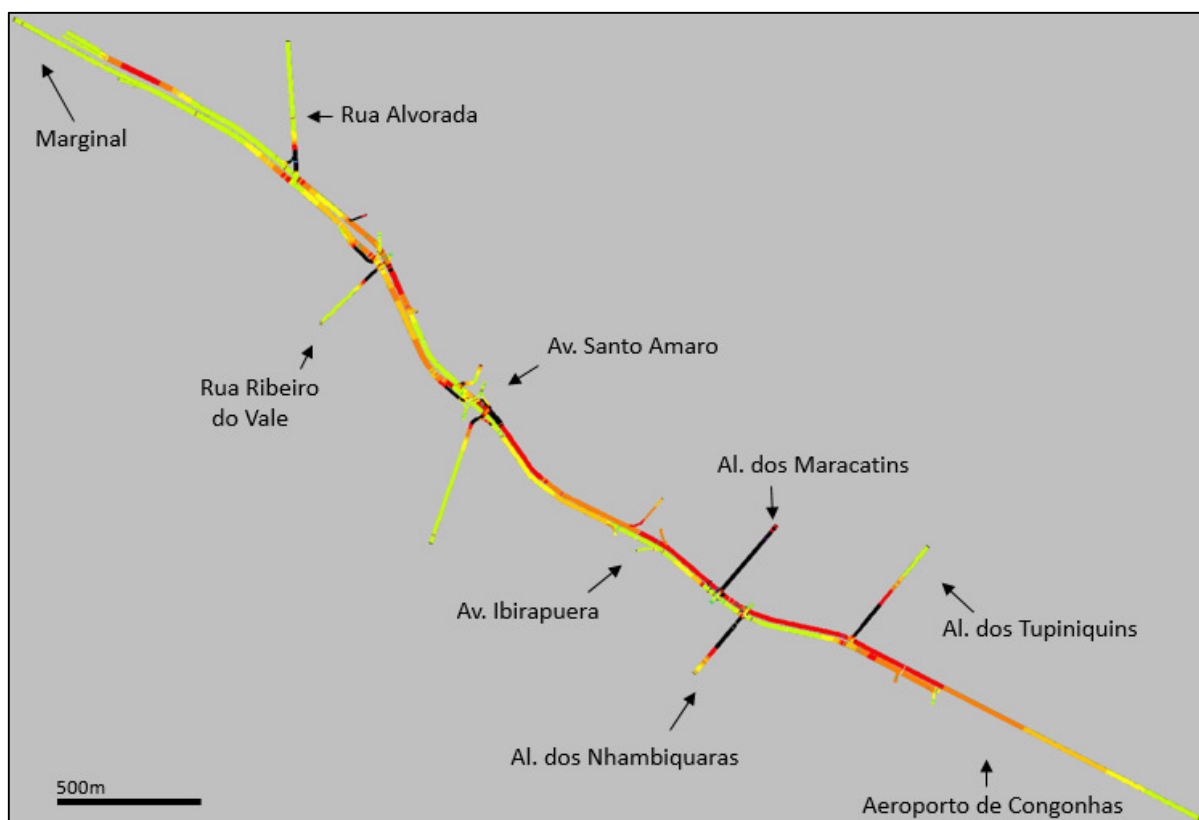


Figura 6.23 – Distribuição de velocidades médias no cenário atual simulado.

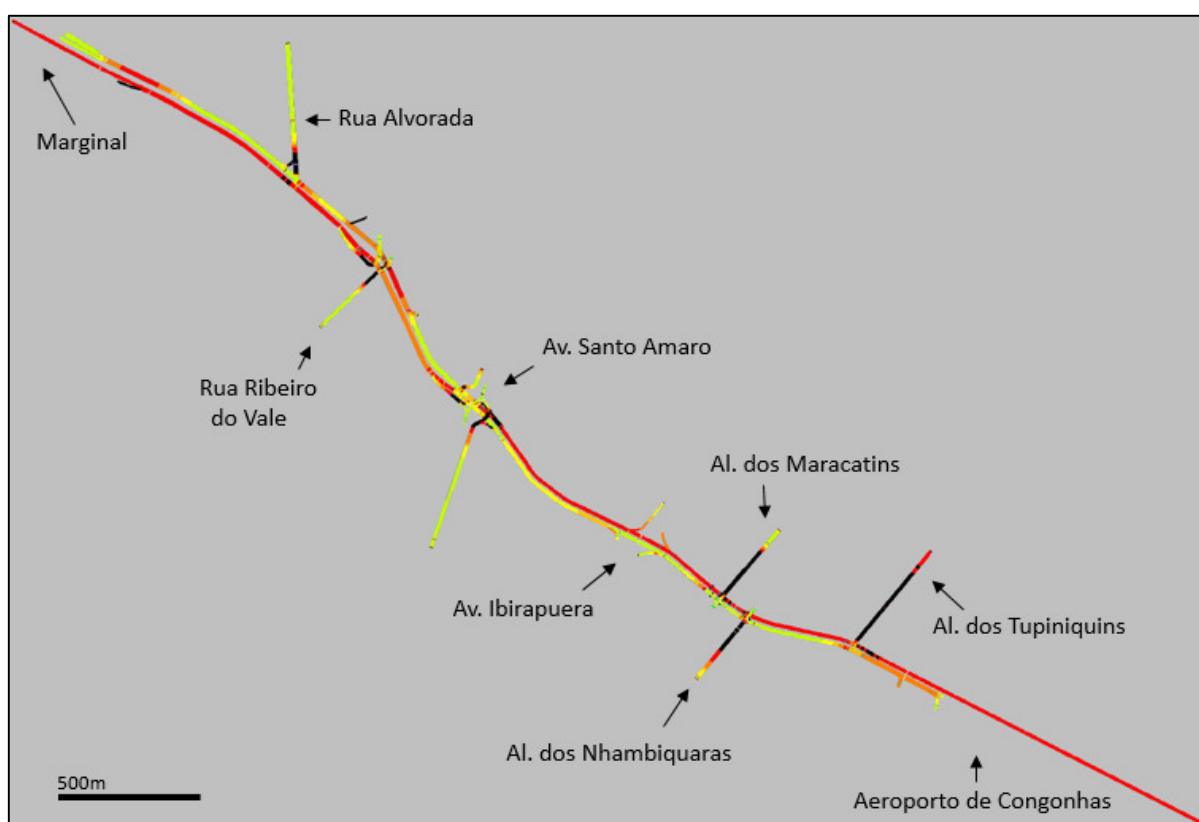


Figura 6.24 – Distribuição de velocidades médias no cenário futuro um.

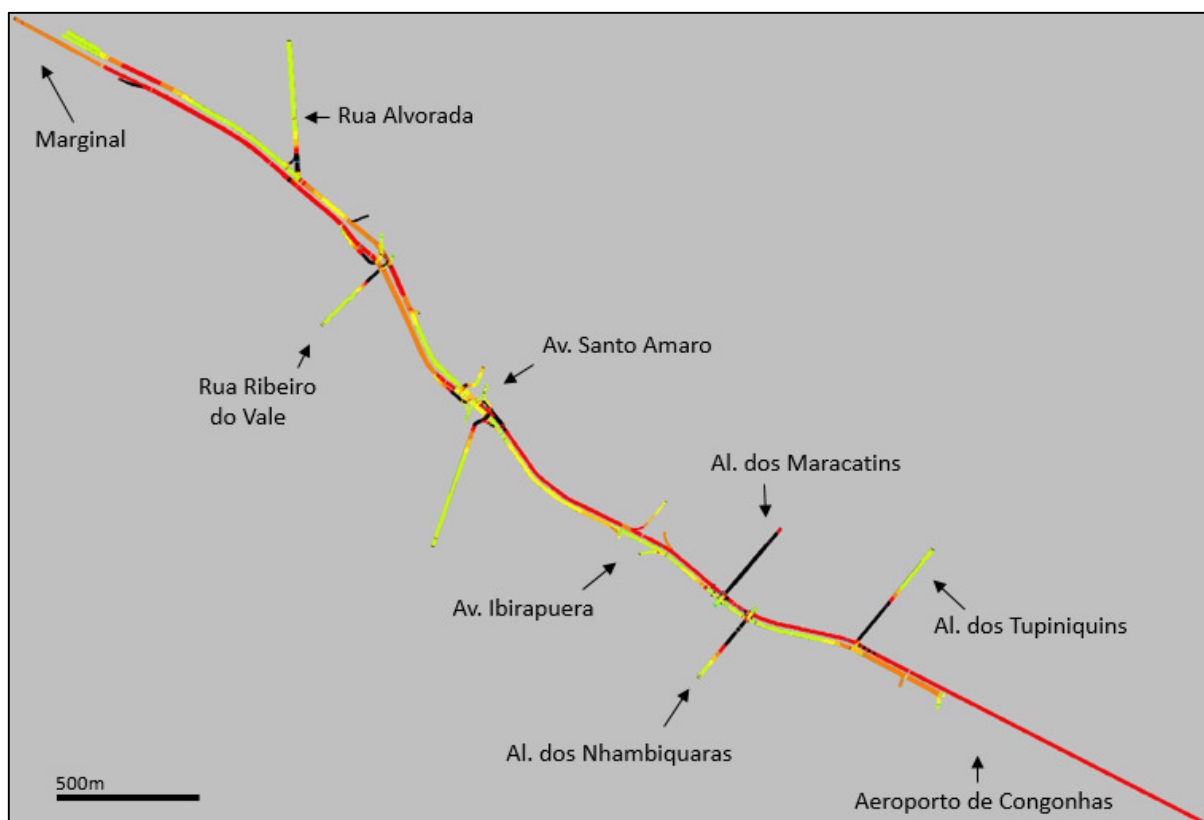


Figura 6.25 – Distribuição de velocidades médias no cenário futuro dois.

#### 6.7.4 Performance da rede

Os resultados de performance da rede, os quais também inclui todos os tipos de atrasos gerados, são mostrados na tabela 6.14 e na tabela 6.15.

| CENÁRIO                | SpeedAvg (km/h) | DistTot (km) | TravTmTot (h) | StopsAvg | StopsTot | VehAct  | VehArr   |
|------------------------|-----------------|--------------|---------------|----------|----------|---------|----------|
| Cenário Atual Simulado | 23,4            | 40.767,1     | 1.751,1       | 3,4      | 54.716,4 | 2.181,0 | 13.874,2 |
| Cenário Futuro Um      | 16,6            | 33.384,0     | 2.011,6       | 5,9      | 84.378,2 | 2.221,6 | 12.011,8 |
| Cenário Futuro Dois    | 17,5            | 33.336,5     | 1.904,7       | 5,7      | 80.315,6 | 2.118,6 | 11.893,2 |

Tabela 6.14 – Resultados de performance da rede para os diferentes cenários analisados.

| CENÁRIO                | DelayAvg (s) | DelayStopAvg (s) | DelayTot (h) | DelayStopTot (h) | DelayLatent (h) | Delay Global (h) | Demand Latent |
|------------------------|--------------|------------------|--------------|------------------|-----------------|------------------|---------------|
| Cenário Atual Simulado | 209,2        | 85,5             | 933,6        | 381,4            | 17,5            | 951,1            | 130,2         |
| Cenário Futuro Um      | 338,6        | 111,9            | 1.338,7      | 442,3            | 960,2           | 2.298,9          | 2.204,8       |
| Cenário Futuro Dois    | 316,9        | 101,6            | 1.233,2      | 395,4            | 574,1           | 1.807,3          | 1.515,0       |

Tabela 6.15 - Resultados de atrasos para os diferentes cenários analisados.

Segundo a PTV (2015), os dados de performance da rede que saem como *output* do software são os seguintes:

- SpeedAvg (km/h): velocidade média dos veículos que estão na rede ou que já passaram por ela;
- DistTot (km): distância total percorrida pelos veículos que estão na rede ou que já passaram por ela;

- TravTmTot (h): tempo total de viagem dos veículos que estão na rede ou que já passaram por ela;
- StopsAvg: número médio de paradas dos veículos que estão na rede ou que já passaram por ela;
- StopsTot: total de paradas dos veículos que estão na rede ou que já passaram por ela;
- VehAct: número total de veículos que estão na rede no fim da simulação;
- VehArr: número total de veículos que completaram suas rotas;
- DelayAvg (h): tempo de atraso médio dos veículos que estão na rede ou que já passaram por ela;
- DelayStopsAvg (h): tempo médio em que os veículos que estão na rede ou que já passaram por ela ficaram parados;
- DelayTot (h): tempo de atraso total dos veículos que estão na rede ou que já passaram por ela;
- DelayStopsTot (h): tempo total em que os veículos que estão na rede ou que já passaram por ela ficaram parados;
- DelayLatent (h): tempo de atraso total dos veículos que não conseguiram entrar na rede;
- DemandLatent: número total de veículos que não conseguiram entrar na rede;
- Delay Global (h): coluna acrescentada pelos autores, a qual soma a coluna DelayTot e a coluna DelayLatent.

Com base nesses resultados, se verifica uma queda de velocidade média da rede da ordem de 29%, a qual passa de 23,4 km/h no cenário atual para 16,6 km/h no cenário futuro um. No cenário futuro dois, a velocidade média é de 17,5 km/h, que resulta em uma queda de 25%.

Também se nota um aumento no número de paradas que cada veículo sofre ao longo de sua rota, valor que chega quase a seu dobro quando se compara o cenário atual com os cenários futuros. Os tempos de viagem também sofrem aumentos.

O atraso é caracterizado como a diferença entre o tempo de viagem de o veículo em um trecho e o tempo de viagem do veículo nesse mesmo trecho caso o trecho estivesse livre, isto é, se o usuário pudesse percorrer aquele trecho com a

velocidade desejada. No cenário futuro um se nota um aumento de 62% no atraso médio de cada veículo, o qual passa de 209,2 s para 338,6 s. Ainda considerando esse indicador, o cenário futuro dois apresenta um atraso médio de 316,9 s, resultado próximo do cenário um.

No cenário futuro um, aproximadamente 2200 veículos não conseguiram entrar na simulação, gerando um atraso latente de 960 horas, o que já é maior do que o atraso global do cenário atual. O atraso global neste cenário é de 2.298,9 horas, o qual é da ordem de 140% maior do que o atraso global do cenário atual. No cenário futuro dois apresenta um resultado melhor: aproximadamente 1.500 veículos não conseguem entrar na rede e o atraso global observado é de 1.807 horas.

## **6.8 Limitações e simplificações do modelo**

### **6.8.1 Limite de representação do modelo**

Por se tratar de um modelo, é impossível que o mesmo represente exatamente o que irá ocorrer na realidade. Uma das principais dificuldades que se encontra em microsimulação é o fato de os modelos representarem apenas uma porção da rede real, já que possuem uma extensão finita. Assim sendo, não é possível se modelar diretamente a influência das ruas que não puderam ser incluídas no modelo, nessas regiões próximas à borda da rede modelada.

Uma das limitações do trabalho foi o fato de não ter se modelado diretamente as ruas adjacentes de menor volume de tráfego. Além da ausência de dados de contagem de quantos veículos entram e saem dessas ruas no horário simulado, a representação das mesmas traria uma grande complexidade ao modelo: aumentaria, e muito, a quantidade de rotas a serem configuradas e o tempo que seria gasto para sua calibração, o que seria impeditivo quanto ao prazo deste trabalho. Portanto, se trabalhou apenas com as ruas adjacentes de maior volume de tráfego e com dados conhecidos, conforme indicadas pela figura 6.17.

Como não se pode representar no modelo a malha viária adjacente, os veículos não encontravam resistência nenhuma quando se aproximavam das regiões de saída da rede, e nenhum congestionamento era gerado. Para representar o congestionamento observado nas medições se fez necessária a inclusão de áreas de redução de velocidade, as quais tiveram a função de gerar gargalos e simular no

modelo o efeito do congestionamento causado pelas vias adjacentes e que não puderam ser modeladas.

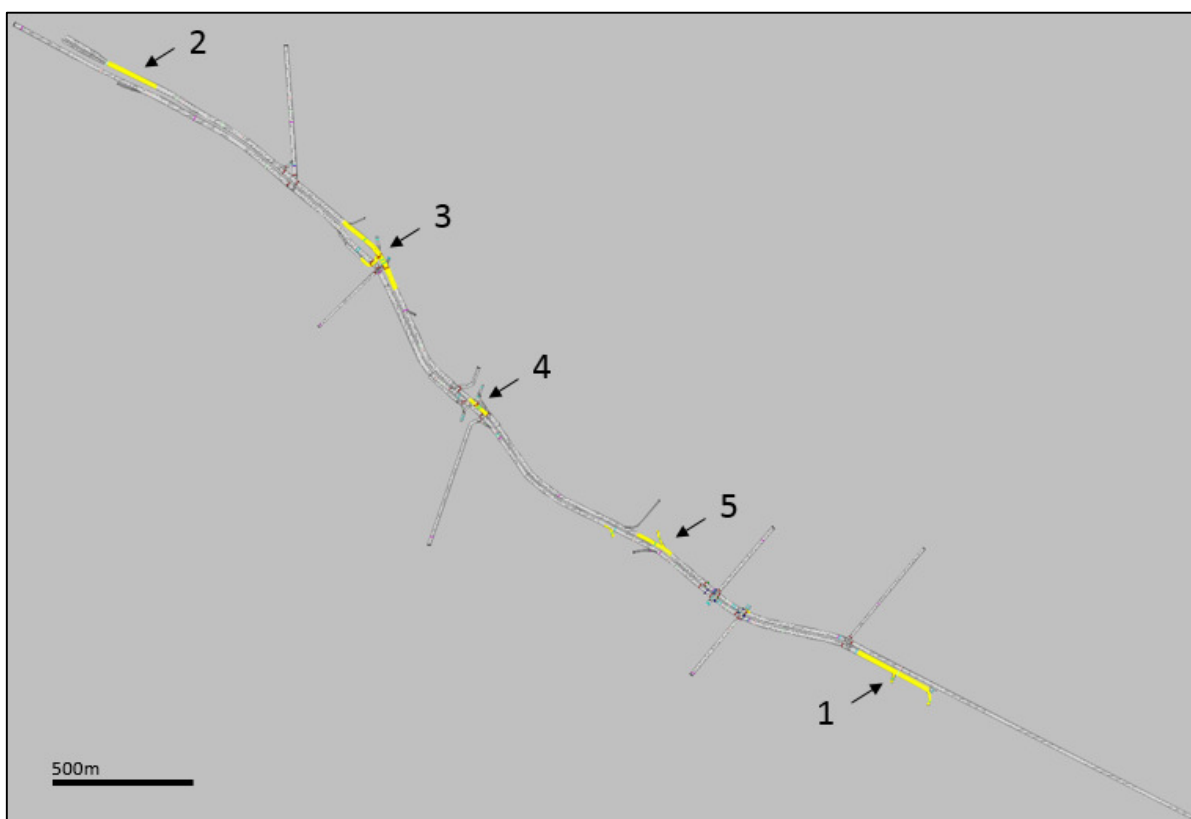


Figura 6.26 – Localização das áreas de redução de velocidade utilizadas no modelo.

Como o sentido Marginal – Anchieta apresentava uma boa fluidez no período simulado, com uma média de velocidade de aproximadamente 40 km/h durante o seu percurso, conseguiu-se calibrar os três primeiros trechos sem a necessidade dessas áreas de redução, os quais apresentaram valores muito próximos aos observados em campo. A utilização da área de redução foi necessária apenas no seu trecho final, com a intenção de representar a continuação da via que está fora da área do modelo. Esta área de redução de velocidade está indicada pelo número 1 na figura 6.26.

O sentido Anchieta – Marginal é o mais congestionado no horário simulado, onde as velocidades médias medidas dos trechos 3 e 4 são de apenas 14,3 km/h e 9 km/h, respectivamente. Assim, adicionou-se zonas de redução de velocidade no final de cada trecho, os quais coincidiam com cruzamentos ou conversões importantes (Av. Ibirapuera, Av. Santo Amaro, Rua Ribeiro do Vale e Marginal Pinheiros). Estas áreas de redução de velocidades estão indicadas pelos números 2, 3, 4 e 5 na figura 6.26.

As curvas de distribuição de velocidades utilizadas em cada área de redução de velocidade se encontram no apêndice C deste trabalho.

### **6.8.2 União da pista local e expressa**

Outra simplificação adotada foi a junção das pistas locais e expressas da avenida, as quais estão presentes em algumas partes dos trechos 1 e 2. Nos outros trechos e em partes dos trechos 1 e 2 a avenida segue em uma pista única.

Inicialmente as vias estavam modeladas conforme a realidade, mas, ao se rodar as simulações, se encontrou uma dificuldade enorme em fazer com que ambas as pistas tivessem uma ocupação uniforme ao longo da simulação. Utilizando os dados de contagem coletados, a pista local congestionava muito rapidamente, e os veículos seguindo suas rotas pré-programadas continuavam tentando seguir pela via congestionada, enquanto a pista expressa se apresentava muito mais livre para o tráfego.

Esse comportamento não é compatível com a realidade, onde os motoristas tendem a seguir pela rota menos congestionada e fazem com que haja um determinado equilíbrio entre as duas pistas. Mesmo que se desconsiderasse a proporção observada nos dados colhidos e se chegasse a uma proporção de equilíbrio entre as duas pistas na situação sem o corredor, quando se retirasse uma faixa da pista expressa para simular a situação com o corredor, o equilíbrio seria novamente quebrado. Diante dessas dificuldades, se optou pela união das faixas das pistas locais e expressa em uma única pista.

### **6.8.3 Mudanças realizadas na via após a coleta de dados em campo**

Desde o momento da coleta de dados em campo realizados pela CET e pela SPTrans, os quais foram realizados em 2013, foram realizadas algumas mudanças na via em estudo, das quais se destacam:

- Construção do cruzamento com a Alameda Vicente Pinzon:  
A Al. Vicente Pinzon, a qual anteriormente fornecia acesso apenas ao sentido Anchieta – Marginal da Av. dos Bandeirantes, passou a oferecer acesso à ambos os sentidos da via, por meio de um cruzamento semaforizado. O cruzamento foi implantado no início de 2015.
- Inclusão de mais uma faixa na pista local da Av. dos Bandeirantes:

Em partes do trecho 1, onde a avenida está dividida em pista local e expressa, a pista local, a qual anteriormente contava com duas faixas, passou a ter 3 faixas. Não houve mudanças na geometria da via, apenas diminuiu-se a largura de cada faixa para que se coubesse a faixa adicional. A mudança também foi implantada no início de 2015.

- Diminuição da velocidade máxima da via:  
Após o dia 31 de agosto de 2015, a velocidade máxima permitida na via foi reduzida de 60 km/h para 50 km/h.

Como a coleta de dados foi realizada anteriormente a essas mudanças, o modelo também não poderia representá-las, já que isso invalidaria sua devida calibragem.

#### **6.8.4 Reorganização do tráfego e mudanças de trajeto**

O modelo também não leva em conta a reorganização do tráfego nas ruas lindeiras, ou ainda, o motorista que escolherá outro trajeto ou decidirá esperar, caso veja em noticiários, rádio ou internet que a via se encontra congestionada em um nível que não seja aceitável para ele.



## **7 ANÁLISE ECONÔMICA**

Com a alteração do tempo de percurso a ser realizado pelo motorista na via, seu custo total de realizar esta viagem será alterado. Neste tópico serão realizadas avaliações de ordem econômica para mensurar as consequências da implantação do empreendimento no meio como um todo, contemplando não só o custo para o motorista da via, mas como também da implantação, desapropriações, qualidade do ar e custos indiretos de capital.

No intuito de realizar a comparação entre indicadores de impacto econômico do investimento a ser realizado, o procedimento costumeiro é transformar alguns desses indicadores em dinheiro, ou seja, faz-se a precificação destes valores. Existem diversos métodos de análise econômica que estimam o valor de diversos atributos como: consumo de combustível, custos de oportunidade, depreciação de pneus, óleo do motor, emissão de poluentes, entre outros. Para este estudo, foram analisados o custo de oportunidade, consumo de combustível e emissão de poluentes.

A seguir serão apresentados conceitos, abordagens e os resultados nos quais se chegou com a análise econômica do corredor.

### **7.1 Custos indiretos - custo de oportunidade**

Os primeiros estudos sobre custo de oportunidade resultam de estudos de pesquisadores de Teoria Econômica, datada do século XX. O custo de oportunidade é um conceito das Ciências Econômicas, diretamente relacionado com o princípio que considera que os recursos (capital, mão de obra, recursos da natureza e tecnologia) sempre são escassos, pois sempre são insuficientes para satisfazer todas as necessidades da sociedade como um todo.

Na prática, enquanto o motorista está parado no trânsito somando minutos à parcela ‘tempo de atraso’, ele poderia estar, por exemplo, adquirindo bens de consumo, o que geraria circulação e giro de capital na economia, ou mesmo trabalhando ou dedicando tempo a sua família.

Segundo pesquisas do metrô de São Paulo (2014), o custo de oportunidade para os usuários de ônibus e de automóvel na cidade é o mostrado na tabela 7.1.

| Motivo              | Trabalho   | Negócios   | Outros     | Média      |
|---------------------|------------|------------|------------|------------|
|                     | R\$ / Hora | R\$ / Hora | R\$ / Hora | R\$ / Hora |
| Ônibus              | 2,97       | 11,5       | 2,97       | 4,29       |
| Automóvel           | 7,29       | 28,28      | 7,29       | 10,54      |
| Fator de Ponderação | 0,636      | 0,155      | 0,208      |            |

Tabela 7.1 - Valor do tempo em transporte considerado para os usuários de ônibus e automóveis.  
Fonte: Metrô de São Paulo (2014)

A partir dos tempos de atraso global fornecidos pelo VISSIM, foram obtidas as diferenças entre os atrasos dos cenários futuros e do cenário atual simulado, indicando o tempo a mais que seria perdido no tráfego por todos os usuários da via, no período simulado.

Multiplicando essa diferença pelo custo de oportunidade dos motoristas e dos usuários de ônibus que utilizam a via e considerando a composição da frota, assim como a quantidade de ocupantes que há em cada veículo, se chegou nos custos indicados na tabela 7.2. Como não se encontrou um valor horário para os caminhoneiros, foi adotado o mesmo custo de oportunidade dos motoristas de automóveis.

| CENÁRIO                | Delay Global (h) | Custo de oportunidade | Dif. para o Cenário Atual | Dif. para o Cenário Atual |
|------------------------|------------------|-----------------------|---------------------------|---------------------------|
| Cenário Atual Simulado | 951,1            | R\$ 17.292,74         | -                         | -                         |
| Cenário Futuro Um      | 2.298,9          | R\$ 41.796,69         | R\$ 24.503,95             | 141,7%                    |
| Cenário Futuro Dois    | 1.807,3          | R\$ 32.860,16         | R\$ 15.567,42             | 90,0%                     |

Tabela 7.2 – Custo de oportunidade total observado no período de 1 hora, para os diferentes cenários.

De acordo com a CET (2011), a média de ocupantes em cada carro na cidade de São Paulo é de 1,4 pessoas, tendo-se adotado também, para os cálculos apresentados anteriormente, uma ocupação média de 45 passageiros em cada ônibus dentro do período de pico.

## 7.2 Custos advindos dos veículos

A segunda parcela dos custos refere-se a custos relacionados aos próprios meios de transporte, como o consumo de combustível e a emissão de poluentes.

Esses custos foram estimados a partir de estudo realizado pelo Ipea (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada) e pela ANTP (Associação Nacional de

Transportes Públicos), que quantifica esses elementos de acordo com a velocidade média do veículo. Também foi empregada uma metodologia utilizada por Cintra (2014), em um estudo sobre os custos gerados com os congestionamentos em São Paulo.

### 7.2.1 Consumo de combustível

De acordo com o Ipea e ANTP (1999), o consumo de combustíveis de automóveis e ônibus seguem as funções indicadas no gráfico 7.1 e no gráfico 7.2, respectivamente.

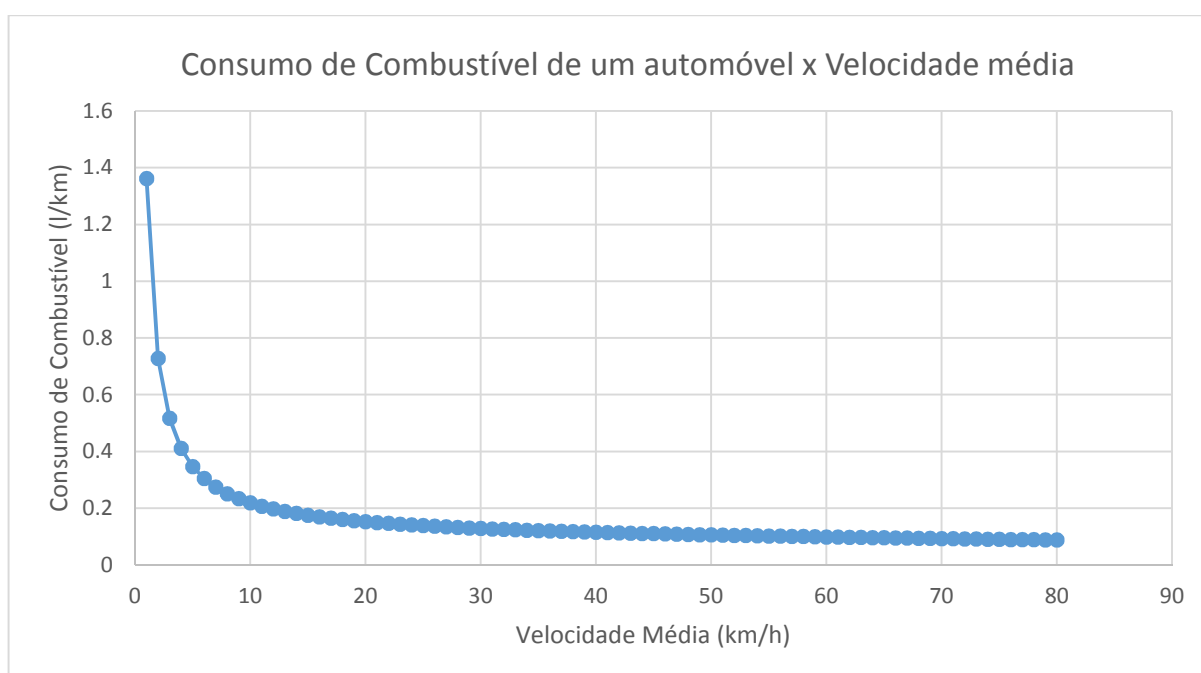


Gráfico 7.1 - Consumo de Combustível de automóveis (l/km) x velocidade média (km/h)  
Fonte: Ipea e ANTP (1999)

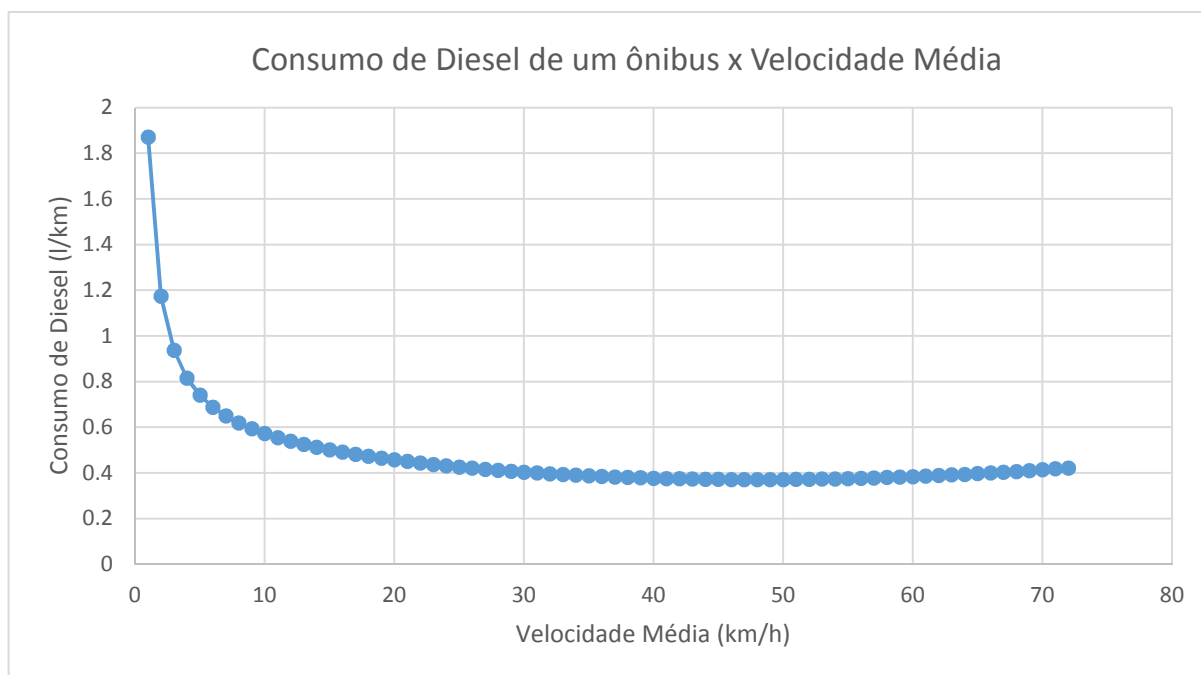


Gráfico 7.2 - Consumo de Diesel (l/km) x velocidade média (km/h)  
Fonte: Ipea e ANTP (1999)

Os gráficos foram construídos a partir das seguintes fórmulas:

- Automóveis:

$$C = 0,09543 + 1,26643 / V - 0,00029 \times V \quad (1)$$

- Ônibus:

$$C = 0,44428 + 0,00008 \times V^2 - 0,00708 V + 1,37911 / V + 0,00107 L \quad (2)$$

Onde  $V$  é a velocidade média do veículo em km/h,  $C$  é o consumo de combustível em l/km e  $L$  o número de passageiros transportados pelo ônibus.

Como não foram encontrados valores de consumo de combustível para os caminhões, foi utilizado o valor do ônibus carregado com 60 passageiros. Este carregamento também foi utilizado para os ônibus e os dois tipos de veículos foram calculados juntos.

O preço médio do combustível praticado no Brasil em novembro de 2015, segundo a ANP, é de R\$ 3,449 para o litro da gasolina, e de R\$ 2,902 para o preço do diesel, os quais foram utilizados para se chegar nos resultados.

A metodologia utilizada foi a seguinte: a partir das velocidades médias em cada trecho se utilizou as equações fornecidas para se chegar a um consumo em l/km naquele trecho. Com o comprimento do mesmo, se chegou a uma quantidade

de combustível consumido e, com o preço do combustível, se chegou ao valor gasto por cada veículo em cada um dos trechos.

Somando-se estes valores e multiplicando o resultado pelo número médio de veículos que passaram pelo sentido (adotada a média de veículos que passaram nas seções A e B ao longo da simulação), chegou-se a um valor total por sentido. Somando-se então os valores de cada sentido, se obteve o valor total de combustível consumido ao longo da hora de simulação.

A tabela 7.3 ilustra as etapas de cálculo para o cenário atual simulado.

| Gastos com combustíveis - Cenário atual simulado - Sentido Marginal - Anchieta |                         |                  |                               |                    |              |                    |
|--------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|------------------|-------------------------------|--------------------|--------------|--------------------|
| Trecho                                                                         | Velocidade média (km/h) | Comprimento (km) | Consumo (l/km)                |                    | Gastos (R\$) |                    |
|                                                                                |                         |                  | Automóveis                    | Caminhões e ônibus | Automóveis   | Caminhões e ônibus |
| 1                                                                              | 44,1                    | 1,02             | 0,11                          | 0,38               | R\$ 0,39     | R\$ 1,13           |
| 2                                                                              | 29,3                    | 0,79             | 0,13                          | 0,42               | R\$ 0,35     | R\$ 1,23           |
| 3                                                                              | 46,0                    | 0,78             | 0,11                          | 0,38               | R\$ 0,29     | R\$ 1,13           |
| 4                                                                              | 39,5                    | 1,07             | 0,12                          | 0,39               | R\$ 0,43     | R\$ 1,15           |
| Número médio de veículos que passam pelo sentido: 4189                         |                         |                  | Total para um veículo:        |                    | R\$ 1,47     | R\$ 4,65           |
|                                                                                |                         |                  | Total para todos os veículos: |                    | R\$ 5.948,70 | R\$ 655,24         |
|                                                                                |                         |                  | Total para o Sentido:         |                    | R\$ 6.603,94 |                    |

| Gastos com combustíveis - Cenário atual simulado - Sentido Anchieta - Marginal |                         |                  |                               |                    |              |                    |
|--------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|------------------|-------------------------------|--------------------|--------------|--------------------|
| Trecho                                                                         | Velocidade média (km/h) | Comprimento (km) | Consumo (l/km)                |                    | Gastos (R\$) |                    |
|                                                                                |                         |                  | Automóveis                    | Caminhões e ônibus | Automóveis   | Caminhões e ônibus |
| 1                                                                              | 34,6                    | 1,02             | 0,12                          | 0,40               | R\$ 0,43     | R\$ 1,18           |
| 2                                                                              | 28,1                    | 0,79             | 0,13                          | 0,42               | R\$ 0,36     | R\$ 1,25           |
| 3                                                                              | 14,1                    | 0,78             | 0,18                          | 0,52               | R\$ 0,49     | R\$ 1,55           |
| 4                                                                              | 12,9                    | 1,07             | 0,19                          | 0,54               | R\$ 0,70     | R\$ 1,59           |
| Número médio de veículos que passam pelo sentido: 4126                         |                         |                  | Total para um veículo:        |                    | R\$ 1,98     | R\$ 5,57           |
|                                                                                |                         |                  | Total para todos os veículos: |                    | R\$ 7.885,18 | R\$ 772,86         |
|                                                                                |                         |                  | Total para o Sentido:         |                    | R\$ 8.658,05 |                    |

|                   |  |  |               |  |
|-------------------|--|--|---------------|--|
| Total no período: |  |  | R\$ 15.261,98 |  |
|-------------------|--|--|---------------|--|

Tabela 7.3 – Cálculo do valor gasto em combustível ao longo da hora simulada, para o cenário atual simulado.

Foi aplicada a mesma metodologia para os outros cenários; os resultados, assim como a comparação dos gastos com o cenário atual, se encontram sumarizados na tabela 7.4.

Apesar de menos veículos passarem pelas seções no cenário com o corredor, já que os sentidos se encontram mais congestionados, foram considerados que todos os veículos irão passar pelo trecho, independente se isso ocorreu fora da hora simulada. Para isso, se considerou o mesmo número médio de veículos que passam pelo sentido do cenário atual para o cálculo do cenário futuro um e esse número minorado em 5% para o cálculo do cenário futuro dois.

| CENÁRIO                | Custo de combustível | Dif. para o Cenário Atual | Dif. para o Cenário Atual |
|------------------------|----------------------|---------------------------|---------------------------|
| Cenário Atual Simulado | R\$ 15.261,98        | -                         | -                         |
| Cenário Futuro Um      | R\$ 17.038,32        | R\$ 1.776,33              | 11,6%                     |
| Cenário Futuro Dois    | R\$ 16.034,34        | R\$ 772,35                | 5,1%                      |

Tabela 7.4 – Resultados dos gastos com combustíveis em todos os cenários e comparação com o cenário atual.

### 7.2.2 Emissão de poluentes

Apesar dos incentivos e pesquisas para a redução da emissão de poluentes advinda da combustão de diesel e gasolina de motores, ainda se polui muito acima do desejado, provocando problemas respiratórios a longo prazo, além de indiretamente stress e mal-estar durante o período de congestionamento.

Segundo o World Health Statistics (2014), em março do mesmo ano, cerca de 3,7 milhões de pessoas vieram a óbito, no mundo, por fatores relacionados à poluição ambiental.

Os principais agentes de contaminação, nos grandes centros urbanos, são as emissões originárias de parques industriais instalados (indústrias, refinarias, termoelétricas, etc.) e veículos automotores movidos à combustão, sendo esse último item o foco da discussão.

Os coeficientes de emissão de poluentes variam bastante em função das condições dos combustíveis e dos veículos dos quais aqueles são emitidos. O estudo concentrou-se na emissão de três poluentes considerados mais prejudiciais à saúde humana:

- Hidrocarbonetos: HC;
- Monóxido de Carbono: CO;
- Óxidos de Nitrogênio: NOx.

De acordo com o Ipea e ANTP (1999), as emissões de gases por automóveis e ônibus de acordo com sua velocidade média seguem as equações abaixo:

- Automóveis:

- Emissão de hidrocarbonetos:

$$\text{HC (g/km)} = -0,28 + 62,48 / V \quad (3)$$

- Emissão de óxido de nitrogênio

$$\text{NOx (g/km)} = 1,03 + 7,477 \times 10^{-5} \times V^2 \quad (4)$$

- Emissão de monóxido de carbono

$$\text{CO (g/km)} = -4,51 + 727 / V + 1,34 \times 10^{-3} \times V^2 \quad (5)$$

- Ônibus

- Emissão de hidrocarbonetos:

$$\text{HC (g/km)} = 14,14 - 3,67 \ln V \quad (6)$$

- Emissão de óxido de nitrogênio

$$\text{CO (g/km)} = 43,34 - 8,98 \ln V \quad (7)$$

- Emissão de monóxido de carbono

$$\text{NOx (g/km)} = 37,21 - 6,46 \ln V \quad (8)$$

De acordo com o Metrô de São Paulo (2014), o custo unitário da emissão de cada um desses poluentes é a seguinte:

| Poluente | R\$/Kg |
|----------|--------|
| CO       | 0,738  |
| HC       | 3,268  |
| NOx      | 3,778  |

Tabela 7.5 – Custo unitário da emissão de poluentes.  
Fonte: Metro de São Paulo (2014)

A metodologia utilizada para o cálculo do custo das emissões foi parecida com a do custo dos combustíveis: a partir das velocidades médias em cada trecho se utilizou as equações fornecidas para se chegar a uma emissão em g/km naquele trecho. Com o comprimento do mesmo se chegou a uma quantidade de gás emitido

e, com o custo dos poluentes, se chegou ao valor gasto por cada veículo em cada um dos trechos.

Somou-se então estes valores e o resultado foi multiplicado pelo número médio de veículos que passaram pelo sentido (adotado a média de veículos que passaram nas seções A e B ao longo da simulação), resultando em um valor total da emissão de um determinado gás para um sentido.

Somando-se os valores de cada gás para cada sentido, obteve-se o valor total de emissões ao longo da hora de simulação. A tabela 7.6 ilustra as etapas de cálculo para a emissão de CO no cenário atual simulado.

| Emissão de CO - Cenário atual simulado - Sentido Marginal - Anchieta |                         |                  |                               |                    |              |                    |
|----------------------------------------------------------------------|-------------------------|------------------|-------------------------------|--------------------|--------------|--------------------|
| Trecho                                                               | Velocidade média (km/h) | Comprimento (km) | Emissão (g/km)                |                    | Gastos (R\$) |                    |
|                                                                      |                         |                  | Automóveis                    | Caminhões e ônibus | Automóveis   | Caminhões e ônibus |
| 1                                                                    | 44,1                    | 1,02             | 14,58                         | 9,34               | R\$ 0,011    | R\$ 0,007          |
| 2                                                                    | 29,3                    | 0,79             | 21,45                         | 13,01              | R\$ 0,013    | R\$ 0,008          |
| 3                                                                    | 46,0                    | 0,78             | 14,13                         | 8,96               | R\$ 0,008    | R\$ 0,005          |
| 4                                                                    | 39,5                    | 1,07             | 15,99                         | 10,33              | R\$ 0,013    | R\$ 0,008          |
| Número médio de veículos que passam pelo sentido: 4189               |                         |                  | Total para um veículo:        |                    | R\$ 0,044    | R\$ 0,028          |
|                                                                      |                         |                  | Total para todos os veículos: |                    | R\$ 179,09   | R\$ 3,94           |
|                                                                      |                         |                  | Total para o Sentido:         |                    | R\$ 183,02   |                    |
| Emissão de CO - Cenário atual simulado - Sentido Anchieta - Marginal |                         |                  |                               |                    |              |                    |
| Trecho                                                               | Velocidade média (km/h) | Comprimento (km) | Emissão (g/km)                |                    | Gastos (R\$) |                    |
|                                                                      |                         |                  | Automóveis                    | Caminhões e ônibus | Automóveis   | Caminhões e ônibus |
| 1                                                                    | 34,6                    | 1,02             | 18,13                         | 11,53              | R\$ 0,014    | R\$ 0,009          |
| 2                                                                    | 28,1                    | 0,79             | 22,42                         | 13,39              | R\$ 0,013    | R\$ 0,008          |
| 3                                                                    | 14,1                    | 0,78             | 47,44                         | 19,60              | R\$ 0,027    | R\$ 0,011          |
| 4                                                                    | 12,9                    | 1,07             | 51,92                         | 20,35              | R\$ 0,041    | R\$ 0,016          |
| Número médio de veículos que passam pelo sentido: 4126               |                         |                  | Total para um veículo:        |                    | R\$ 0,095    | R\$ 0,044          |
|                                                                      |                         |                  | Total para todos os veículos: |                    | R\$ 384,665  | R\$ 6,178          |
|                                                                      |                         |                  | Total para o Sentido:         |                    | R\$ 390,84   |                    |
|                                                                      |                         |                  | Total no período:             |                    | R\$ 573,87   |                    |

Tabela 7.6 – Cálculo do custo das emissões de CO ao longo da hora simulada, para o cenário atual simulado.

Ainda no cenário atual, se repetirmos o processo utilizado para o cálculo do CO para o cálculo de HC e NOx, e somarmos esses valores, chegaremos à um



custo da hora simulada de R\$ 977,98. Se repetirmos o processo para os outros cenários, chegaremos nos valores indicados na tabela 7.7.

| CENÁRIO                | Custo das emissões | Dif. para o Cenário Atual | Dif. para o Cenário Atual |
|------------------------|--------------------|---------------------------|---------------------------|
| Cenário Atual Simulado | R\$ 977,98         | -                         | -                         |
| Cenário Futuro Um      | R\$ 1.232,93       | R\$ 254,95                | 26,1%                     |
| Cenário Futuro Dois    | R\$ 1.138,29       | R\$ 160,32                | 16,4%                     |

Tabela 7.7 - Resultados dos gastos com emissões em todos os cenários e comparação com o cenário atual.

### 7.3 Custo Global

A partir dos resultados coletados nos itens anteriores, chega-se a um custo global do sistema, composto pela soma do custo de oportunidade, dos combustíveis e da emissão de poluentes. Tal soma é sumarizada pela tabela 7.8, assim como as diferenças em relação ao cenário atual simulado.

| CENÁRIO                | Custo total   | Dif. para o Cenário Atual | Dif. para o Cenário Atual |
|------------------------|---------------|---------------------------|---------------------------|
| Cenário Atual Simulado | R\$ 33.532,70 | -                         | -                         |
| Cenário Futuro Um      | R\$ 60.067,94 | R\$ 26.535,24             | 79,1%                     |
| Cenário Futuro Dois    | R\$ 50.032,79 | R\$ 16.500,09             | 49,2%                     |

Tabela 7.8 – Custos totais da hora simulada e diferenças para o cenário atual simulado.

Uma prática bastante comum é fazer uma análise diária e anual dos valores coletados a partir da hora de pico. Essa análise foi feita multiplicando-se o valor obtido na hora de pico simulada por seis, como se o custo total diário fosse representado por 6 horas de pico no dia (7h00-10h00 e 17h00-20h00). A tabela 7.9 exprime, por fim os custos totais diário e anual, considerando 264 dias úteis no ano.

| CENÁRIO                | Custo total diário | Custo total anual | Dif. para o Cenário Atual |
|------------------------|--------------------|-------------------|---------------------------|
| Cenário Atual Simulado | R\$ 201.196,19     | R\$ 53.115.795,13 | -                         |
| Cenário Futuro Um      | R\$ 360.407,64     | R\$ 95.147.617,74 | R\$ 42.031.822,61         |
| Cenário Futuro Dois    | R\$ 300.196,74     | R\$ 79.251.938,50 | R\$ 26.136.143,36         |

Tabela 7.9: Custos totais diário e anual e suas diferenças para o cenário simulado.

Assim, se considerarmos que o impacto do corredor sobre o tráfego é significativo apenas nas horas de pico, isto é, no restante do dia os veículos passariam pela via com as mesmas velocidades médias que passam no cenário

atual, os prejuízos anuais causados com a implantação do corredor são mostrados na última coluna da tabela 7.9.

Ainda é importante dizer que o cenário futuro um apresenta o resultado mais confiável. O cenário futuro dois apresenta um custo mais baixo pelo fato da velocidade média ser ligeiramente maior e os tempos de atrasos menores, quando comparados ao cenário futuro um. Porém, seus custos também são um pouco minorados simplesmente pelo fato de haver 5% menos carros nesse cenário, os quais se supôs que mudaram sua rota, horário ou aderiram à utilização do transporte público.

Para que esta análise fosse completa, deveria se conhecer quanto passaria a ser gasto nesse novo percurso, tanto em termos de dinheiro quanto de tempo. Esse percurso pode ser a utilização do corredor, mas também pode ser a opção por outro caminho que nem passe pelo trecho analisado. Assim, é difícil dizer qual seria o custo que essa demanda teria nos cenários futuros. Porém se observa que a diminuição do custo não é proporcional à diminuição de veículos: se simplesmente minorarmos em 5% o custo anual de R\$ 95 milhões do cenário um chegaríamos a um custo de aproximadamente R\$ 90 milhões, o qual é consideravelmente superior ao custo de R\$ 79 milhões do cenário futuro dois.

Isso se deve principalmente ao fato de a maior parcela do custo, que é o custo de oportunidade, aumentar em uma proporção maior do que o número de veículos entrando na rede, quando se aumenta este último em uma condição de saturação da via. Isso ocorre pelo fato de, com a via já saturada, a demanda a mais que passa por ela sofre um atraso bem maior do que sofreria caso a via estivesse livre, aumentando consideravelmente o atraso global gerado e assim o custo de oportunidade.

Para esses cálculos, também seria melhor que se houvesse realizado uma simulação para o período da tarde. Assim, ao invés de multiplicar os resultados por seis, se multiplicaria o resultado do pico da manhã por três e o da tarde por três e em seguida efetuar-se a soma entre esses valores, conferindo uma maior precisão aos resultados. Porém, isso não foi possível devido ao tempo disponível, o qual inviabilizou o trabalho necessário para a mudança dos tempos semafóricos e principalmente para a calibração do modelo do pico da tarde.

## 7.4 Benefícios

O foco desse trabalho está no prejuízo para os veículos particulares pelo impedimento do uso de uma faixa de rolamento em cada sentido no primeiro trecho do projeto. Apesar disso, é de conhecimento geral que a implantação do corredor também trará diversos benefícios para os passageiros dessas novas linhas criadas para trafegar no corredor e para a mobilidade da cidade como um todo. Uma verdadeira análise da viabilidade desse projeto deve incluir todos esses aspectos, de maneira a contemplar os custos a mais e as economias para a população afetada, além de discutir toda a interferência de um projeto dessa magnitude em toda a dinâmica de São Paulo.

No geral, os maiores prejudicados com o projeto BRT serão os usuários de automóveis particulares, devido principalmente ao congestionamento gerado. Os maiores beneficiados, em contrapartida, serão os passageiros de ônibus, que dependem da existência e da qualidade do transporte público em seu dia a dia. Certamente, a criação de novas linhas aumenta as opções de caminhos, e a estrutura segregada dos corredores diminuem o tempo de percurso e consequentemente a qualidade da viagem.

Uma estimativa desses benefícios pode ser feita baseada na economia de tempo dos usuários dessas novas linhas, e na diferença de custo para eles antes e depois da implantação do projeto. Mas a grande incógnita para essa comparação são os caminhos e modos de transporte que esses futuros usuários do corredor fazem hoje em dia para atingir seus destinos.

É de se esperar que a maioria dos usuários atualmente já depende ou prefere utilizar ônibus, mas por não haver dados a respeito de quais e quantas linhas de ônibus essas pessoas utilizam, de seus tempos suas viagens atuais e de quanto dinheiro gastam para tal, é complicado determinar os benefícios recebidos. Também não se sabe qual seria o benefício gerado pela conexão deste corredor com os diversos outros corredores de ônibus na cidade.

Os futuros usuários também podem ser motoristas que passam atualmente pela via, mas analisar economicamente também é difícil, já que também não se sabe de onde vem cada um deles e quanto tempo e dinheiro são gastos atualmente para realizarem seu percurso e quanto passaria a ser gasto utilizando o corredor de

ônibus. Seria necessária uma análise profunda da determinação da demanda a ser gerada por essas novas linhas, de uma pesquisa detalhada de Origem-Destino e de preferências de viagem.

A análise da melhoria da malha viária de ônibus é de grande complexidade, e demanda um olhar global sobre a cidade. Sendo assim, e reforçando que o foco do presente trabalho é a análise dos prejuízos do projeto, restringiu-se a mensuração dos benefícios por meio da comparação entre os tempos de viagem com e sem a implantação do corredor na Av. dos Bandeirantes. Essa estimativa grosseira de benefícios aos passageiros será usada apenas como primeira comparação com os prejuízos analisados, como complemento a este trabalho.

Assim, para fins de comparação superficial e considerando as limitações dos dados acumulados, foi decidido analisar os benefícios relacionados ao tempo de viagem e ao valor da hora dos passageiros. A hipótese seria, portanto, comparar o tempo que os futuros usuários dos ônibus levariam para fazer o seu trajeto com o corredor implantado com o tempo que os mesmos demorariam se não houvesse o corredor, quando o ônibus estaria submetido às velocidades médias observadas em campo.

#### **7.4.1 Cálculo do benefício**

Atualmente existe apenas uma linha de ônibus que passa pelo trecho, representada pela linha interurbana 190 - Taboão da Serra-Metro Conceição. Serão criadas duas novas linhas troncais no corredor, uma que percorre exatamente o trecho do corredor em estudo (linha troncal PPT 002, com frequência estimada de 6 veículos/h) e uma que percorre o corredor inteiro (linha troncal PPT 001, com frequência estimada de 15 veículos/h). Os veículos que serão utilizados na operação dessas linhas são ônibus articulados com capacidade para 129 passageiros.

A linha 190 atualmente possui demanda de 2015 passageiros por dia, por sentido (SPTrans, 2015). Como prática corrente no departamento de planejamento de transportes da EMTU, a demanda da hora de pico é considerada como 12% da demanda diária. Assim, a demanda diária das novas linhas será calculada a partir da frequência de passagens e da ocupação dos veículos adotada, na qual se considerou uma ocupação média de 80% nos períodos de pico, onde todos os assentos estão ocupados, e aproximadamente metade da ocupação em pé está

ocupada. O resultado da demanda total por sentido na hora-pico é mostrado na tabela 7.10.

| Demanda das três linhas de ônibus do corredor - Por sentido |                     |                     |                          |                              |
|-------------------------------------------------------------|---------------------|---------------------|--------------------------|------------------------------|
| Linha                                                       | Frequencia (veic/h) | Ocupação (pax/veic) | Demanda diária (pax/dia) | Demanda na hora pico (pax/h) |
| PPT 001                                                     | 15                  | 103,2               | -                        | 1.548,0                      |
| PPT 002                                                     | 6                   | 103,2               | -                        | 619,2                        |
| 190                                                         | -                   | -                   | 2015                     | 241,8                        |
|                                                             |                     |                     | Total:                   | 2.409,0                      |

Tabela 7.10 - Demanda total de passageiros de ônibus por sentido no Trecho I do corredor Bandeirantes.

Foi feita uma análise nos picos da manhã e da tarde para os dois sentidos, se comparando o tempo de viagem dessa demanda para percorrer o trecho atualmente e com corredor implantado. A diferença entre esses dois tempos foi considerada como o ganho de tempo para os usuários do futuro corredor.

Os dados de velocidades médias medidas nos trechos foram obtidas a partir da pesquisa de monitoramento da fluidez realizada pela CET (2014). Segundo a SPTrans (2015), a velocidade média esperada de operação deste corredor é de 23,9 km/h. Nos trechos em que a velocidade prevista para o corredor se mostrou menor do que a velocidade atual, o benefício foi desprezado.

Foi adotado como valor do tempo médio de usuários de ônibus o mesmo valor adotado para se calcular os malefícios do corredor, presente na tabela 7.1, de R\$ 4,29. Os cálculos dos benefícios relacionados ao tempo economizado pelo usuário com a implantação do projeto do corredor estão detalhados a seguir.

| Benefício econômico na hora pico da MANHÃ - Sentido Marginal - Anchieta |               |                    |                         |                |                     |
|-------------------------------------------------------------------------|---------------|--------------------|-------------------------|----------------|---------------------|
| Trecho                                                                  | Medido (km/h) | No corredor (km/h) | Extensão do trecho (km) | $\Delta t$ (h) | Benefício (R\$/pax) |
| 1                                                                       | 47,3          | 23,9               | 1,02                    | -              | -                   |
| 2                                                                       | 30,6          | 23,9               | 0,79                    | -              | -                   |
| 3                                                                       | 46,3          | 23,9               | 0,78                    | -              | -                   |
| 4                                                                       | 39,7          | 23,9               | 1,07                    | -              | -                   |
| Total:                                                                  |               |                    |                         | -              | -                   |

| Benefício econômico na hora pico da TARDE - Sentido Marginal - Anchieta |               |                    |                         |                  |                     |
|-------------------------------------------------------------------------|---------------|--------------------|-------------------------|------------------|---------------------|
| Trecho                                                                  | Medido (km/h) | No corredor (km/h) | Extensão do trecho (km) | $\Delta t$ (min) | Benefício (R\$/pax) |
| 1                                                                       | 5,9           | 23,9               | 1,02                    | 7,81             | 0,559               |
| 2                                                                       | 9,5           | 23,9               | 0,79                    | 3,01             | 0,215               |
| 3                                                                       | 19,4          | 23,9               | 0,78                    | 0,45             | 0,032               |
| 4                                                                       | 22,8          | 23,9               | 1,07                    | 0,13             | 0,009               |
| Total:                                                                  |               |                    |                         | 11,40            | 0,815               |

Tabela 7.11 – Cálculo do benefício econômico por passageiro nos dois períodos de pico do sentido Marginal – Anchieta.

| Benefício econômico na hora pico da MANHÃ - Sentido Anchieta - Marginal |               |                    |                         |                  |                     |
|-------------------------------------------------------------------------|---------------|--------------------|-------------------------|------------------|---------------------|
| Trecho                                                                  | Medido (km/h) | No corredor (km/h) | Extensão do trecho (km) | $\Delta t$ (min) | Benefício (R\$/pax) |
| 1                                                                       | 33,8          | 23,9               | 1,02                    | -                | -                   |
| 2                                                                       | 26,7          | 23,9               | 0,79                    | -                | -                   |
| 3                                                                       | 14,3          | 23,9               | 0,78                    | 1,31             | 0,094               |
| 4                                                                       | 9             | 23,9               | 1,07                    | 4,45             | 0,318               |
| Total:                                                                  |               |                    |                         | 5,76             | 0,412               |

| Benefício econômico na hora pico da TARDE - Sentido Anchieta - Marginal |               |                    |                         |                  |                     |
|-------------------------------------------------------------------------|---------------|--------------------|-------------------------|------------------|---------------------|
| Trecho                                                                  | Medido (km/h) | No corredor (km/h) | Extensão do trecho (km) | $\Delta t$ (min) | Benefício (R\$/pax) |
| 1                                                                       | 17,2          | 23,9               | 1,02                    | 1,00             | 0,071               |
| 2                                                                       | 38,5          | 23,9               | 0,79                    | -                | -                   |
| 3                                                                       | 29,6          | 23,9               | 0,78                    | -                | -                   |
| 4                                                                       | 32,8          | 23,9               | 1,07                    | -                | -                   |
| Total:                                                                  |               |                    |                         | 1,00             | 0,071               |

Tabela 7.12 - Cálculo do benefício econômico por passageiro nos dois períodos de pico do sentido Anchieta - Marginal.

Com a multiplicação do valor do benefício de cada passageiro em cada sentido pelo número de passageiros que passaram por aquele sentido em uma hora chegou-se ao benefício total de cada sentido na hora-pico da manhã e da tarde. Foi utilizada a hipótese de que fora dos períodos de pico, os benefícios (e malefícios)

seriam irrelevantes. Multiplicando o resultado por três horas-pico para o período da manhã e da tarde, se chegou ao benefício diário. Expandindo esse resultado para 264 dias úteis do ano e somando o total de cada sentido, chegou-se ao benefício econômico anual de R\$ 2.477.522,43. Tal processo é mostrado na tabela 7.3.

| Benefício econômico ANUAL |         |                                         |                            |                                |                        |                       |
|---------------------------|---------|-----------------------------------------|----------------------------|--------------------------------|------------------------|-----------------------|
| Sentido                   | Período | Benefício por passageiro na hora - pico | Passageiros na hora - pico | Benefício total na hora - pico | Benefício total diário | Benefício total anual |
| Marginal - Anchieta       | Manhã   | -                                       | 2.409                      | -                              | -                      | -                     |
|                           | Tarde   | R\$ 0,815                               | 2.409                      | R\$ 1.963,96                   | R\$ 5.891,88           | R\$ 1.555.456,48      |
| Anchieta - Marginal       | Manhã   | R\$ 0,412                               | 2.409                      | R\$ 992,42                     | R\$ 2.977,25           | R\$ 785.994,22        |
|                           | Tarde   | R\$ 0,071                               | 2.409                      | R\$ 171,81                     | R\$ 515,42             | R\$ 136.071,73        |
|                           |         |                                         |                            |                                | Total:                 | R\$ 2.477.522,43      |

Tabela 7.13 - Cálculo do benefício econômico anual do corredor

## 8 CONCLUSÃO

As simulações mostraram que o impacto inicial do corredor causaria uma diminuição de velocidade média da ordem de 30% para os usuários da via. Trechos que não estão atualmente congestionados passariam a ficar, sendo mais crítico o trecho 1 no sentido Marginal – Anchieta, o qual teve sua velocidade média reduzida em 70%; e trechos que já estivessem congestionados não sofreriam uma redução drástica em sua velocidade média, mas haveria formações de filas no trecho imediatamente anterior à este.

Seções que já estavam saturadas antes da implantação do corredor, como a seção B do trecho Anchieta – Marginal, teriam uma redução de 25% de veículos cruzando a mesma na hora simulada, o qual é compatível com a redução do número de faixas no trecho, o qual também teve uma redução de 25% ao passar de 4 para 3 faixas.

Os cenários futuros um e dois apresentaram níveis de serviço parecidos, com velocidades médias em trechos e contagens de veículos nas seções bastante semelhantes.

Enquanto o cenário futuro um apresentou um atraso global 140% maior do que o cenário atual, o cenário futuro dois apresentou um atraso 90% maior. Apesar de o cenário provável apresentar um resultado consideravelmente melhor do que o pior cenário, este resultado ainda é um aumento impactante quando se comparado ao cenário atual.

Com base nos resultados obtidos a partir das simulações e da realização da análise econômica, se verificou que o custo para os veículos percorrerem o trecho estudado aumentou com a implantação do corredor: ficou 80% mais caro no cenário mais desfavorável e 50% mais caro no cenário provável, gerando um custo anual adicional de R\$ 42 milhões e R\$ 26 milhões, respectivamente. Somado ao custo de implantação do trecho em estudo, de aproximadamente R\$ 204 milhões, é difícil ver algum retorno financeiro do corredor se analisando apenas o valor da economia de tempo anual dos passageiros que passam pelo trecho, que seria de aproximadamente R\$ 2,5 milhões.



Conforme dito no capítulo anterior, a verificação completa do benefício que seria gerado pelo corredor é complexa e, portanto, não é possível concluir por este trabalho se a implantação do corredor é economicamente viável ou não. O que se conclui, entretanto, é que o valor do tempo economizado pelos passageiros de ônibus que passariam pelo trecho em estudo é pequeno quando comparado aos prejuízos causados aos motoristas particulares da via.

Caso o corredor seja realmente implantado, a sua utilização deve ser estimulada ao máximo. Assim, a via pode passar a apresentar um nível de serviço melhor futuramente e o transporte público ser melhor aproveitado, um cenário onde todos ganhariam. Entretanto, este não é um cenário provável de ocorrer no curto ou médio prazo, e para que se aumente as chances do mesmo ocorrer no futuro, é necessário que haja estímulos e incentivos para o uso do transporte público, através de campanhas de marketing e da oferta de um transporte público seguro, com qualidade e conforto, com itens como ar-condicionado e internet sem fio, que certamente aumentariam a atratividade do sistema.

Como recomendação para trabalhos futuros e complementação deste estudo, se recomenda a realização de uma simulação para o pico da tarde, de forma a aumentar a confiança nos valores obtidos na análise econômica, bem como a realização de uma análise de benefícios mais detalhada, levando em conta as origens e destinos dos potenciais utilizadores do corredor em estudo.

## BIBLIOGRAFIA

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Dados oficiais sobre os preços de combustíveis de petróleo, gás natural e biocombustíveis.** Disponível em:

<[http://www.anp.gov.br/preco/prc/Resumo\\_Por\\_Estado\\_Index.asp](http://www.anp.gov.br/preco/prc/Resumo_Por_Estado_Index.asp)>. Acesso em 3 jun, 2015.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES PÚBLICOS. **Redução das deseconomias urbanas com a melhoria do transporte público.** Custo Social do Transporte. 1999. 58p. Disponível em:

<[http://www.antp.org.br/\\_5dotSystem/download/dcmDocument/2013/01/10/057A84C9-76D1-4BEC-9837-7E0B0AEAF5CE.pdf](http://www.antp.org.br/_5dotSystem/download/dcmDocument/2013/01/10/057A84C9-76D1-4BEC-9837-7E0B0AEAF5CE.pdf)>. Acesso em 1 jun. 2015.

BOXILL, S.; YU, L. **An Evaluation of Traffic Simulation Models for Supporting ITS Development.** Texas Southern University. Houston, 2000. 116 p. (Relatório)

BURGHOUT, W. **Hybrid Microscopic-Mesosopic Traffic Simulation.** 2004. 185 p. Dissertação (Doutorado) – Royal Institute of Technology, Stockholm, 2004.

CINTRA, M. **Os Custos dos congestionamentos na cidade de São Paulo.** São Paulo, 2014. 356p. (Relatório)

COMPANHIA DE ENGENHARIA DE TRÁFEGO. **Pesquisa de Monitoração da Fluidez:** Desempenho do Sistema Viário Principal – Volume e Velocidade – 2013. São Paulo, 2014. 206 p.

COMPANHIA DE ENGENHARIA DE TRÁFEGO. **Impacto de Investimentos no Sistema Viário.** Metodologia de avaliação n20. São Paulo, 1979. 114p.

COMPANHIA DE ENGENHARIA DE TRÁFEGO. **Dados a respeito das restrições de tráfego de veículos pesados e notícias sobre as licenças de faixas exclusivas e corredores de ônibus na cidade de São Paulo.** Disponível em <<http://www.cetsp.com.br>>. Acesso em: 11 mai. 2015.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Curvas de intensidade de uso por tipo de veículo automotor da frota da cidade de São Paulo.** São Paulo, 2014. 67p. (Relatório)

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de Estudos de Tráfego.** Rio de Janeiro, 2006. 384 p.

DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO. **Notícias sobre o andamento das licitações de corredores de ônibus em São Paulo.** Disponível em <<https://www.jusbrasil.com.br/diarios/DOU/>>. Acesso em 22 jun. 2015.

DUTRA, C. B. **Avaliação da Eficiência de Métodos de Coordenação Semafórica em Vias Arteriais.** 2005. 203 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2005.

EMPRESA BRASILEIRA DE INFRAESTRUTURA AEROPORTUÁRIA. **Dados e estatísticas a respeito do Aeroporto de Congonhas.** Disponível em <<http://www.infraero.gov.br>>. Acesso em: 26 mai. 2015

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. **Traffic Analysis Toolbox Volume III: Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Modeling Software.** McLean, 2004. 146 p.

GOMES, G. Z. **Uso de Microsimulação na Avaliação de Sustentabilidade de Corredores Rodoviários.** 2004. 112 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2004.

GOOGLE. **Google Maps.** Dados do mapa. Disponível em: <<https://maps.google.com.br/>>. Acesso em: Abril/Maio/Junho de 2015.

HIGA, Caio V. **Políticas de transporte coletivo em São Paulo entre 2001 e 2010: meio ambiente construído, sistemas técnicos e organização dos serviços de transporte.** 2012. 124 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO. **Notícias sobre o andamento das licitações de corredores de ônibus em São Paulo.** Disponível em <<http://antigo.planejamento.gov.br/>>. Acesso em 22 jun. 2015.

MUGNELA, B. S. **GENPOLIS: Prototipagem e Aplicação de um Simulador de Trânsito Voltado para a Otimização de Sinalização Semafórica por Meio de Algoritmos Genéticos.** 2012. 115 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

NERIS, D.F. **Melhoria do desempenho do tráfego em rotatórias com o emprego de semáforos próximos na via principal.** 2014. 98 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2014.

PLANUNG TRANSPORT VERKEHR. **Vissim 7 User Manual.** Karlsruhe, 2015. 953 p.

SANTOS, I. M. **Sistema viário estrutural de São Paulo e suas estratégias urbanísticas: Planos, projetos e intervenções, 1930 a 2002.** 2014. 149 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

SÃO PAULO TRANSPORTE. **Dados e mapas de faixas exclusivas e corredores de ônibus existentes e em projeto na cidade de São Paulo.** Disponível em <<http://www.sptrans.com.br>>. Acesso em: 20 mai. 2015.

## APÊNDICES

### Apêndice A – Resultados individuais das simulações e valores médios, mínimos e máximos – Velocidade média e contagens

- Cenário atual simulado

| Trecho | Velocidade Média no Trecho (km/h)                   |      |      |      |      |       |        |        |
|--------|-----------------------------------------------------|------|------|------|------|-------|--------|--------|
|        | Diferentes simulações - Sentido Marginal - Anchieta |      |      |      |      |       |        |        |
|        | 1                                                   | 2    | 3    | 4    | 5    | Média | Mínimo | Máximo |
| 1      | 44,1                                                | 43,9 | 44,3 | 43,3 | 44,9 | 44,1  | 43,3   | 44,9   |
| 2      | 29,9                                                | 30,6 | 31,5 | 25,8 | 29,5 | 29,3  | 25,8   | 31,5   |
| 3      | 47,0                                                | 45,7 | 44,6 | 45,4 | 47,2 | 46,0  | 44,6   | 47,2   |
| 4      | 40,4                                                | 39,0 | 39,9 | 38,9 | 39,7 | 39,5  | 38,9   | 40,4   |
| 1 - 4  | 39,5                                                | 39,1 | 39,6 | 37,0 | 39,3 | 38,9  | 37,0   | 39,6   |

| Seção | Veículos que Passaram pela Seção                    |       |       |       |       |       |        |        |
|-------|-----------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
|       | Diferentes simulações - Sentido Marginal - Anchieta |       |       |       |       |       |        |        |
|       | 1                                                   | 2     | 3     | 4     | 5     | Média | Mínimo | Máximo |
| A     | 4.716                                               | 4.752 | 4.754 | 4.767 | 4.733 | 4.745 | 4.716  | 4.767  |
| B     | 3.631                                               | 3.643 | 3.596 | 3.771 | 3.524 | 3.633 | 3.524  | 3.771  |

| Trecho | Velocidade Média no Trecho (km/h)                   |      |      |      |      |       |        |        |
|--------|-----------------------------------------------------|------|------|------|------|-------|--------|--------|
|        | Diferentes simulações - Sentido Anchieta - Marginal |      |      |      |      |       |        |        |
|        | 1                                                   | 2    | 3    | 4    | 5    | Média | Mínimo | Máximo |
| 1      | 34,5                                                | 34,5 | 34,5 | 34,8 | 34,6 | 34,6  | 34,5   | 34,8   |
| 2      | 27,7                                                | 27,7 | 28,5 | 28,3 | 28,3 | 28,1  | 27,7   | 28,5   |
| 3      | 13,7                                                | 13,7 | 14,7 | 12,2 | 16,7 | 14,1  | 12,2   | 16,7   |
| 4      | 12,8                                                | 15,4 | 11,4 | 11,7 | 14,1 | 12,9  | 11,4   | 15,4   |
| 1 - 4  | 18,5                                                | 19,9 | 17,9 | 17,2 | 20,3 | 18,7  | 17,2   | 20,3   |

| Seção | Veículos que Passaram pela Seção                    |       |       |       |       |       |        |        |
|-------|-----------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
|       | Diferentes Simulações - Sentido Marginal - Anchieta |       |       |       |       |       |        |        |
|       | 1                                                   | 2     | 3     | 4     | 5     | Média | Mínimo | Máximo |
| A     | 4.600                                               | 4.635 | 4.398 | 4.379 | 4.563 | 4.515 | 4.379  | 4.635  |
| B     | 3.789                                               | 3.871 | 3.678 | 3.524 | 3.821 | 3.737 | 3.524  | 3.871  |

- Cenário futuro um

| Trecho | Velocidade Média no Trecho (km/h)                   |      |      |      |      |       |        |        |
|--------|-----------------------------------------------------|------|------|------|------|-------|--------|--------|
|        | Diferentes simulações - Sentido Marginal - Anchieta |      |      |      |      |       |        |        |
|        | 1                                                   | 2    | 3    | 4    | 5    | Média | Mínimo | Máximo |
| 1      | 12,5                                                | 15,2 | 13,4 | 13,8 | 13,4 | 13,6  | 12,5   | 15,2   |
| 2      | 19,7                                                | 22,6 | 21,2 | 21,1 | 21,1 | 21,1  | 19,7   | 22,6   |
| 3      | 47,5                                                | 46,4 | 45,8 | 45,8 | 44,2 | 45,9  | 44,2   | 47,5   |
| 4      | 40,4                                                | 39,3 | 40,2 | 38,5 | 34,8 | 38,6  | 34,8   | 40,4   |
| 1 - 4  | 22,2                                                | 25,1 | 23,3 | 23,4 | 22,6 | 23,3  | 22,2   | 25,1   |

| Seção | Veículos que Passaram pela Seção                    |       |       |       |       |       |        |        |
|-------|-----------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
|       | Diferentes simulações - Sentido Marginal - Anchieta |       |       |       |       |       |        |        |
|       | 1                                                   | 2     | 3     | 4     | 5     | Média | Mínimo | Máximo |
| A     | 3.593                                               | 3.873 | 3.717 | 3.749 | 3.761 | 3.739 | 3.593  | 3.873  |
| B     | 3.010                                               | 3.190 | 3.087 | 3.208 | 3.062 | 3.112 | 3.010  | 3.208  |

| Trecho | Velocidade Média no Trecho (km/h)                   |      |      |      |      |       |        |        |
|--------|-----------------------------------------------------|------|------|------|------|-------|--------|--------|
|        | Diferentes simulações - Sentido Anchieta - Marginal |      |      |      |      |       |        |        |
|        | 1                                                   | 2    | 3    | 4    | 5    | Média | Mínimo | Máximo |
| 1      | 34,2                                                | 34,3 | 34,2 | 34,3 | 34,4 | 34,3  | 34,2   | 34,4   |
| 2      | 27,8                                                | 27,6 | 27,8 | 27,9 | 27,9 | 27,8  | 27,6   | 27,9   |
| 3      | 12,5                                                | 13,2 | 13,0 | 12,6 | 13,0 | 12,9  | 12,5   | 13,2   |
| 4      | 10,7                                                | 10,9 | 10,7 | 10,7 | 10,9 | 10,8  | 10,7   | 10,9   |
| 1 - 4  | 16,6                                                | 17,0 | 16,8 | 16,7 | 16,9 | 16,8  | 16,6   | 17,0   |

| Seção | Veículos que Passaram pela Seção                    |       |       |       |       |       |        |        |
|-------|-----------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
|       | Diferentes Simulações - Sentido Marginal - Anchieta |       |       |       |       |       |        |        |
|       | 1                                                   | 2     | 3     | 4     | 5     | Média | Mínimo | Máximo |
| A     | 3.918                                               | 3.937 | 3.906 | 3.917 | 3.893 | 3.915 | 3.893  | 3.937  |
| B     | 2.792                                               | 2.831 | 2.811 | 2.778 | 2.805 | 2.804 | 2.778  | 2.831  |

- Cenário futuro dois

| Trecho | Velocidade Média no Trecho (km/h)                   |      |      |      |      |       |        |        |
|--------|-----------------------------------------------------|------|------|------|------|-------|--------|--------|
|        | Diferentes simulações - Sentido Marginal - Anchieta |      |      |      |      |       |        |        |
|        | 1                                                   | 2    | 3    | 4    | 5    | Média | Mínimo | Máximo |
| 1      | 13,6                                                | 16,4 | 15,0 | 14,0 | 14,4 | 14,6  | 13,6   | 16,4   |
| 2      | 20,3                                                | 23,0 | 21,8 | 19,6 | 20,3 | 20,9  | 19,6   | 23,0   |
| 3      | 47,1                                                | 45,6 | 46,4 | 46,7 | 46,1 | 46,4  | 45,6   | 47,1   |
| 4      | 39,5                                                | 38,7 | 39,3 | 39,4 | 40,1 | 39,4  | 38,7   | 40,1   |
| 1 - 4  | 23,2                                                | 25,9 | 24,6 | 23,3 | 23,9 | 24,1  | 23,2   | 25,9   |

| Seção | Veículos que Passaram pela Seção                    |       |       |       |       |       |        |        |
|-------|-----------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
|       | Diferentes simulações - Sentido Marginal - Anchieta |       |       |       |       |       |        |        |
|       | 1                                                   | 2     | 3     | 4     | 5     | Média | Mínimo | Máximo |
| A     | 3.779                                               | 3.960 | 3.831 | 3.638 | 3.743 | 3.791 | 3.638  | 3.960  |
| B     | 3.045                                               | 3.167 | 3.107 | 3.103 | 2.981 | 3.081 | 2.981  | 3.167  |

| Trecho | Velocidade Média no Trecho (km/h)                   |      |      |      |      |       |        |        |
|--------|-----------------------------------------------------|------|------|------|------|-------|--------|--------|
|        | Diferentes simulações - Sentido Anchieta - Marginal |      |      |      |      |       |        |        |
|        | 1                                                   | 2    | 3    | 4    | 5    | Média | Mínimo | Máximo |
| 1      | 34,4                                                | 34,5 | 34,4 | 34,2 | 34,3 | 34,4  | 34,2   | 34,5   |
| 2      | 27,7                                                | 27,6 | 27,9 | 27,9 | 27,9 | 27,8  | 27,6   | 27,9   |
| 3      | 12,4                                                | 13,2 | 12,9 | 12,9 | 13,2 | 12,9  | 12,4   | 13,2   |
| 4      | 10,9                                                | 11,0 | 10,5 | 11,0 | 11,6 | 11,0  | 10,5   | 11,6   |
| 1 - 4  | 16,7                                                | 17,1 | 16,6 | 17,0 | 17,5 | 17,0  | 16,6   | 17,5   |

| Seção | Veículos que Passaram pela Seção                    |       |       |       |       |       |        |        |
|-------|-----------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
|       | Diferentes Simulações - Sentido Marginal - Anchieta |       |       |       |       |       |        |        |
|       | 1                                                   | 2     | 3     | 4     | 5     | Média | Mínimo | Máximo |
| A     | 3.849                                               | 3.868 | 3.800 | 3.835 | 3.867 | 3.844 | 3.800  | 3.868  |
| B     | 2.839                                               | 2.848 | 2.766 | 2.811 | 2.933 | 2.840 | 2.766  | 2.933  |

## Apêndice B - Resultados individuais das simulações e valores médios, mínimos e máximos – Performance da rede

- Cenário atual simulado

| Simulação | SpeedAvg (km/h) | DistTot (km) | TravTmTot (h) | StopsAvg | StopsTot | VehAct  | VehArr   |
|-----------|-----------------|--------------|---------------|----------|----------|---------|----------|
| 1         | 23,7            | 41.048,6     | 1.735,5       | 3,4      | 55.283,0 | 2.183,0 | 14.037,0 |
| 2         | 25,4            | 41.337,6     | 1.627,4       | 2,8      | 44.522,0 | 1.959,0 | 13.999,0 |
| 3         | 22,2            | 40.160,3     | 1.810,3       | 3,7      | 59.287,0 | 2.280,0 | 13.656,0 |
| 4         | 20,7            | 40.511,7     | 1.957,4       | 4,2      | 68.448,0 | 2.353,0 | 13.844,0 |
| 5         | 25,1            | 40.776,9     | 1.624,9       | 2,9      | 46.042,0 | 2.130,0 | 13.835,0 |
| Média     | 23,4            | 40.767,1     | 1.751,1       | 3,4      | 54.716,4 | 2.181,0 | 13.874,2 |
| Mínimo    | 20,7            | 40.160,3     | 1.624,9       | 2,8      | 44.522,0 | 1.959,0 | 13.656,0 |
| Máximo    | 25,4            | 41.337,6     | 1.957,4       | 4,2      | 68.448,0 | 2.353,0 | 14.037,0 |

| Simulação | DelayAvg (s) | DelayStopAvg (s) | DelayTot (h) | DelayStopTot (h) | DelayLatent (h) | Delay Global (h) | Demand Latent |
|-----------|--------------|------------------|--------------|------------------|-----------------|------------------|---------------|
| 1         | 202,1        | 76,3             | 910,6        | 343,7            | 2,8             | 913,4            | 10,0          |
| 2         | 179,7        | 76,5             | 796,5        | 339,1            | 7,3             | 803,8            | 66,0          |
| 3         | 227,4        | 90,8             | 1.006,7      | 401,8            | 27,0            | 1.033,7          | 196,0         |
| 4         | 255,0        | 102,4            | 1.147,2      | 460,5            | 46,9            | 1.194,1          | 329,0         |
| 5         | 182,0        | 81,6             | 806,9        | 362,0            | 3,7             | 810,6            | 50,0          |
| Média     | 209,2        | 85,5             | 933,6        | 381,4            | 17,5            | 951,1            | 130,2         |
| Mínimo    | 179,7        | 76,3             | 796,5        | 339,1            | 2,8             | 803,8            | 10,0          |
| Máximo    | 255,0        | 102,4            | 1.147,2      | 460,5            | 46,9            | 1.194,1          | 329,0         |

- Cenário futuro um

| Simulação | SpeedAvg (km/h) | DistTot (km) | TravTmTot (h) | StopsAvg | StopsTot | VehAct  | VehArr   |
|-----------|-----------------|--------------|---------------|----------|----------|---------|----------|
| 1         | 16,2            | 32.806,3     | 2.027,9       | 6,3      | 88.140,0 | 2.178,0 | 11.864,0 |
| 2         | 17,7            | 33.989,1     | 1.922,9       | 5,5      | 78.260,0 | 2.205,0 | 12.150,0 |
| 3         | 16,8            | 33.257,5     | 1.981,5       | 5,8      | 82.653,0 | 2.251,0 | 11.964,0 |
| 4         | 16,0            | 33.623,0     | 2.101,5       | 6,0      | 86.581,0 | 2.245,0 | 12.097,0 |
| 5         | 16,4            | 33.243,9     | 2.023,9       | 6,1      | 86.257,0 | 2.229,0 | 11.984,0 |
| Média     | 16,6            | 33.384,0     | 2.011,6       | 5,9      | 84.378,2 | 2.221,6 | 12.011,8 |
| Mínimo    | 16,0            | 32.806,3     | 1.922,9       | 5,5      | 78.260,0 | 2.178,0 | 11.864,0 |
| Máximo    | 17,7            | 33.989,1     | 2.101,5       | 6,3      | 88.140,0 | 2.251,0 | 12.150,0 |

| Simulação | DelayAvg (s) | DelayStopAvg (s) | DelayTot (h) | DelayStopTot (h) | DelayLatent (h) | Delay Global (h) | Demand Latent |
|-----------|--------------|------------------|--------------|------------------|-----------------|------------------|---------------|
| 1         | 349,9        | 114,2            | 1.364,6      | 445,4            | 1.194,2         | 2.558,9          | 2.508,0       |
| 2         | 310,6        | 96,7             | 1.238,5      | 385,5            | 792,6           | 2.031,1          | 1.839,0       |
| 3         | 332,1        | 104,1            | 1.311,5      | 411,2            | 963,1           | 2.274,6          | 2.184,0       |
| 4         | 357,6        | 127,9            | 1.424,5      | 509,4            | 951,2           | 2.375,7          | 2.387,0       |
| 5         | 343,1        | 116,6            | 1.354,4      | 460,3            | 899,7           | 2.254,1          | 2.106,0       |
| Média     | 338,6        | 111,9            | 1.338,7      | 442,3            | 960,2           | 2.298,9          | 2.204,8       |
| Mínimo    | 310,6        | 96,7             | 1.238,5      | 385,5            | 792,6           | 2.031,1          | 1.839,0       |
| Máximo    | 357,6        | 127,9            | 1.424,5      | 509,4            | 1.194,2         | 2.558,9          | 2.508,0       |

- Cenário futuro dois

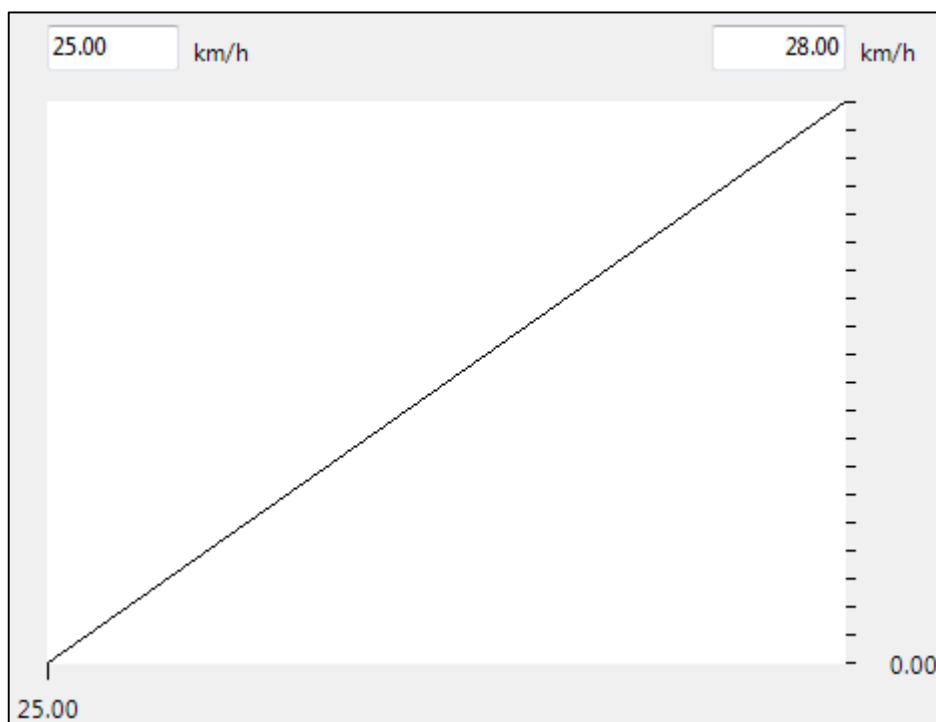
| Simulação | SpeedAvg (km/h) | DistTot (km) | TravTmTot (h) | StopsAvg | StopsTot | VehAct  | VehArr   |
|-----------|-----------------|--------------|---------------|----------|----------|---------|----------|
| 1         | 17,1            | 33.045,7     | 1.930,2       | 6,0      | 83.204,0 | 2.052,0 | 11.893,0 |
| 2         | 18,5            | 33.995,8     | 1.838,3       | 5,4      | 75.544,0 | 2.026,0 | 12.077,0 |
| 3         | 17,4            | 33.237,1     | 1.915,5       | 5,9      | 82.646,0 | 2.168,0 | 11.809,0 |
| 4         | 17,1            | 33.118,8     | 1.941,9       | 5,7      | 80.366,0 | 2.193,0 | 11.876,0 |
| 5         | 17,5            | 33.285,0     | 1.897,5       | 5,7      | 79.818,0 | 2.154,0 | 11.811,0 |
| Média     | 17,5            | 33.336,5     | 1.904,7       | 5,7      | 80.315,6 | 2.118,6 | 11.893,2 |
| Mínimo    | 17,1            | 33.045,7     | 1.838,3       | 5,4      | 75.544,0 | 2.026,0 | 11.809,0 |
| Máximo    | 18,5            | 33.995,8     | 1.941,9       | 6,0      | 83.204,0 | 2.193,0 | 12.077,0 |

| Simulação | DelayAvg (s) | DelayStopAvg (s) | DelayTot (h) | DelayStopTot (h) | DelayLatent (h) | Delay Global (h) | Demand Latent |
|-----------|--------------|------------------|--------------|------------------|-----------------|------------------|---------------|
| 1         | 326,2        | 99,4             | 1.263,4      | 384,9            | 740,4           | 2.003,8          | 1.776,0       |
| 2         | 294,6        | 88,6             | 1.154,2      | 347,2            | 454,3           | 1.608,5          | 1.217,0       |
| 3         | 321,2        | 104,0            | 1.247,2      | 403,6            | 548,9           | 1.796,1          | 1.480,0       |
| 4         | 326,1        | 110,6            | 1.274,5      | 432,1            | 625,2           | 1.899,7          | 1.730,0       |
| 5         | 316,3        | 105,5            | 1.226,9      | 409,2            | 501,8           | 1.728,6          | 1.372,0       |
| Média     | 316,9        | 101,6            | 1.233,2      | 395,4            | 574,1           | 1.807,3          | 1.515,0       |
| Mínimo    | 294,6        | 88,6             | 1.154,2      | 347,2            | 454,3           | 1.608,5          | 1.217,0       |
| Máximo    | 326,2        | 110,6            | 1.274,5      | 432,1            | 740,4           | 2.003,8          | 1.776,0       |

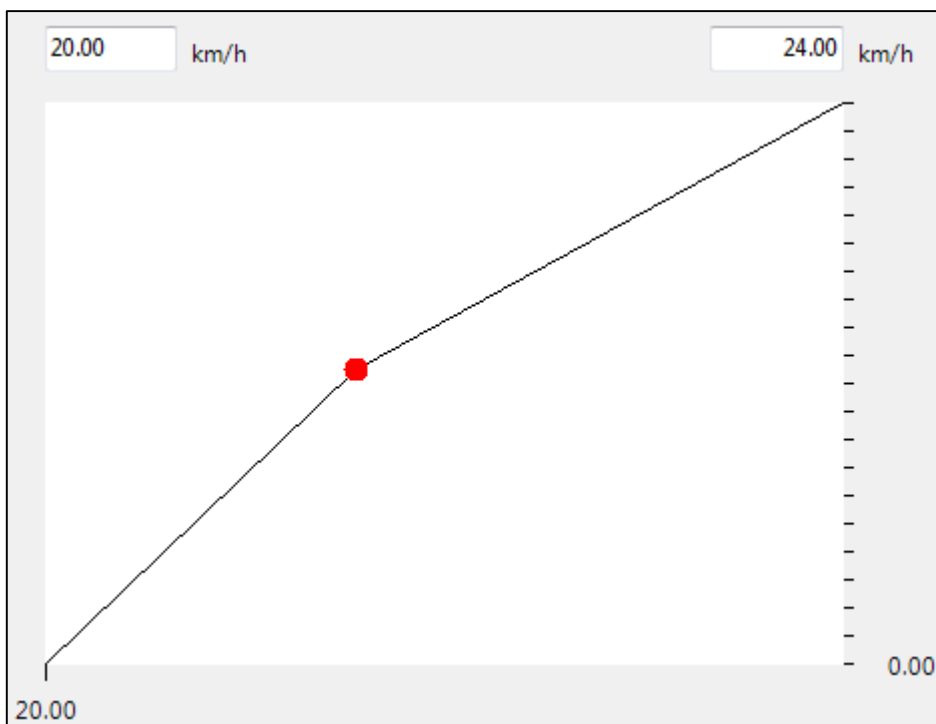


### Apêndice C – Curvas de distribuição de velocidade das zonas de redução de velocidade

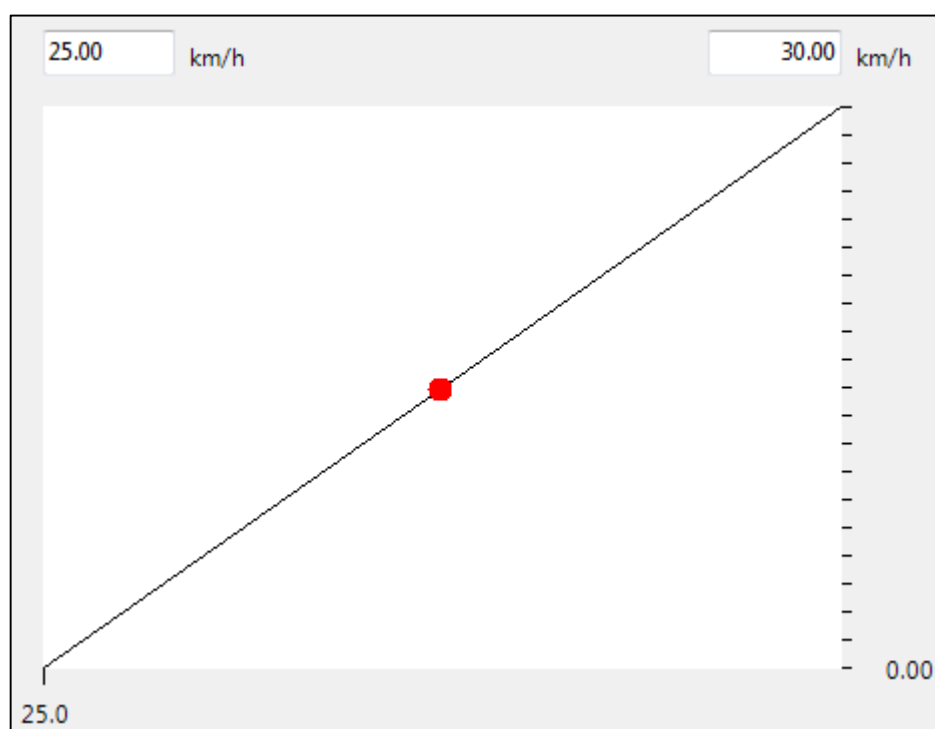
- Zona de redução de velocidade 1



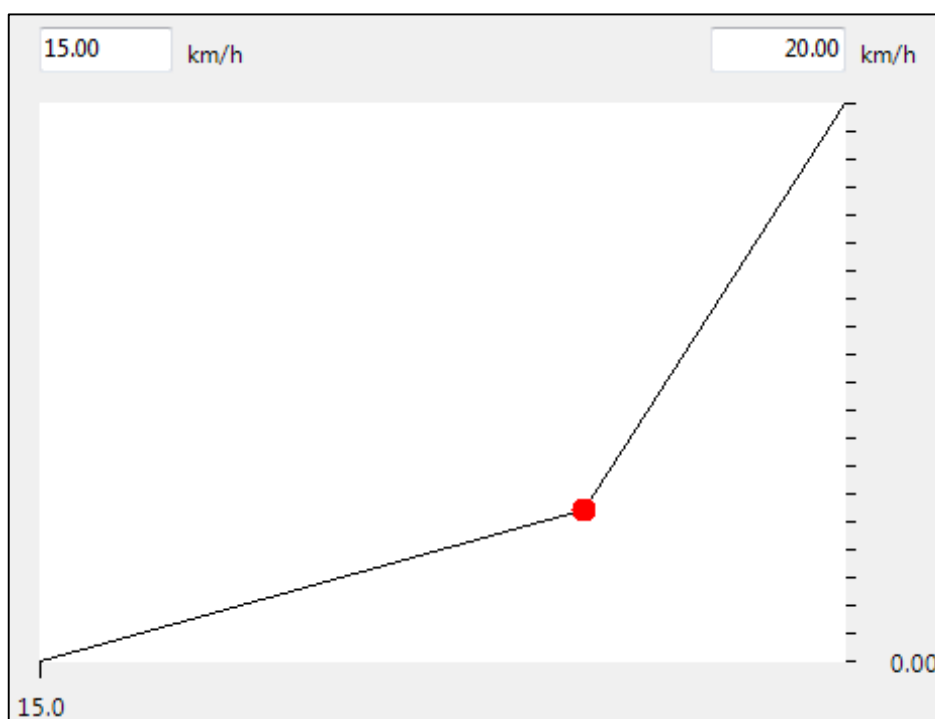
- Zona de redução de velocidade 2



- Zona de redução de velocidade 3



- Zona de redução de velocidade 4



- Zona de redução de velocidade 5

