

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Cláudio Ruhmann Di Raimo

Lucas Fuoco de Oliveira

Matheus Mesquita Alves de Siqueira

**ANÁLISE E TRATAMENTO DE DADOS DE CIRCULAÇÃO DE ÔNIBUS: APLICAÇÃO
PRÁTICA PARA IMPLANTAÇÃO DE FAIXAS EXCLUSIVAS NA CIDADE DE SÃO PAULO**

São Paulo, Janeiro 2020

Cláudio Ruhmann Di Raimo

Lucas Fuoco de Oliveira

Matheus Mesquita Alves de Siqueira

ANÁLISE E TRATAMENTO DE DADOS DE CIRCULAÇÃO DE ÔNIBUS: APLICAÇÃO
PRÁTICA PARA IMPLANTAÇÃO DE FAIXAS EXCLUSIVAS NA CIDADE DE SÃO PAULO

Trabalho de Formatura apresentado à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo para
obtenção do diploma de Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Cassiano Augusto Isler

São Paulo, Janeiro 2020

Resumo

As faixas exclusivas de ônibus são uma alternativa eficiente para a priorização do interesse coletivo uma vez que disponibiliza uma maior capacidade de transporte por espaço ocupado quando comparado com carros. À medida que as cidades ficam mais densamente habitadas, o favorecimento do transporte coletivo ganha ainda mais relevância.

Tendo isso em mente, este trabalho de formatura objetiva obter proposta de implementação de faixas exclusivas de ônibus de acordo com padrões mínimos de conforto e acessibilidade, através de um estudo de caso para um trecho fortemente demandado. O estudo é feito a partir de dados geolocalizados coletados de forma automatizada por toda a cidade de São Paulo.

Devido à dificuldade de obtenção e tratamento de dados para um sistema complexo como o de ônibus de uma metrópole, a utilização dos dados gerados diariamente por sistemas geolocalizados não é direta. O presente trabalho busca endereçar essa dificuldade estabelecendo método organizado de filtragem e avaliação de dados brutos para que sejam avaliados em termos tangíveis.

O produto de tal análise é útil por demonstrar os gargalos de trânsito na avenida estudada, e assim direcionar a implantação das faixas. Dessa forma, o trabalho busca fornecer um exemplo prático de como dados geolocalizados podem ser usados para avaliar uma via em relação a sua velocidade representativa, e considerá-la para o favorecimento do transporte coletivo.

Por fim, as análises dos resultados são realizadas, e as propostas de intervenção são apresentadas em imagens, indicando como a inserção de faixas de ônibus pode representar melhoria significativa na via estudada. Análise da importância desse tipo de estudo para as regiões com pior trânsito no município de São Paulo é discutida, assim como possíveis propostas de reurbanização desse tipo de via.

Palavras Chave: Geoprocessamento, Faixas de ônibus, Intervenção Urbana.

Abstract

Exclusive bus lanes are an efficient alternative for prioritizing public traffic as they favor the use of public transport. As cities become more densely populated, favoring public transport becomes crucial.

Having this in mind, this final thesis aims to obtain a proposal for implementing exclusive bus lanes according to minimum standards of comfort and accessibility, through a case study for a highly demanded venue. The study is based on geolocalized data collected in an automated way throughout the city of São Paulo.

Due to the difficulty of obtaining and processing data for a complex system such as a São Paulo city bus, the use of data generated daily by geolocalized systems is not straightforward. The present work seeks to address this difficulty by establishing an organized method of filtering and evaluating raw data so that they are evaluated in tangible terms.

The product of such an analysis is useful for demonstrating the traffic bottlenecks on the avenue studied, and thus directing the implementation of the lanes. In this way, the work seeks to provide a practical example of how geolocated data can be used to evaluate a according to its representative speed, and consider it to favor public transport.

In sum, the analysis of the results are done, and the intervention proposals are presented in images, indicating how the insertion of bus lanes can represent a significant improvement in the studied route. Analysis of the importance of this type of study for the regions with the worst traffic in the city of São Paulo are discussed, as well as possible proposals for the re-urbanization of this type of road.

Key Words: Geoprocessing, Bus Exclusive Lanes, Urban intervention

Sumário

1. Introdução	12
1.1. Objetivos	16
1.2. Justificativa	16
1.3. Estrutura do Texto	17
2. Revisão Bibliográfica	18
3. Método	28
3.1. Estrutura dos dados fornecidos	31
3.2. Localização das coordenadas da avenida e dos pontos de ônibus	33
3.3. Procedimento para obtenção de tempo de viagem	34
3.3.1. Filtragem do arquivo MO original para linhas de interesse	34
3.3.2. Rotina de estimativa de velocidades	39
3.4. Plotagem de resultados	47
3.5. Processo de decisão	47
4. Resultado	48
4.1. Identificação dos trechos críticos	55
4.2. Análise dos trechos	58
4.2.1. Trechos críticos	58
4.2.2. Trechos questionáveis	60
4.3. Proposição	63
5. Conclusões e Propostas	73
6. Referências Bibliográficas	75
7. Apêndice	78
Apêndice I – Localização dos registros na avenida em estudo (linhas de ônibus que passam pela avenida)	78

Apêndice II – Verificação da linha encontrada nos intervalos refinados.....	80
Apêndice III – Redução do arquivo CSV	81
Apêndice IV – Inclusão dos pontos de ônibus entre as linhas ordenadas do arquivo reduzido	82
Apêndice V – Algoritmo de horário de passagem dos ônibus nos pontos.....	83
Apêndice VI – Cálculo das velocidades médias por trecho (<i>VB Code</i>).....	85

Lista de Tabelas

TABELA 2.1 - DISTÂNCIA EMPÍRICA DE ENTRELAÇAMENTO (FONTE: CET, 2001).....	25
TABELA 3.1 - LISTA SIMPLIFICADA DE CÓDIGOS DE ÔNIBUS LOCALIZADAS PELO ALGORITMO	36
TABELA 3.2 - CÓDIGOS DE ÔNIBUS DA TABELA 3.1 CONVERTIDAS PARA LINHAS.....	36
TABELA 3.3 - COORDENADAS DOS PONTOS DE ÔNIBUS DA AVENIDA (SENTIDO CENTRO-BAIRRO)	42
TABELA 3.4 - COORDENADAS DOS PONTOS DE ÔNIBUS DA AVENIDA (SENTIDO BAIRRO-CENTRO)	42
TABELA 3.5 - REPRESENTAÇÃO DO CSV EM LISTA CRONOLÓGICA DE PASSAGEM DOS ÔNIBUS PELOS PONTOS	43
TABELA 4.1 - VELOCIDADES MEDIANAS BAIRRO-CENTRO	48
TABELA 4.2 - VELOCIDADES MEDIANAS CENTRO-BAIRRO	49

Índice de Figuras

FIGURA 2.1 - MODELO DE CÁLCULO DE VELOCIDADES ENTRE PONTOS ALEATÓRIOS (FONTE: SCIPULIS)	21
FIGURA 2.2 - NORMA DE CÁLCULO DE LARGURA DE CALÇADAS (FONTE: ABNT NBR 9050)	23
FIGURA 2.3 - CARACTERÍSTICAS DE SINALIZAÇÃO DE FAIXAS DE ÔNIBUS (FONTE: CET)	24
FIGURA 2.4 - MODELO EMPÍRICO DE CÁLCULO DE DISTÂNCIA DE ENTRELAÇAMENTO (FONTE: CET)	25
FIGURA 2.5 - REGRAS DE DESENHO GEOMÉTRICO PARA CONVERSÃO À DIREITA EM INTERSEÇÃO NÃO SEMAFORIZADA (FONTE: CET)	26
FIGURA 2.6 - REGRAS DE DESENHO GEOMÉTRICO PARA ACESSO À VIA PRINCIPAL COM FAIXA DE ÔNIBUS (FONTE: CET)	26
FIGURA 2.7 - REGRAS DE DESENHO GEOMÉTRICO PARA CONVERSÃO À DIREITA COM FAIXA DE ÔNIBUS (FONTE: CET)	27
FIGURA 2.8 - REGRAS DE DESENHO GEOMÉTRICO PARA ACESSO À AVENIDA COM FAIXA DE ÔNIBUS (FONTE: CET)	27
FIGURA 3.1 - ILUSTRAÇÃO DA VIA OBJETO DE ESTUDO	28
FIGURA 3.2 - DETALHE NORTE DA VIA (AV. MARIA COELHO AGUIAR)	29
FIGURA 3.3 - DETALHE NORTE DA VIA (RUA JOSÉ BARROS MAGALDI)	29
FIGURA 3.4 - ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO	31
FIGURA 3.5 - ESTRUTURA DOS DADOS MO (AVL)	32
FIGURA 3.6 - ESTRUTURA DOS DADOS AL (AVL)	32
FIGURA 3.7 - IDENTIFICAÇÃO DA AVENIDA E DOS PONTOS DE ÔNIBUS VIA SOFTWARE QGIS	34
FIGURA 3.8 - ORDEM DE PROCEDIMENTOS DE PROGRAMAÇÃO PARA CÁLCULO DAS VELOCIDADES POR TRECHO	35
FIGURA 3.9 - REFINAMENTO DE SUBDIVISÕES DA AVENIDA PARA LOCALIZAÇÃO DAS MEDIÇÕES GPS SITUADAS NOS INTERVALOS	38
FIGURA 3.10 - PASSOS PROGRAMADOS PARA OBTENÇÃO DAS VELOCIDADES REPRESENTATIVAS POR TRECHO	39
FIGURA 3.11 - LOCALIZAÇÃO DAS COORDENADAS DOS PONTOS DE ÔNIBUS DO SENTIDO CENTRO-BAIRRO VIA QGIS	40
FIGURA 3.12 - LOCALIZAÇÃO DAS COORDENADAS DOS PONTOS DE ÔNIBUS DO SENTIDO BAIRRO-CENTRO VIA QGIS	41
FIGURA 3.13 - MODELO DE INTERPOLAÇÃO PARA ESTIMATIVA DO TEMPO TOTAL ENTRE PONTOS DE ÔNIBUS	44
FIGURA 3.14 - MODELO REFINADO PARA ESTIMATIVA DO MOMENTO DE PASSAGEM DOS ÔNIBUS PELOS PONTOS	45
FIGURA 3.15 - REPRESENTAÇÃO EM DIAGRAMA DE BLOCOS DA LÓGICA DE ESTIMATIVA DE MOMENTO DE PASSAGEM DOS PONTOS DE ÔNIBUS PARA TODAS AS AMOSTRAS	46
FIGURA 4.1 - SENTIDO BAIRRO-CENTRO: MEDIANAS DO DIA	50
FIGURA 4.2 - SENTIDO CENTRO-BAIRRO: MEDIANAS DO DIA	50
FIGURA 4.3 - SENTIDO BAIRRO-CENTRO: MEDIANAS DA MADRUGADA	51
FIGURA 4.4 - SENTIDO CENTRO-BAIRRO: MEDIANAS DA MADRUGADA	51
FIGURA 4.5 - SENTIDO BAIRRO-CENTRO: MEDIANAS DA MANHÃ	52
FIGURA 4.6 - SENTIDO CENTRO-BAIRRO: MEDIANAS DA MANHÃ	52
FIGURA 4.7 - SENTIDO BAIRRO-CENTRO: MEDIANAS DA TARDE	53

FIGURA 4.8 - SENTIDO CENTRO-BAIRRO: MEDIANAS DA TARDE.....	53
FIGURA 4.9 - SENTIDO BAIRRO-CENTRO: MEDIANAS DA NOITE	54
FIGURA 4.10 - SENTIDO CENTRO-BAIRRO: MEDIANAS DA NOITE	54
FIGURA 4.11 - SENTIDO BAIRRO-CENTRO: HISTOGRAMA DE MEDIÇÕES NO TRECHO 3.....	55
FIGURA 4.12 - SENTIDO BAIRRO-CENTRO: DISPERSÃO DAS MEDIÇÕES NO TRECHO 3	56
FIGURA 4.13 - SENTIDO BAIRRO-CENTRO: HISTOGRAMA DE MEDIÇÕES NO TRECHO 6.....	56
FIGURA 4.14 - SENTIDO CENTRO-BAIRRO: GRÁFICO DE VELOCIDADES MÉDIAS HORÁRIAS PARA O TRECHO 3.....	59
FIGURA 4.15 - SENTIDO BAIRRO-CENTRO: GRÁFICO DE VELOCIDADES MÉDIAS HORÁRIAS PARA O TRECHO 1	61
FIGURA 4.16 - SENTIDO CENTRO-BAIRRO: GRÁFICO DE VELOCIDADES MÉDIAS HORÁRIAS PARA O TRECHO 2.....	62
FIGURA 4.17 - CRITÉRIOS DE LARGURA DE FAIXA DE ROLAMENTO (FONTE: MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES)	64
FIGURA 4.18 - REPRESENTAÇÃO DA SOLUÇÃO PARA AS FAIXAS AUTOMOTIVAS EM PERSPECTIVA	66
FIGURA 4.19 - REPRESENTAÇÃO DE FAIXAS DE ÔNIBUS APÓS IMPLEMENTAÇÃO SUGERIDA. TRECHO 6 BAIRRO-CENTRO E TRECHO 4 CENTRO-BAIRRO (AV. MARIA COELHO AGUIAR No. 1050 A 1000).....	66
FIGURA 4.20 - REPRESENTAÇÃO DE FAIXAS DE ÔNIBUS APÓS IMPLEMENTAÇÃO SUGERIDA. TRECHO 6 BAIRRO-CENTRO E TRECHO 4 CENTRO-BAIRRO (AV. MARIA COELHO AGUIAR No. 1000 A 900).....	67
FIGURA 4.21 - REPRESENTAÇÃO DE FAIXAS DE ÔNIBUS APÓS IMPLEMENTAÇÃO SUGERIDA. TRECHO 6 BAIRRO-CENTRO E TRECHOS 4 E 3 CENTRO-BAIRRO (AV. MARIA COELHO AGUIAR No. 1000 A 850)	68
FIGURA 4.22 - REPRESENTAÇÃO DE FAIXAS DE ÔNIBUS APÓS IMPLEMENTAÇÃO SUGERIDA. TRECHO 6 BAIRRO-CENTRO E TRECHO 3 CENTRO-BAIRRO (AV. MARIA COELHO AGUIAR No. 850 A 750).....	69
FIGURA 4.23 - REPRESENTAÇÃO DE FAIXAS DE ÔNIBUS APÓS IMPLEMENTAÇÃO SUGERIDA. TRECHO 6 BAIRRO-CENTRO E TRECHO 3 CENTRO-BAIRRO (AV. MARIA COELHO AGUIAR No. 750 A 650).....	70
FIGURA 4.24 - REPRESENTAÇÃO DE FAIXAS DE ÔNIBUS APÓS IMPLEMENTAÇÃO SUGERIDA. TRECHO 6 BAIRRO-CENTRO E TRECHO 2 CENTRO-BAIRRO (AV. MARIA COELHO AGUIAR No. 650 A 400).....	71
FIGURA 4.25 - REPRESENTAÇÃO DE FAIXAS DE ÔNIBUS APÓS IMPLEMENTAÇÃO SUGERIDA. TRECHO 6 BAIRRO-CENTRO E TRECHO 2 CENTRO-BAIRRO (AV. MARIA COELHO AGUIAR No. 400 A 300).....	72

1. Introdução

Segundo dados da ONU, apenas nas últimas duas décadas a população passou a ser majoritariamente urbana. Os dados apontam que, em 2018, 55% da população vivia nessas áreas. Esses níveis de urbanização representam um aumento significativo quando comparados com dados de 1960, onde se estima que apenas 33,6% da população vivia em zonas urbanas (United Nations, 2018).

Esses dados estão diretamente associados ao aumento da população mundial. Pesquisas da ONU apontam que a população aumentou de 3,0 bilhões de pessoas em 1960 para mais de 7,5 bilhões de pessoas em 2018 (United Nations, 2018).

Esse aumento populacional é uma tendência que deve perdurar nas próximas décadas. Como citado pelo diretor do centro de pesquisas da Universidade de Chicago, já na década de 1970: “Essa tendência deve continuar. [...] porque esses aglomerados de pessoas representam os núcleos de produção e consumo mais eficazes que nossa sociedade criou até agora. Exatamente o tamanho, a densidade e o congestionamento de nossos modelos de Regiões Metropolitanas [...], estão entre nossos mais preciosos trunfos econômicos.” (Jacobs, 2011).

O adensamento urbano traz benefícios a quem reside nas cidades, à medida que possibilita atender desde necessidades básicas em larga escala, como o abastecimento alimentício e o atendimento sanitário, como também proporcionam aos moradores serviços e produtos diversos, uma vez que o ganho de escala torna produtos mais acessíveis. Os benefícios, no entanto, acompanham desafios.

O trânsito é um dos grandes desafios gerados pelo adensamento populacional uma vez que prejudica um dos direitos fundamentais do cidadão, o de ir e vir. Todos os dias, milhões de brasileiros utilizam as ruas e avenidas das cidades para acessar tudo aquilo que não é provido onde se mora. Devido ao espaço das ruas e avenidas ser limitado, carros, motos e ônibus compartilham esse espaço até sua saturação. O congestionamento leva ao dispêndio econômico, social e de recursos naturais.

Ferraz (2001) indica na história da evolução das cidades, que o crescimento e desenvolvimento econômico de um conglomerado humano são produto majoritariamente da facilidade da troca de informações e produtos com outras localidades.

No trânsito, existe uma constante disputa entre o interesse individual, representado pelos carros, e o interesse coletivo, representado pelos sistemas de transporte coletivo (ônibus, trens etc.). Para conseguir comportar o aumento populacional nos centros urbanos, é necessário que se dê mais importância para o transporte público uma vez que este atende de forma mais eficiente a demanda de transportes das cidades.

Além da quantidade de pessoas que vivem em grandes centros urbanos crescente, deve-se também levar em conta a melhora da condição econômica daqueles que ali vivem. Silva (2013) nota que a progressiva construção e a consolidação da classe média não poderiam continuar sendo satisfeitas pelo mesmo modelo de automóvel privado, modelo este importado dos Estados Unidos nos anos 1970 e 1980. Seria, portanto, necessário a implementação de estratégias e políticas que favorecessem o transporte não motorizado e o transporte coletivo.

Esta disputa é mais intensa em grandes centros urbanos, onde além do adensamento demográfico, há também a concentração de fluxos de pessoas que se destinam a lugares com funções semelhantes, como o estudo ou trabalho. Existe uma forte tendência de aglomeração de edificações que servem funções semelhantes, como bairros com alta concentração de prédios comerciais. A exemplo, segundo levantamento do Portal Imóvel, reportado pelo Globo Sul News (2018), o bairro Itaim Bibi no município de São Paulo concentra cerca de 14% da oferta de imóveis comerciais disponíveis. Assim, além da densidade demográfica, o efeito de aglomeração faz com que se intensifique o congestionamento à medida em que pessoas se direcionam a regiões que aglomeram funções semelhantes.

São Paulo é a cidade mais populosa do Brasil e a quarta zona metropolitana mais populosa do mundo (United Nations, 2018). Segundo dados do Detran, a frota de carros na cidade aumentou de 4,7 milhões para 8,6 milhões de carros entre 1997 e 2017. Em uma pesquisa encomendada pelo G1 (2018), o Instituto Brasileiro de Opinião Pública e Estatística apontou que 43% dos moradores da cidade têm o ônibus como principal meio de transporte para se deslocar na cidade.

As vias paulistanas são especialmente demandadas. Segundo o IBGE, é estimado para 2019 que 12.252.023 pessoas vivam na cidade. Ainda, em 2018, o IBGE estimou que a cidade de São Paulo tivesse frota de 5.729.252 automóveis e 45.544 ônibus (IBGE, 2019).

A saturação das vias da cidade fica evidente quando analisam-se dados da pesquisa do Ibope de 2018, que apontaram que, todos os dias, os paulistanos levam em média 1h57 para se deslocar no percurso de ida e volta para realizar suas atividades principais, como trabalhar e estudar (IBOPE, 2018).

A frota de ônibus é responsável por atender uma demanda diária de 3.300.034 de pessoas, segundo dados da SPTrans para 2018, atingindo uma demanda na hora-pico de 470.355 passageiros por hora por direção. Ainda segundo dados da SPTrans, para 2013, havia uma média de 836 passageiros por ônibus por dia para a cidade (SPTrans, 2018). Esses dados representam a importância do transporte público coletivo para a maior cidade do Brasil.

Tanto em sentido econômico, como em sentido social e ambiental, o transporte público se mostra vantajoso ao individual devido à sua maior capacidade de transporte. Assim, para melhor gerenciar cidades com demandas desafiadoras como São Paulo, é preciso propor soluções que beneficiem aquele modo de transporte.

Segundo Ferraz (2001), o transporte público coletivo é de fundamental importância para as cidades, primeiramente por seu aspecto social e democrático – ao representar o único modo motorizado seguro e cômodo acessível às pessoas de baixa renda e pessoas que não podem dirigir. Além disso, também tem a função de proporcionar uma opção ao automóvel, objetivando a melhora da qualidade de vida da comunidade ao reduzir congestionamentos, poluição ambiental e acidentes.

Uma maneira de se favorecer o transporte coletivo é o favorecimento do fluxo de ônibus através de faixas exclusivas, que surgiram no Brasil nas décadas de 1970 e 1980.

Em 1974, foi cunhado em Curitiba o termo BRT (Bus Rapid Transit) pelo arquiteto, e na época prefeito da cidade, Jaime Lerner. O termo que em português significa “Transporte Rápido por Ônibus” propõe não apenas uma mudança na frota e infraestrutura convencionais, como também

mudanças que formam um novo conceito de mobilidade urbana. Neste sentido, a maioria dos BRTs são caracterizados pelos seguintes aspectos principais (WRI Cidades, 2019):

1. Faixas dedicadas para a circulação do transporte coletivo;
2. Embarque e desembarque no mesmo nível do veículo;
3. Informação em tempo real aos usuários;
4. Priorização semafórica.

As faixas de ônibus são uma forma simples de responder a demanda por infraestrutura sem precisar recorrer a soluções mais custosas e que requerem melhor planejamento, como ampliação de oferta de transporte metroviário. O Brasil é o país que tem a maior extensão de corredores de ônibus, com mais de 840 quilômetros em 34 cidades diferentes, e atendendo 12 milhões de usuários por dia (The City Fix, 2015).

Segundo Ferraz (2001), o objetivo do emprego de faixas exclusivas de ônibus é aumentar a velocidade e capacidade dos sistemas de ônibus que se movimentam nas ruas. Esses ganhos são ainda maiores no caso de vias específicas serem isoladas e terem preferência em semáforos, como a alocação de tempos de verde com base no número de passageiros ao invés do número de veículos da via.

Neste contexto, esse trabalho busca analisar os benefícios da implantação de uma faixa de ônibus em um estudo de caso para um trecho específico da Zona Sul de São Paulo através da análise de dados geolocalizados gerados automaticamente pelo sistema de GPS instalados na frota de ônibus da cidade.

1.1. Objetivos

O objetivo principal deste trabalho de conclusão de curso é apresentar uma proposta de alteração viária pela inserção de faixas exclusivas de ônibus à direita em uma via do município de São Paulo, sob a perspectiva de redução de tempos de viagem para os usuários de transporte público.

Para atingir o objetivo principal do trabalho são propostos os seguintes objetivos específicos:

1. Analisar as faixas de ônibus implantados na cidade de São Paulo para verificar se existe aumento expressivo nas velocidades médias da via e comparar as características desses corredores com a via deste estudo;
2. Identificar os trechos com redução significativa do tempo de viagem na via escolhida e verificar a pertinência de implantação de uma faixa exclusiva de ônibus nestes trechos;
3. Apresentar uma proposta de alteração de sinalização viária horizontal para inserção de faixas exclusivas de ônibus nos trechos identificados como de maior restrição à redução do tempo de viagem pelo transporte coletivo.

1.2. Justificativa

O presente trabalho busca endereçar a possível utilização de dados obtidos atualmente de forma automática para propor modificações na infraestrutura do transporte público das diferentes cidades brasileiras. A disponibilização da vasta quantidade de dados gerados diariamente ainda é um fenômeno recente da era chamada de Big Data. A utilização desta enorme quantidade de dados é progressiva uma vez que os dados precisam ser analisados dentro do contexto de cada situação a ser modelada.

O presente trabalho busca explorar como estes dados podem ser traduzidos em uma análise de fácil compreensão para os tomadores de decisão, para que possam gradualmente fazer decisões mais informadas e menos baseadas apenas na intuição e senso comum.

O trabalho aplica um método que torna possível mapear os trechos críticos para a circulação de ônibus. Nestes trechos, as faixas exclusivas devem ser priorizadas, porque o ônibus transporta

consideravelmente mais pessoas do que o carro. Portanto, espera-se que o impacto médio gerado pela implantação da faixa seja positivo nestes trechos. Considera-se que o procedimento adotado poderá ser replicado para qualquer outra via da qual se possua dados sobre a circulação de ônibus obtidos de maneira automática analogamente ao estudo apresentado neste trabalho.

1.3. Estrutura do Texto

Após esta Introdução, o capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica sobre pesquisas que já foram feitas quanto ao tema de implantação de faixas de ônibus e que foram utilizadas no presente estudo. Posteriormente, no capítulo 3, apresenta-se o método abordado neste trabalho, com caracterização dos dados utilizados e o procedimento para tratá-los e obter os resultados. O capítulo 4 apresenta os resultados da aplicação do método ao estudo de caso e, finalmente, o capítulo 5 contém as conclusões sobre a proposta de implantação de faixas exclusivas na via analisada.

2. Revisão Bibliográfica

Segundo Krupinski (2016), “a forma mais abstrata de se conceber a cidade em operação seria como o conjunto de espaços contendo inter-relacionamentos de fluxos de matéria, energia, informações e pessoas”. O espaço urbano é palco de diversos agentes exercendo suas vontades individuais. A sobreposição de interesses gera conflitos que devem ser gerenciados, como o congestionamento.

A Política Nacional de Mobilidade Urbana define a mobilidade urbana como uma das prioridades na agenda de planejamento das cidades modernas, uma vez que a administração pública enfrenta o desafio de atender o tráfego da frota crescente que já ultrapassa 75 milhões de veículos no país (Política Nacional, 2013).

Em uma pesquisa demonstrada por O Estado de S. Paulo (2017), foi constatado que carros e ônibus transportam contingentes semelhantes de pessoas diariamente: cerca de 30% ante a 40%. Todavia, dados do Instituto Estadual de Meio Ambiente (IEMA, 2017), apontaram que os carros ocupam 88% do espaço das vias, ante somente 3% usados pelos ônibus.

Segundo o inventário oficial de emissões da cidade de São Paulo, organizado pela Prefeitura, identificou-se que o setor de transportes responde por 61% das emissões totais. Ainda, pesquisa realizada em 2017 aponta que os carros, que levam apenas 30% das pessoas, representam 72,6% das emissões do setor de transportes (O Estado de S. Paulo, 2017)

A Política Nacional (2013) indica as faixas exclusivas para o transporte coletivo como “forma de distribuir de forma mais justa o uso do espaço físico das vias [...]”, uma vez que o ônibus comum leva em média a mesma quantidade de passageiros que 50 automóveis. Favorecer o transporte coletivo através de faixas exclusivas traz o aumento da velocidade média, economia de tempo, combustível, e diminui os custos da operação, possibilitando redução da tarifa de usuários.

Vuchic (2007) caracteriza as faixas exclusivas de ônibus como o primeiro estágio de priorização do transporte coletivo, onde não há qualquer barreira física, mas apenas o uso de sinalização que orienta motoristas para usar as faixas de modo segregado com pena de multa. Vale notar que ainda existem dois níveis maiores de priorização do fluxo de transporte coletivo: segundo nível – pista

exclusiva, que é segregada através de canaletas e dividem a via normal da faixa de circulação dos ônibus; e o terceiro nível – via completamente segregada, não sofrendo interferências diretas com o tráfego de automóveis.

Dentre os benefícios da utilização de faixas exclusivas de ônibus, a Associação Nacional de Transportes Urbanos (2013), indica também as principais vantagens:

- Redução do tempo de Viagem;
- Implantação e atendimento à população em Curto Prazo;
- Baixo custo de implantação (entre 100 mil e 500 mil reais por quilômetro);
- Não é necessário desapropriar imóveis;
- Integração do projeto com a área urbana.

Em um estudo feito pelo Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA, 2014), três faixas de ônibus foram analisados na cidade de São Paulo e constatou-se que houve um ganho médio de 22,1% na velocidade média a depender da faixa. Em um estudo posterior, expandiu-se a análise das faixas de ônibus sobre 64 faixas, divididas em 91 trechos homogêneos. Neste estudo, identificou-se que os trechos tiveram ganho de 17,4% em suas velocidades médias, sendo que 86 dos 91 trechos tiveram algum aumento na velocidade média.

Os estudos hoje desenvolvidos pelo IEMA fazem uso do geoprocessamento como principal método de análise pela sua facilidade de obtenção de dados em larga escala e remotamente. Rosa (2013) indica que os primeiros sistemas de informação geográfica surgiram entre as décadas de 1950 e 1960 como forma de diminuir o custo da produção de mapas. O Brasil começou a utilizar estes sistemas no início da década de 1970 através do uso de satélites americanos. O uso do geoprocessamento tornou-se progressivamente mais acessível durante as décadas seguintes, e passou a ser instrumento fundamental para os tomadores de decisão.

Rosa (2013) ainda define os Sistemas de Informação Geográfica como:

“Conjunto de ferramentas computacionais, composta por equipamentos e programas que, por meio de técnicas, integra dados, pessoas e instituições, de forma a tornar possível a coleta, o armazenamento, o processamento, a análise e a disponibilização de informações georreferenciadas, que possibilitam maior facilidade, segurança e agilidade nas atividades humanas, referentes ao monitoramento, planejamento e tomada de decisão, relativas ao espaço geográfico”

Especificamente para os dados georreferenciados para transportes, a estrutura de dados que atualmente utilizada com mais frequência é a GTFS (General Traffic Feed Specification), desenvolvido pela empresa Google desde 2005. É uma especificação de dados que permite instituições públicas divulgarem seus dados coletados para serem usados por uma vasta quantidade de softwares (GTFS Portal, 2019).

O método utilizado no estudo do IEMA (2014) também fez uso de dados georreferenciados fornecidos pela SPTrans, empresa pública que administra as operações de ônibus concessionadas à empresas privadas em São Paulo. A base de dados para aquele estudo consistiu em registros de sinais de GPS, desenhos georreferenciados das vias e das linhas de ônibus, além de dados sobre os veículos e fatores de emissão.

O mesmo estudo utilizou uma vasta quantidade de dados que eventualmente apresentavam inconsistência, salientando a necessidade do tratamento dos dados da SPTrans, de forma a torná-los válidos para uma análise coerente. Neste tratamento, é importante salientar os critérios selecionados para descartar as viagens julgadas inconsistentes:

- Intervalos maiores do que 10 minutos sem emissão de sinal GPS;
- Menos de 3 sinais emitidos em faixas exclusivas;
- Ausência de sinal GPS emitidos entre pontos que caracterizassem a operação de veículos;
- Início e término no mesmo terminal;
- Sinais de GPS emitidos a uma distância maior que 30 metros da faixa exclusiva;

- Apresentar horário em que a faixa exclusiva não operasse;
- Velocidade média calculada menor que 4 km/h e maior que 60km/h
- Distância percorrida na faixa exclusiva menor que 500 metros.

Outro estudo elaborado por Monteiro et al. (2015) para a análise de métricas de qualidade de transporte introduz um método de estimativa de velocidade entre pontos de parada dos veículos para subida e descida de passageiros, ponderando-se as distâncias entre as medições uma vez que não são feitas exatamente nesses pontos de referência.

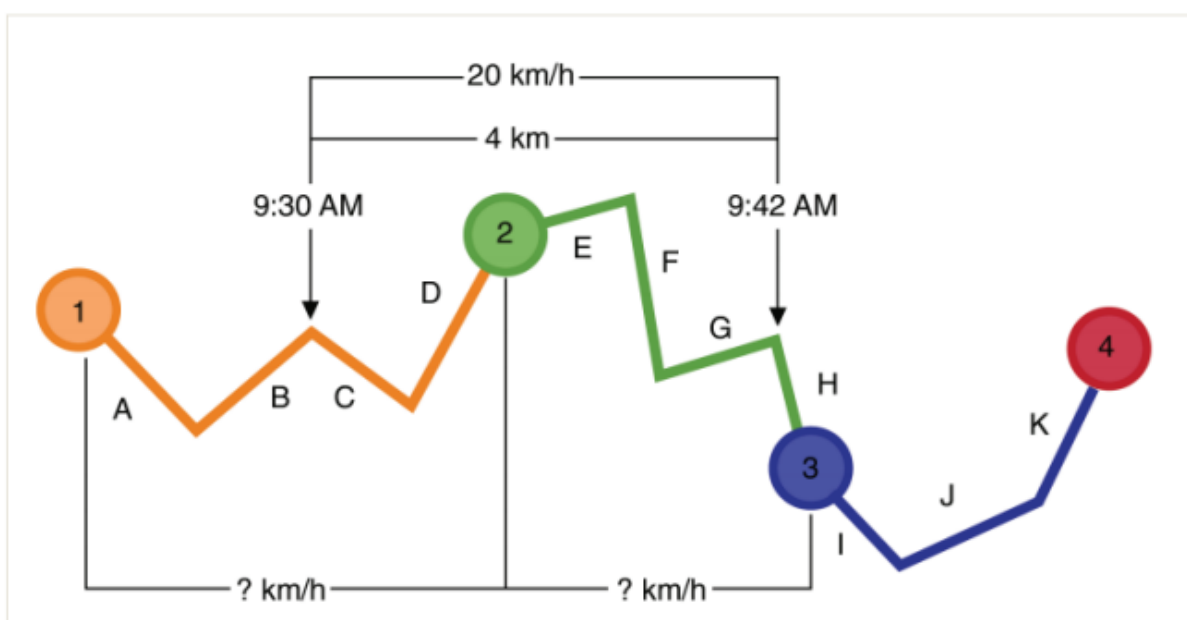


Figura 2.1 - Modelo de cálculo de velocidades entre pontos aleatórios (Fonte: Scipopulis)

Dessa forma, como indicado na Figura 2.1, a estimativa da velocidade média entre os pontos 1 e 2, e os pontos 2 e 3 considera a suas respectivas parcelas da velocidade medida (20 km/h) ponderadas pelas distâncias entre as medições e esses pontos de referência (1, 2, 3 e 4).

A agência governamental *Massachusetts Bay Transportation Authority* reitera que os transportes coletivos como ônibus obtêm eficiência ao transportarem em média 40 pessoas, enquanto geralmente apenas 1 passageiro em veículos particulares. Isso leva a conclusão de que o foco deve ser dado para esse meio de transporte, sendo o uso de faixas de ônibus um dos principais métodos para separar o espaço do coletivo e do individual. (MBTA, 2019)

O mesmo estudo realizou análise de dados de GPS para ônibus em vias na cidade de Everett no estado do Massachusetts, Estados Unidos, avaliando mudanças no tempo de transporte ocasionados pela inclusão de faixa de ônibus. O estudo estatístico baseado na mediana das velocidades e 90º percentil delas (entendidos como valores representativos das velocidades por anular a influência de resultados fora do padrão) indicaram ganhos expressivos de tempo de transporte, com redução de 8 minutos (de 13 minutos para 5 minutos no tempo para cruzar a via em estudo no período da manhã).

Uma segunda parte dos resultados obtidos no presente trabalho de formatura decorre das orientações contidas em normas de dimensionamento de faixas de ônibus dadas pela ABNT NBR 9050-04, a CET (Companhia de Engenharia de Tráfego), o Ministério dos Transportes e o Plano Diretor da Cidade de São Paulo.

A “NBR 9050 - Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos” (2004) especifica dimensões confortáveis para passeio (calçadas), considerando que o presente estudo visa, além da própria implantação das faixas, uma visão de reurbanização da via escolhida para análise de implantação de faixa exclusiva de ônibus. Dessa forma, havendo necessidade de remodelagem das calçadas, este será feito conforme os padrões descritos pela norma.

De acordo com a NBR 9050, as faixas livres devem absorver com conforto um fluxo de tráfego de 25 pedestres por minuto, com largura mínima de 1,20 metros, atendendo ao modelo da Figura 2.2. O mesmo modelo é garantido pelo Art. 4º do Decreto Nº 58.611 (decreto que consolida os critérios para a padronização das calçadas, bem como regulamenta o disposto nos incisos VII e VIII do "caput" do artigo 240 do Plano Diretor Estratégico, o Capítulo III da Lei nº 15.442, de 9 de setembro de 2011, e a Lei nº 13.293, de 14 de janeiro de 2002).

$$L = \frac{F}{K} + \sum i \geq 1,20$$

onde:

L é a largura da faixa livre;

F é o fluxo de pedestres estimado ou medido nos horários de pico (pedestres por minuto por metro);

$K = 25$ pedestres por minuto;

$\sum i$ é o somatório dos valores adicionais relativos aos fatores de impedância.

Os valores adicionais relativos a fatores de impedância (i) são:

- a) 0,45 m junto a vitrines ou comércio no alinhamento;
- b) 0,25 m junto a mobiliário urbano;
- c) 0,25 m junto à entrada de edificações no alinhamento.

Figura 2.2 - Norma de cálculo de largura de calçadas (Fonte: ABNT NBR 9050)

Quanto às faixas de ônibus propriamente ditas, a Companhia de Engenharia de Tráfego (CET, 2001) define em seu Manual, que a largura recomendável para faixa de uso exclusivo de ônibus no fluxo, demarcada a partir do meio fio até o eixo da linha de divisão de fluxos, deve ser de 3,50 metros com o uso de tachão e de 3,30 metros sem o uso de tachão.

A faixa exclusiva de ônibus no fluxo, com ou sem regulamentação de horário, deve ser demarcada com uma linha contínua de cor branca, de 0,25 metros de largura, em toda a sua extensão, distante a 2,0 metros da faixa de travessia de pedestres. (CET, 2001).

No início da faixa exclusiva e nos locais em que se deseja permitir a sua transposição pelos veículos que realizam a conversão à direita, esta linha deve ser tracejada, na relação 1:1, com seguimentos de 1,0 metro e deve ser interrompida nos cruzamentos semaforizados. (CET, 2001).

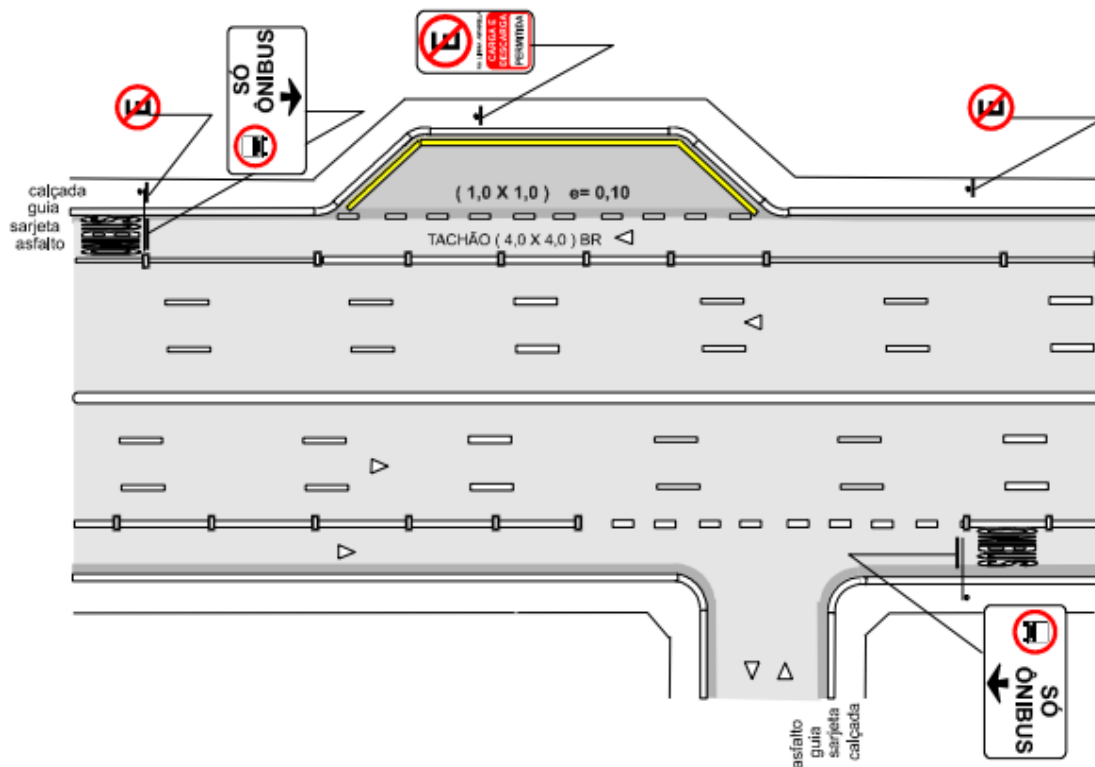


Figura 2.3 - Características de sinalização de faixas de ônibus (Fonte: CET)

As demais faixas de rolagem seguem as diretrizes do Ministério dos Transportes, considerando largura mínima de 2,4 metros para rolagem de veículos comuns.

A CET (2001) também apresenta normas de disposição espacial e critérios de locação necessários para faixas de ônibus. Os critérios são apresentados como sendo:

- **Distância de entrelaçamento:** Distância de faixa tracejada para movimentos de conversão à direita são recomendadas pela CET para facilitar a conversão dos veículos individuais, tendo assim uma área da faixa de ônibus em que eles possam trafegar próximos às curvas. O modelo empírico da Figura 2.4 foi desenvolvido para cálculo dessa distância.

$$D = 10 + \frac{f_v \cdot f_o}{1000}$$

onde:

D = distância de entrelaçamento (metros);

F_v = frequência de veículos/hora efetuando a conversão;

F_o = frequência de ônibus/hora na faixa.

Figura 2.4 - Modelo empírico de cálculo de distância de entrelaçamento (Fonte: CET)

Para conversões não semaforizadas é recomendada a utilização de pelo menos 15 metros de faixa tracejada. Para as semaforizadas, pelo menos 30 metros.

Adotando-se o modelo empírico para múltiplos de 5, a Tabela 2.1 foi desenvolvida para valores a serem utilizados em vias (CET, 2001).

Tabela 2.1 - Distância empírica de entrelaçamento (Fonte: CET, 2001)

D = Distância de entrelaçamento (m)										
f_v \ f_o	100	125	150	175	200	225	250	275	300	350
100	20	20	25	25	30	30	35	35	40	40
150	25	25	30	35	40	40	45	50	55	55
200	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75
250	35	40	45	50	60	65	70	75	85	90
300	40	45	55	60	70	75	85	90	100	100
350	45	50	60	70	80	85	95	100*	100*	100*
400	50	60	70	80	90	100	100*	100*	100*	100*

(*) Quando o valor encontrado para (D) for superior ao máximo recomendado, o mesmo deve ser substituído por 100 metros.

- **Início da faixa:** deve sempre iniciar-se com linha branca tracejada, com distância mínima de 15 metros;
- **Interseções não semaforizadas - faixa à direita:** locais com permissão de entrada de veículos individuais tanto para conversão à direita quanto para entrada de veículos na avenida principal, devem ser demarcados com linha tracejada de 15 metros a 30 metros de extensão.

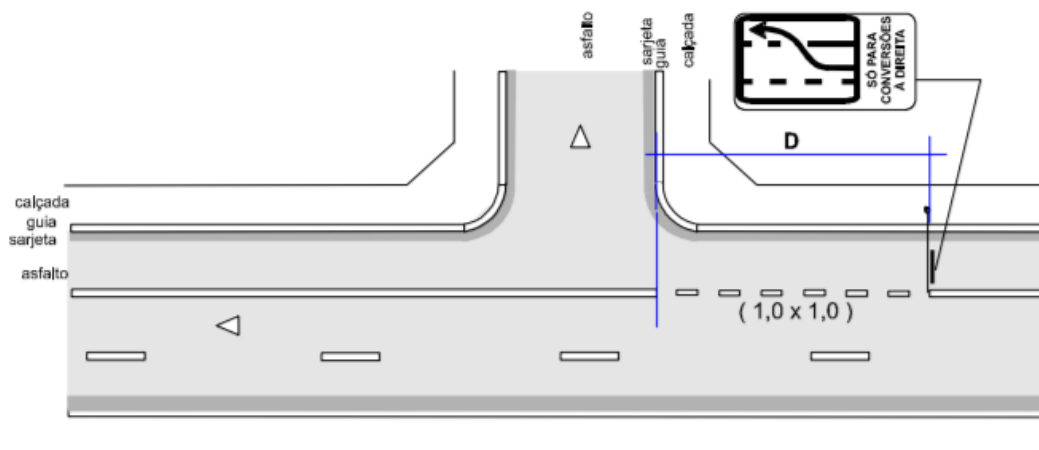


Figura 2.5 - Regras de desenho geométrico para conversão à direita em interseção não semaforizada (Fonte: CET)

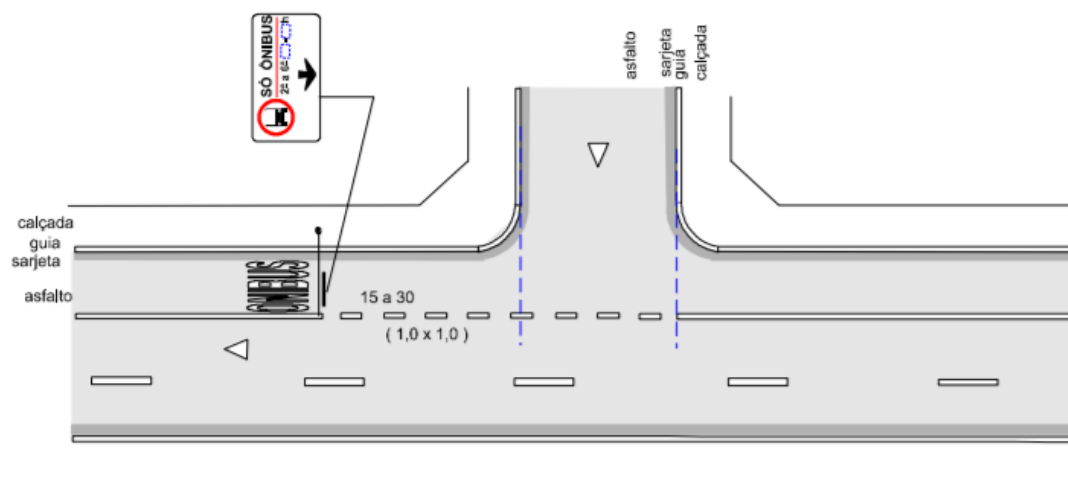


Figura 2.6 - Regras de desenho geométrico para acesso à via principal com faixa de ônibus (Fonte: CET)

- **Conversão à direita:** nos locais onde deve haver permissão a entrada de veículos à direita, uma linha contínua de 15 metros a 30 metros de aproximação deve ser demarcada, tanto para saída quanto para acesso à avenida sinalizada.

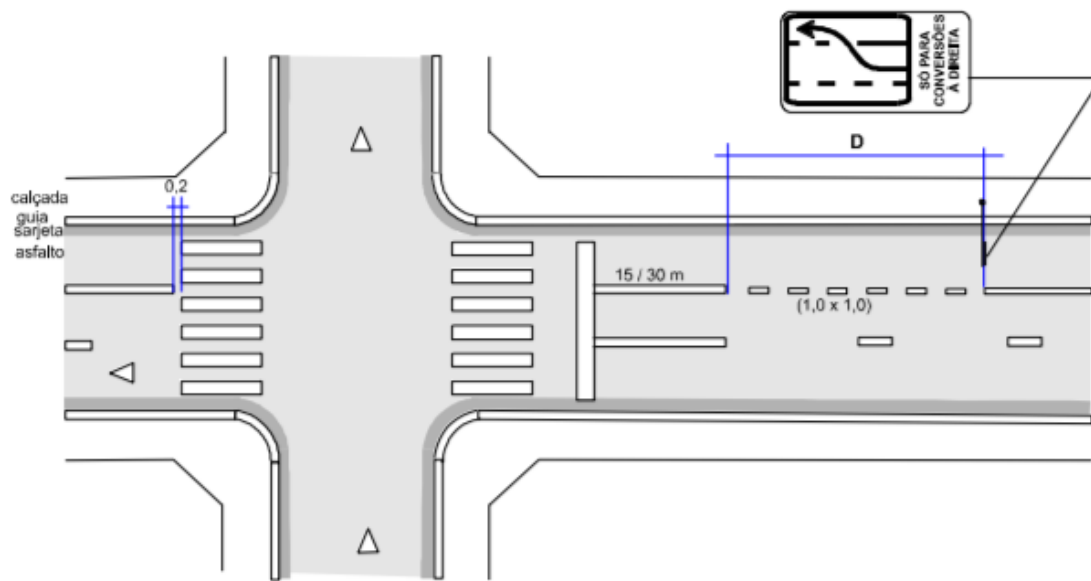


Figura 2.7 - Regras de desenho geométrico para conversão à direita com faixa de ônibus (Fonte: CET)

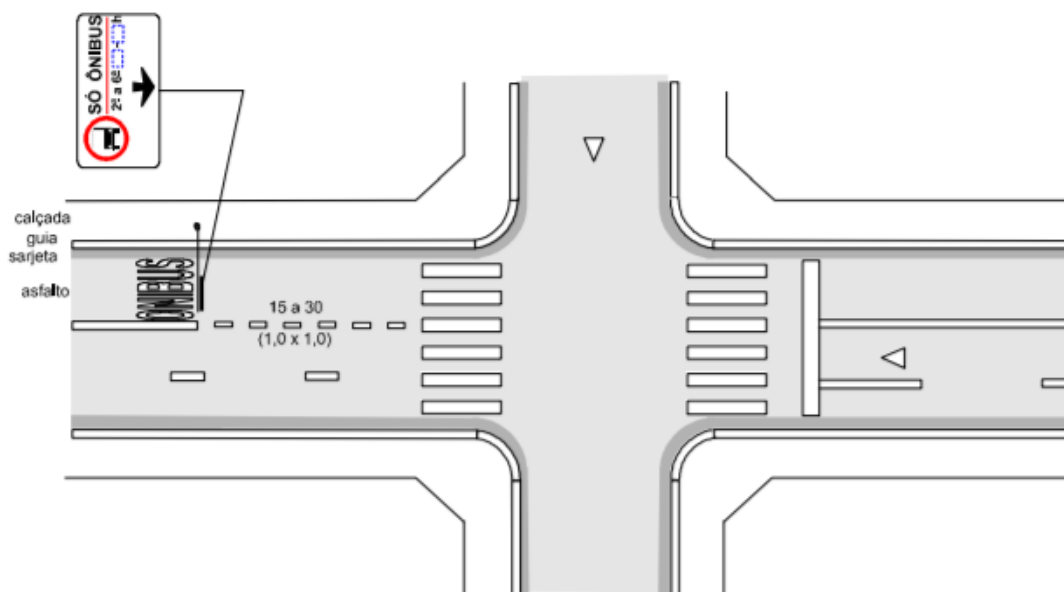


Figura 2.8 - Regras de desenho geométrico para acesso à avenida com faixa de ônibus (Fonte: CET)

3. Método

A primeira questão a ser analisada neste trabalho de formatura é a decisão sobre implantar um corredor de ônibus em uma avenida na cidade de São Paulo de acordo com os padrões de velocidades mínimas. Em segundo lugar, caso decidido pela implementação, determinar em quais trechos da via essa alteração deveria acontecer.

A via onde o estudo foi realizado é a Avenida Maria Coelho Aguiar e sua extensão a sul da cidade de São Paulo, compreendendo a Rua José Barros Magaldi. Localizada no Jardim São Luis, na Zona Sul da cidade, a avenida apresenta expressivo fluxo de veículos, servindo como de ligação entre o distrito do Capão Redondo à Marginal Pinheiros. Entende-se como essencial um estudo aprofundado quanto ao transporte público em via de tal importância. As Figuras 3.1 à 3.3 identificam a avenida em estudo e suas características gerais.

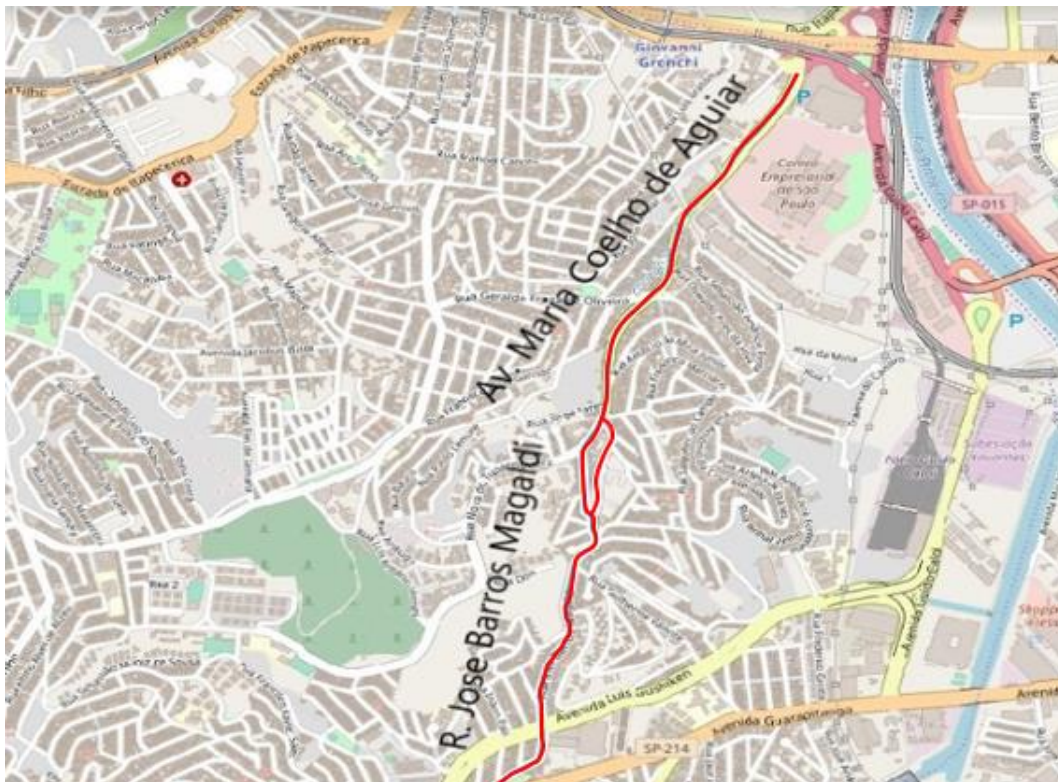


Figura 3.1 - Ilustração da via objeto de estudo



Figura 3.2 - Detalhe norte da via (Av. Maria Coelho de Aguiar)

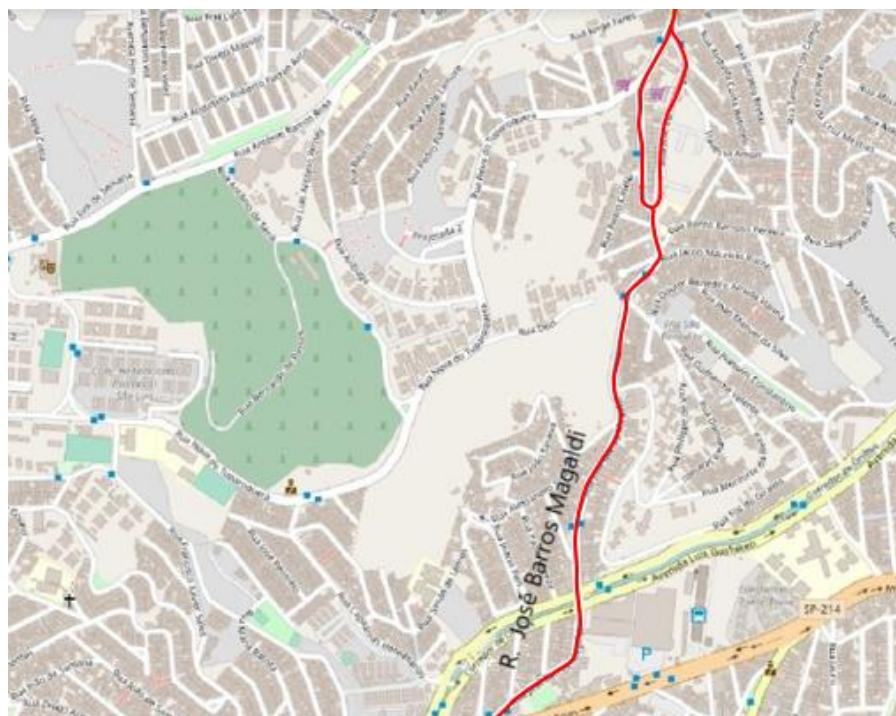
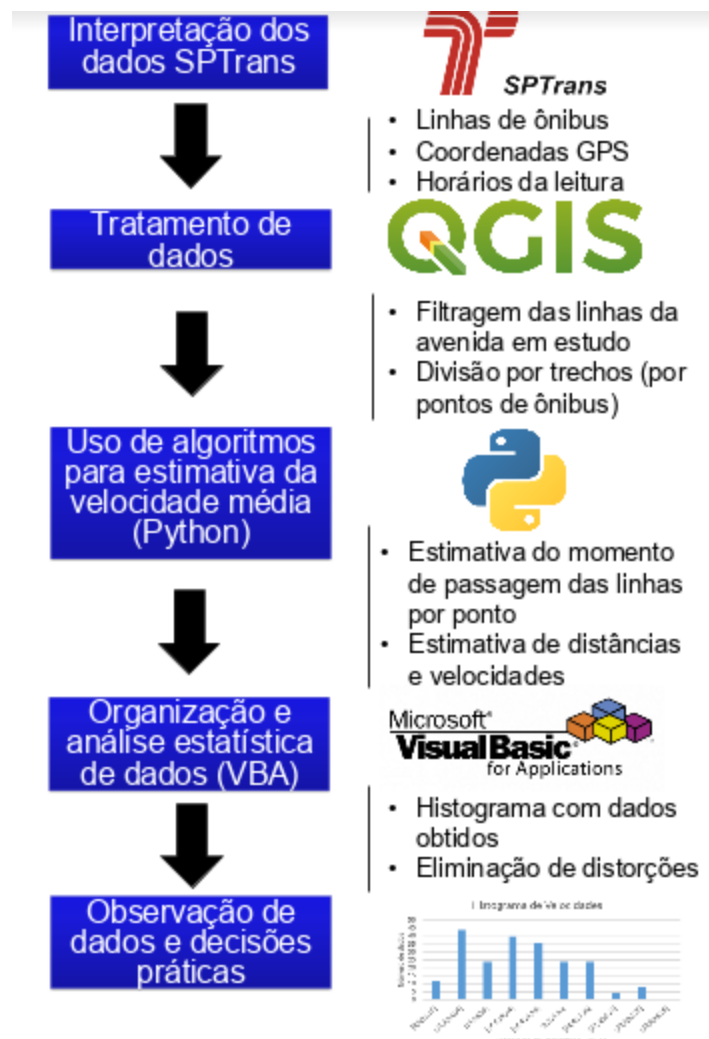


Figura 3.3 - Detalhe norte da via (Rua José Barros Magaldi)

As decisões quanto à pertinência de implantação de faixas exclusivas são baseadas nas informações dos tempos médios de viagem despendidos pelos ônibus em trechos definidos ao longo da avenida em estudo. Assim, se a velocidade correspondente de um trecho for abaixo de uma velocidade mínima proposta, um corredor exclusivo será sugerido de acordo com os padrões de sinalização viária apresentados no capítulo anterior.

Os trechos definidos para cálculo foram convenientemente escolhidos delimitados pelos pontos de ônibus na avenida em cada sentido de circulação. Assim, entre cada par de pontos de ônibus subsequentes está situado um trecho. Mais detalhes dos trechos são apresentados nas próximas seções.

Tomando-se como base os detalhes apresentados, o desenvolvimento do método pode ser verificado nas etapas da Figura 3.4.



3.1. Estrutura dos dados fornecidos

Os dados utilizados neste estudo referem-se às localizações dos ônibus obtidas por GPS no período de um dia (da 4h de 13 de julho de 2013 às 3h59 de 14 de julho de 2013), referente à circulação de todos os veículos que trafegaram na via descrita na seção anterior. Para que fosse possível obter os dados de tempo de viagem de maneira estruturada foi necessária uma conversão dos dados brutos para cálculo de tempo e velocidade média de transporte.

Os dados, denominados AVL (*Automatic Vehicle Location*), consistem em dois arquivos *Comma-Separated-Values* (CSV):

- MO: base com mais de 11 milhões de observações, cada uma estruturada em uma linha (registro) do arquivo no padrão {data evento; data avl; código linha; latitude; longitude; id ônibus} conforme ilustrado na Figura 3.5.

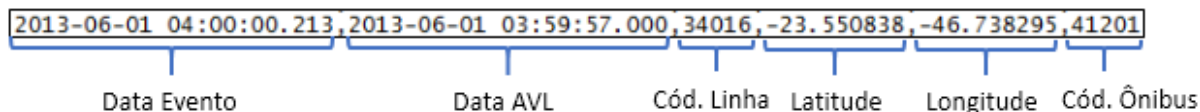


Figura 3.5 - Estrutura dos dados MO (AVL)

É importante observar que o equipamento de GPS obtém duas medidas de data por registro, a Data Evento e a Data AVL.

A Data AVL se trata da “data GPS”, ou seja, o horário em que o equipamento de AVL registrou o evento. A Data Evento, por sua vez, se trata do horário de registro no servidor do momento em que o ônibus esteve no local, contendo certa defasagem temporal quanto à Data AVL.

O estudo foi tomado com base nos horários do GPS (do equipamento AVL), acreditando tratar-se de medida mais realista, embora não tenha sido objeto de tratamento pelo servidor. Isso demandou maior atenção na análise dos dados.

- AL: relação linha-código referente ao glossário de consulta, onde o código da linha de ônibus é convertido na linha em si, cuja estrutura é {linha; tipo; código linha; sentido} conforme ilustrado na Figura 3.6.

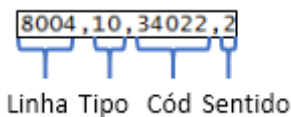


Figura 3.6 - Estrutura dos dados AL (AVL)

Uma vez que os dados são CSV com medições periódicas indicando local e horário, a maioria das observações não é obtida exatamente nos pontos de referência do estudo (pontos de ônibus), portanto a estruturação dos dados é um problema secundário a ser solucionado para as estimativas de tempo de viagem.

Nessas condições, é necessário identificar a localização física dos pontos de ônibus na via estudada, cujo procedimento foi realizado com apoio do software QGIS.

3.2. Localização das coordenadas da avenida e dos pontos de ônibus

O QGIS é um *software* aberto utilizado para o manuseio de dados geoespaciais. O *software* é amplamente aplicado para a edição e análise de informações espaciais, além de construção e exportação de mapas. Também utiliza arquivos em camadas georreferenciadas com características do tipo *raster* (imagens) e *vetorial* (pontos, linhas e polígonos).

O QGIS foi usado neste trabalho primeiramente com o objetivo de identificar as coordenadas pertencentes à via estudada para possibilitar a filtragem do arquivo MO e, assim, obter apenas observações na via estudada. Foram definidos 60 pontos coordenados em cada sentido da via pelo *software*.

Essa captura de coordenadas seguiu uma ordem específica de coleta e refinamento de dados. Primeiramente, o mapa georreferenciado da cidade de São Paulo foi importado do *OpenStreetMap* para o QGIS usando plugin deste *software*.

Em seguida, a avenida em estudo foi identificada e um desenho da via foi estabelecido em arquivo vetorial de linha, tal que os trajetos nos dois sentidos (Bairro-Centro e Centro-Bairro) foram desenhados e associados a uma nova camada criada. O trajeto foi desenhado de forma que coincidissem com o eixo da faixa mais à direita no sentido tomado. Adicionalmente, os pontos de ônibus foram identificados e estabelecidos no arquivo vetorial sob a forma de camada de pontos, conforme ilustrado na Figura 3.7.

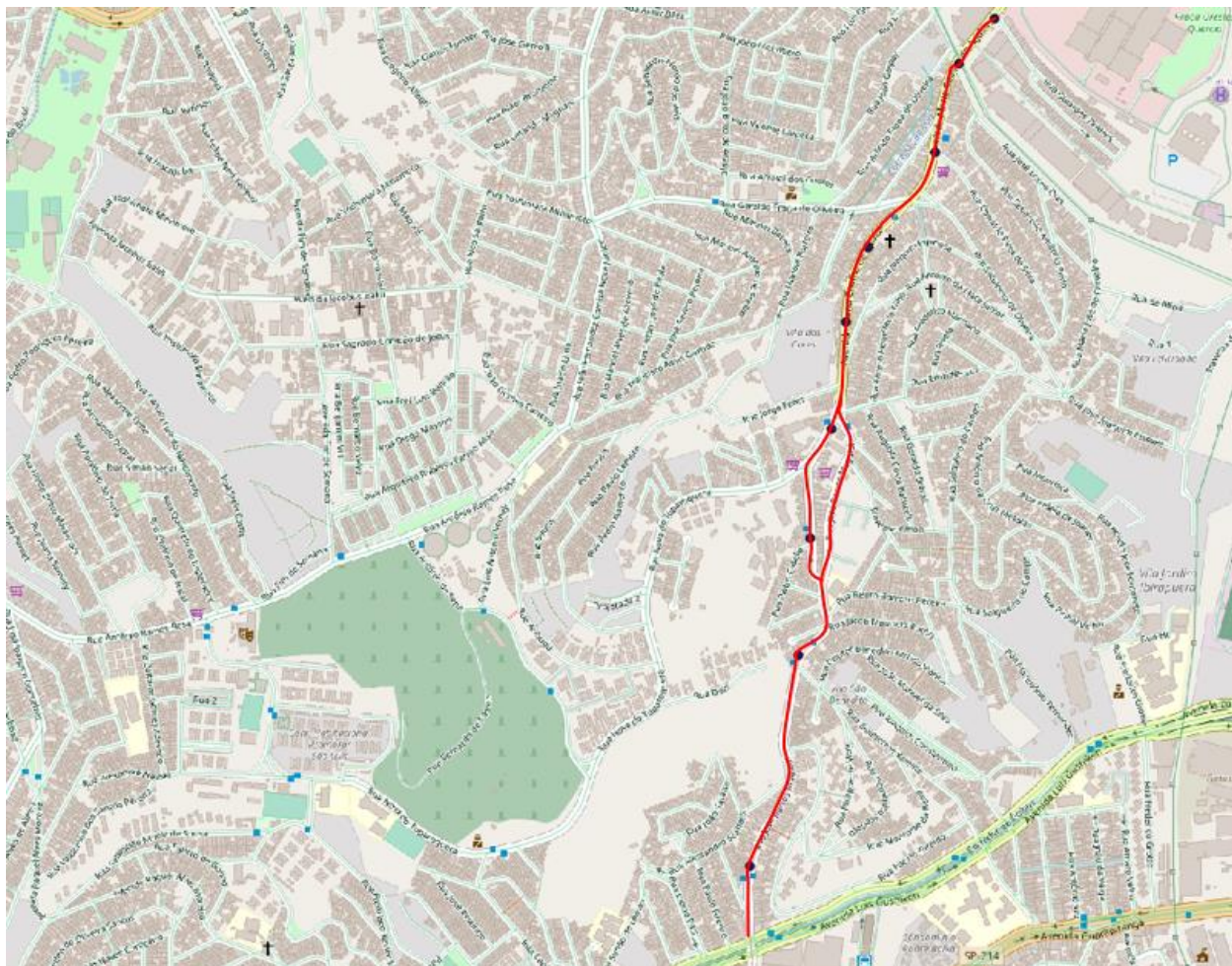


Figura 3.7 - Identificação da avenida e dos pontos de ônibus via software QGIS

Sobre este trajeto desenhado, executou-se a função *QChainage*, dividindo-o em 60 pontos equidistantes para depois serem exportados em formato de coordenadas CSV e assim possibilitar sua leitura via *Python*. Esse procedimento visou filtragem para posterior leitura do arquivo conforme descrito na Seção 3.6.

3.3. Procedimento para obtenção de tempo de viagem

3.3.1. Filtragem do arquivo MO original para linhas de interesse

O procedimento de leitura dos dados obtidos foi realizado via *Python*, com auxílio da *library Pandas*. Utilizando as propriedades do objeto do *Pandas*, todas as linhas do arquivo MO puderam ser separadas, e quebradas por informação.

A Figura 3.8 demonstra a ordem de procedimentos de programação realizados por algoritmos.

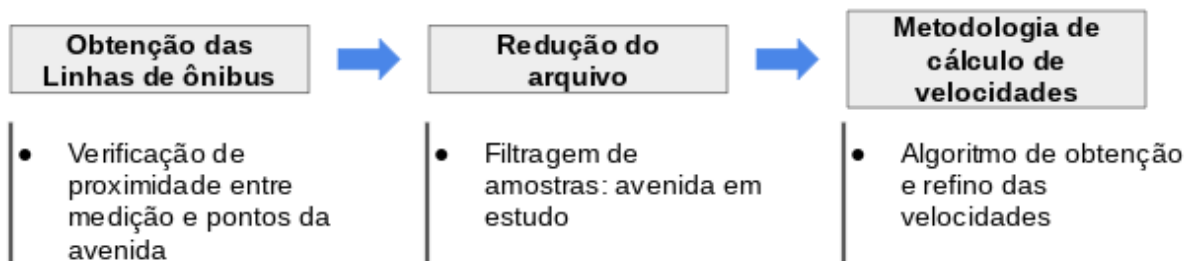


Figura 3.8 - Ordem de procedimentos de programação para cálculo das velocidades por trecho

Utilizando-se das 60 coordenadas da via obtidas pelo QGIS na Seção 3.2 em um arquivo único separado, foi realizada uma comparação de proximidade entre essas coordenadas e as coordenadas medidas no arquivo MO (Código no Apêndice I). A varredura no MO foi realizada, e cada uma de suas linhas (registros de dados descritas na Seção 3.1) foi comparada aos pontos da avenida com precisão de cálculo de $0,0001^{\circ}$ (latitude e longitude), o que representa um intervalo de 11 m para captura apenas de leituras pertencentes à avenida. Por essa lógica, duas condições devem ser simultaneamente satisfeitas para considerar uma medida de GPS como pertencente à avenida:

- I. sua latitude esteja dentro do intervalo $\{lat - 0,0001^{\circ}; lat + 0,0001^{\circ}\}$, onde *lat* é a latitude do ponto tomado para comparação
- II. sua longitude esteja dentro do intervalo $\{long - 0,0001^{\circ}; long + 0,0001^{\circ}\}$, onde *long* é a longitude do ponto tomado para comparação

Quando estas duas condições são cumpridas, o registro correspondente é então agregado à lista de linhas de ônibus que cruzam a avenida em dado momento.

Dessa forma, os códigos das linhas de ônibus por ponto da avenida puderam ser obtidos, apresentados nas Tabelas 3.1 e 3.2.

Tabela 3.1 - Lista simplificada de códigos de ônibus localizadas pelo algoritmo

Código de Ônibus	Ponto da Avenida					
	0	1	2	3	4	5
	45	13	5	1309	1220	176
	1318	1224	176	1224	186	1226
	176	2099	1226	45	176	45
	13	31	31	1220	1318	5
	31	5	45	1316	1224	13
	1224	1316	1316	186	1226	185
	186	1318	1989	176	13	1318
	1226	1220	1224	31	45	1309
	1316	176	1309	13	31	186

A utilização do arquivo AL (descrito na Seção 3.1) permitiu a conversão dos códigos de ônibus para as linhas que os representam.

Tabela 3.2 - Códigos de ônibus da Tabela 3.1 convertidas para linhas

Linhas Contidas	Ponto da Avenida					
	0	1	2	3	4	5
	5318	6836	6801	6049	6043	6007
	675A	6047	6007	6047	6013	6059
	6007	807P	6059	5318	6007	5318
	6836	6805	6805	6043	675A	6801
	6805	6801	5318	647P	6047	6836
	6047	647P	647P	6013	6059	637A
	6013	675A	7021	6007	6836	675A
	6059	6043	6047	6805	5318	6049
	647P	6007	6049	6836	6805	6013

Num segundo momento desta etapa de obtenção de linhas, foi realizada uma verificação de modo a evitar que dados tenham sido perdidos no processo de coleta. Essa validação foi realizada dividindo-se a avenida em intervalos de coordenadas, onde foram selecionadas as coordenadas de

extremo para verificar se todas as linhas de dados (registros) obtidas no processo anterior estavam contidas dentro dos intervalos selecionados. Os registros são, portanto, selecionadas como pertencentes ao intervalo definido se satisfizerem as seguintes condições (desenvolvidas via programação no Apêndice II):

$$\begin{aligned} I) \text{ Latitude do Extremo Sudoeste} &< \text{Latitude da Line do arquivo MO} \\ &< \text{Latitude Extremo Nordeste} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} II) \text{ Longitude do Extremo Sudoeste} &< \text{Long da Line do arquivo MO} \\ &< \text{Longitude Extremo Nordeste} \end{aligned}$$

Como indicado na Figura 3.9 os intervalos puderam ser convenientemente selecionados para abranger toda a avenida, e refinados pela subdivisão em intervalos menores.



Figura 3.9 - Refinamento de subdivisões da avenida para localização das medições GPS situadas nos intervalos

Após essa última validação dos dados obtidos, o arquivo de medições MO foi reduzido para um novo CSV contendo apenas as observações de ônibus dentro da avenida em estudo, com elevado grau de confiança. O arquivo originalmente com 11 milhões de observações foi reduzido para aproximadamente 6 mil linhas, eliminando todas as medições realizadas em outras vias do município de São Paulo

3.3.2. Rotina de estimativa de velocidades

A partir do arquivo final obtido na Seção 3.3.1, o cálculo das velocidades foi, portanto, realizado em processo com estimativas que visam obter acurácia representativa à realidade. A Figura 3.10 indica a sequência de quatro passos executada.

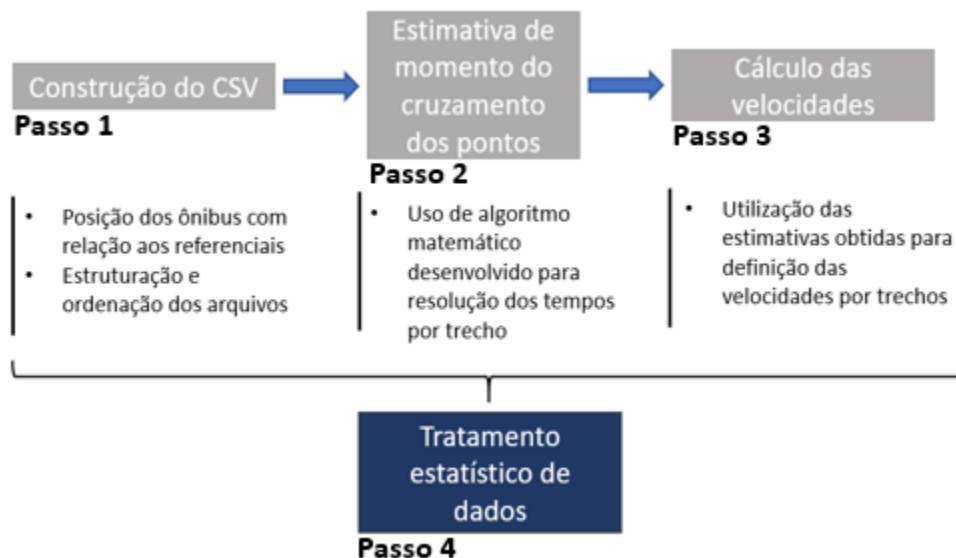


Figura 3.10 - Passos programados para obtenção das velocidades representativas por trecho

Partindo-se do CSV contendo os registros (linhas de dados do arquivo MO) de interesse (Obtidas ao final da Seção 3.3.1.), os dados até então desordenados foram alinhados cronologicamente para cada um dos sentidos (Bairro-Centro e Centro-Bairro), de forma a possibilitar a leitura de medidas consecutivas pelo algoritmo de velocidades.

Essa ordenação permitiu a obtenção das primeiras conclusões a respeito da rotina de medidas de GPS:

- As medições são realizadas em média a cada 80 segundos;

- Algumas medições são distorcidas, portanto devem ser tratadas com cuidado ou descartadas na análise (por exemplo, medidas descontínuas, ou com defasagem de mais de 2 minutos). Fatores ambientais podem eventualmente ter alterado o padrão de medição dos equipamentos de GPS.

As medidas ordenadas foram então comparadas relativamente aos pontos de ônibus, que são os referenciais delimitadores dos trechos estudados. Dessa forma, outro arquivo organizado CSV contendo as coordenadas dos ônibus por sentido foi obtido via *software* QGIS (como apresentado na Seção 3.2).

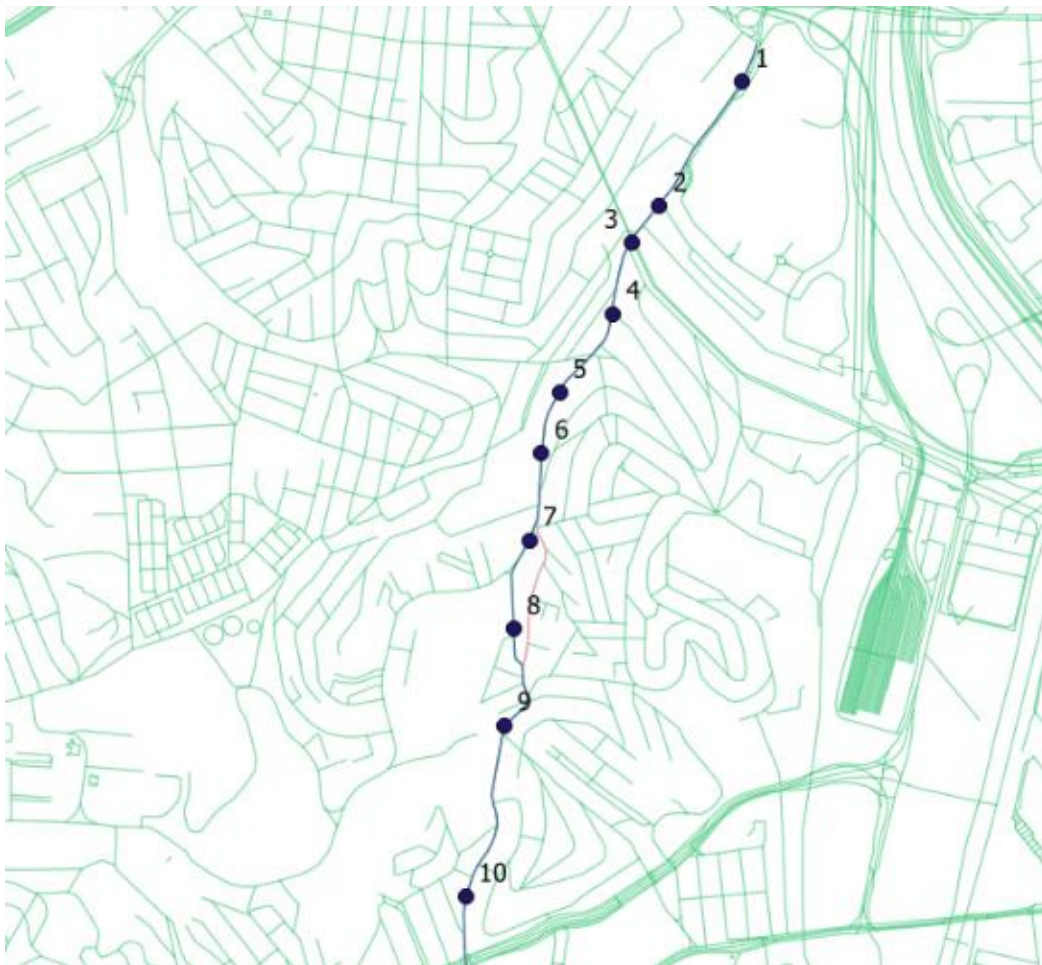


Figura 3.11 - Localização das coordenadas dos pontos de ônibus do sentido Centro-Bairro via QGIS

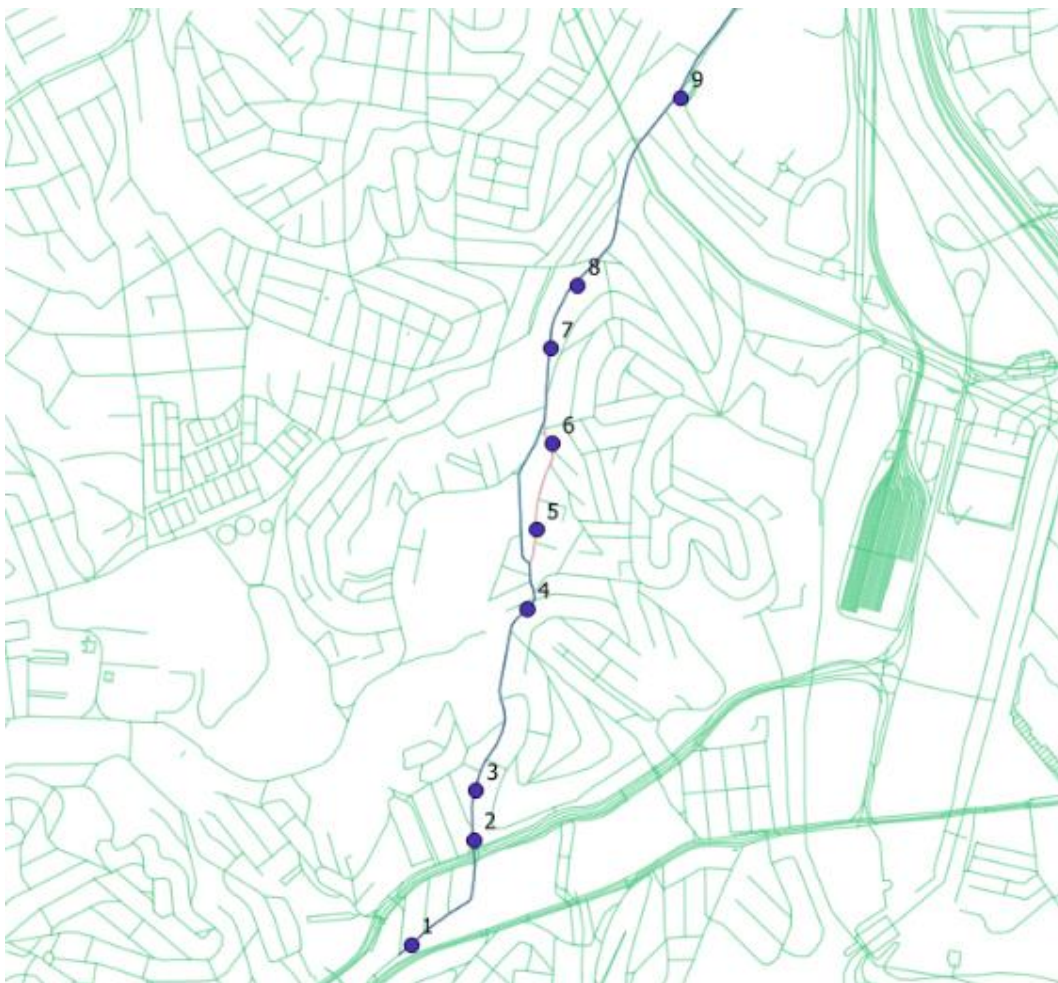


Figura 3.12 - Localização das coordenadas dos pontos de ônibus do sentido Bairro-Centro via QGIS

Como resultado final, as coordenadas da Tabela 3.3 e Tabela 3.4 puderam ser obtidas.

Tabela 3.3 - Coordenadas dos pontos de ônibus da avenida (Sentido Centro-Bairro)

Sentido Centro-Bairro		
Ponto	Latitude	Longitude
1	-23,646388	-46,730457
2	-23,649451	-46,732665
3	-23,650358	-46,733410
4	-23,652117	-46,733924
5	-23,654050	-46,735363
6	-23,655543	-46,735852
7	-23,657688	-46,736167
8	-23,659875	-46,736602
9	-23,662246	-46,736850
10	-23,666465	-46,737893

Tabela 3.4 - Coordenadas dos pontos de ônibus da avenida (Sentido Bairro-Centro)

Sentido Bairro-Centro		
Ponto	Latitude	Longitude
1	-23,667710	-46,737888
2	-23,666474	-46,737826
3	-23,661908	-46,736418
4	-23,659918	-46,736168
5	-23,657752	-46,735739
6	-23,655357	-46,735783
7	-23,653770	-46,735036
8	-23,649057	-46,732208
9	-23,645940	-46,730017

Dadas as leituras do arquivo MO reduzido, e as coordenadas dos pontos de ônibus, foi então realizada uma verificação das coordenadas medidas para se examinar entre quais dessas leituras do GPS os ônibus cruzaram os pontos de referência (pontos de ônibus). Para que isso fosse possível, as coordenadas dos pontos de ônibus foram comparadas com as medidas ordenadas

cronologicamente do arquivo MO reduzido, e foram inseridas linhas no CSV denominadas “PONTOSn” entre essas medidas específicas, como indicado no exemplo da Tabela 3.5 (Código no Apêndice IV).

A inserção dos pontos de ônibus nas linhas ordenadas foi possível pela comparação entre as coordenadas de ônibus e as coordenadas das Medidas de GPS. Isso permitiu que a estimativa temporal no Passo 2 pudesse ser realizada, buscando uma aproximação do o momento em que os ônibus passam pelos pontos de ônibus (preenchendo os campos em hachurados “Estimar” na Tabela 3.5).

Tabela 3.5 - Representação do CSV em lista cronológica de passagem dos ônibus pelos pontos

Referência	Linha ônibus	Horário da medida	Latitude	Longitude
Medida de GPS 1	13734	07:57:59.000	-23,645	-46,73008
Medida de GPS 2	13734	07:58:06.000	-23,646	-46,73013
PONTO1 (Ponto de ônibus 1)	13734	Estimar	-23,646	-46,73046
Medida de GPS 3	13734	07:58:20.000	-23,646	-46,73046
PONTO2 (Ponto de ônibus 2)	13734	Estimar	-23,65	-46,73267
PONTO3 (Ponto de ônibus 3)	13734	Estimar	-23,65	-46,73341
Medida de GPS 4	13734	07:59:45.000	-23,651	-46,73369

Tendo sido obtidos os arquivos CSV representados pela Tabela 3.5 ao final do Passo 1, são nele observadas as informações horárias e coordenadas das medições do GPS, além das coordenadas dos pontos de ônibus. No Passo 2 são, portanto, estimados os horários aproximados em que os ônibus passam pelos pontos.

O método utilizado foi baseado no estudo do Scipopulis (2017), onde as velocidades médias entre pontos específicos são obtidas de maneira ponderada às distâncias das medições. A Figura 3.12 exemplifica a forma como a ponderação é realizada.

As linhas verticais - $t(i)$ - representam a dimensão do tempo calculado entre duas medidas, e as horizontais - $d(i)$ - representam as distâncias entre essas medições.

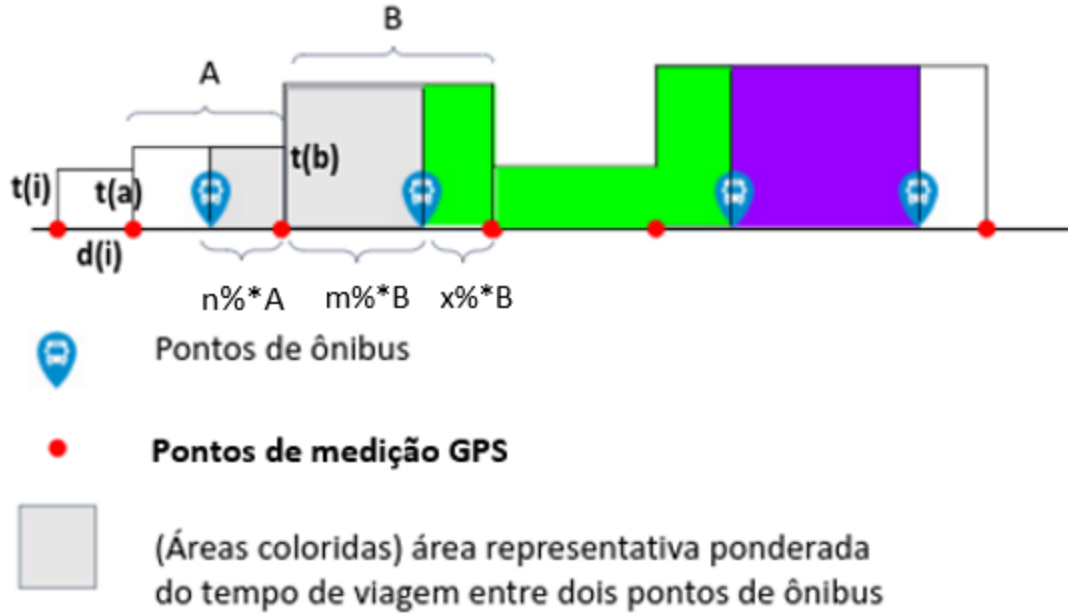


Figura 3.13 - Modelo de interpolação para estimativa do tempo total entre pontos de ônibus

No modelo descrito, o tempo total entre os dois primeiros pontos de ônibus é definido por:

$$Tempo = n\% \cdot t(a) + m\% \cdot t(b)$$

Sendo os percentuais ($n\%$, $m\%$ e $x\%$), as respectivas parcelas das distâncias entre duas medições. Tomando como exemplo, se a medição imediatamente anterior ao 1º ponto de ônibus tem localização “1”, a imediatamente posterior ao 1º ponto de ônibus tiver localização “4”, e o próprio ponto de ônibus tiver localização “3”, o percentual n estará definido como:

$$n = \frac{4 - 3}{4 - 1} = \frac{1}{3} = 33,33\% \text{ da distância total entre as medições GPS}$$

Dessa forma, ponderando-se essas distâncias, e adotando-se várias medidas para elevar a confiabilidade dos resultados, é possível estimar o momento da passagem dos ônibus nos pontos referências deste trabalho de formatura.

Em uma configuração mais refinada, agora tratando-se do algoritmo programado em si, o modelo utilizado é descrito a seguir:

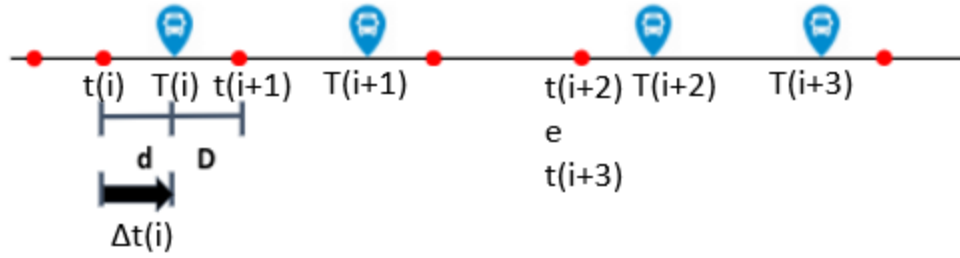


Figura 3.14 - Modelo refinado para estimativa do momento de passagem dos ônibus pelos pontos

$$T_i = t_i + \Delta t_i$$

em que T_i = horário de passagem do ônibus no ponto i (ponto de ônibus)

t_i = horário da medição GPS imediatamente anterior à passagem no ponto

t_{i+1} = horário da medição GPS imediatamente posterior à passagem no ponto

Δt_i = tempo (em segundos) entre t_i e o momento de passagem no ponto de ônibus

$$= (t_{i+1} - t_i) \cdot \frac{d}{d + D}$$

d = distância entre a medição GPS imediatamente anterior e o ponto de ônibus

D = distância entre a medição GPS imediatamente posterior e o ponto de ônibus

A lógica do código está representada pelo diagrama de blocos da Figura 3.14, assim como no Apêndice V.

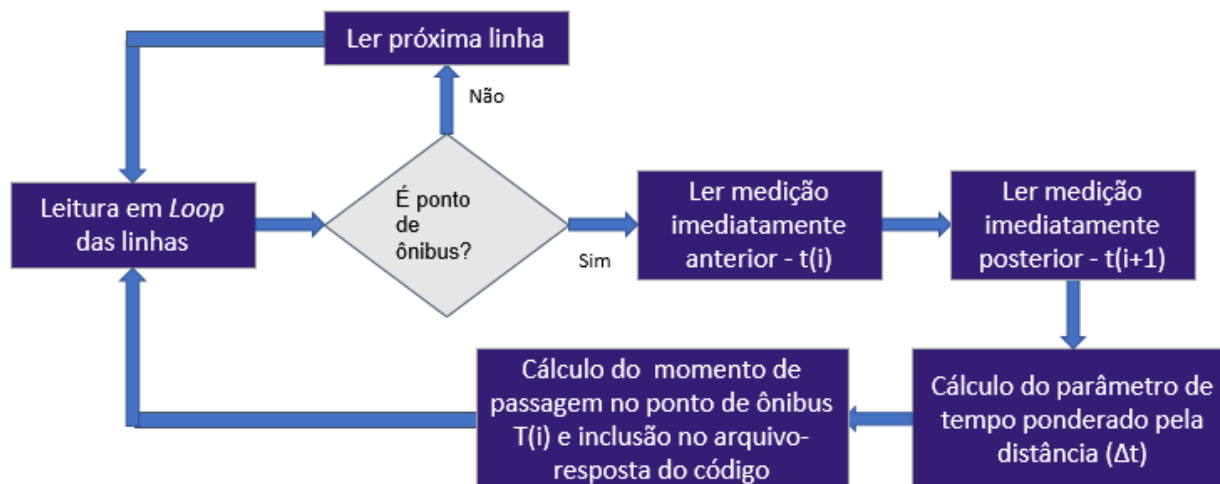


Figura 3.15 - Representação em diagrama de blocos da lógica de estimativa de momento de passagem dos pontos de ônibus para todas as amostras

Tendo sido obtidas as estimativas de horários de passagem dos ônibus nos pontos ao final do Passo 2, a velocidade foi calculada em rotina no Passo 3 simplesmente pela razão das distâncias exatas entre os pontos de ônibus e as diferenças de tempo de passagem entre esses pontos. (Código utilizado no Apêndice VI).

$$V = \frac{\text{Distância pontos de ônibus consecutivos}}{T_{i+1} - T_i}$$

No Passo 4 foram obtidas amostras de velocidades entre pontos, com média de 40 dados de velocidade por trecho. Os dados iniciais obtidos foram então estudados em três diferentes fases:

- **Análise em histograma:** Velocidades plotadas em histograma obtiveram distribuição Normal e Log-Normal. Os dados divergentes de 2σ foram considerados anomalias, e descartados para cálculo das médias.
- **Velocidades médias e medianas entre trechos:** Após a primeira filtragem dos dados, as velocidades entre trechos puderam ser melhor representadas por média e mediana. Esses foram os dados devidamente plotados para estudo da via.
- **Velocidades horárias:** Em terceira fase, os dados foram segregados por horários do dia para verificar a consistência dos dados obtidos, e auxiliar nas decisões finais.

3.4. Plotagem de resultados

Os dados finais de velocidade após a análise foram plotados no mapa via QGIS para visualização gráfica de pontos com velocidade abaixo das mínimas adquiridas. Os mapas, apresentados na Seção 4, são essenciais para visualização do problema e tomada de decisão adequada.

3.5. Processo de decisão

O processo decisão envolveu análise de parâmetros normatizados de vias em São Paulo, juntamente com estimativa de velocidade mínima para decisão de implementação de faixa.

O estudo dos dados da CET revela que o corte de velocidade de padrão negativo é de 13 km/h. Esse valor foi estimado, por muito tempo, como sendo a velocidade média dos ônibus na cidade. Novos dados da CET revelam que a implementação de rodízio e faixas de ônibus elevaram essa velocidade média para 15 km/h, o que pode ser considerado um novo padrão mínimo de estudo.

Para fins de implementação de faixa foi considerado neste estudo que para trechos com velocidade representativa (mediana, por descartar a influência de medições fora do padrão) inferior a 13 km/h há necessidade de implementação de faixa. Os trechos entre 13 e 15 km/h foram alvo de estudo mais aprofundado para determinar a necessidade ou não das faixas, envolvendo estudos horários, percentagem do tempo de congestionamento, entre outros fatores.

Todas as alterações físicas na via foram verificadas juntamente às normas de desenho geométrico, estabelecendo-se larguras adequadas de faixas e calçadas.

4. Resultado

Pela execução do método descrito no último capítulo foi possível obter as velocidades representativas (médias e medianas) dos trechos estudados. Nos próximos tópicos será exibida a seleção dos trechos sugeridos para a implantação de faixas exclusivas. Para estes trechos identificados, será estabelecida uma proposta de intervenção viária, através de análise da geometria da via e consulta às normas de projeto geométrico.

Desde a primeira etapa do desenvolvimento do método foi observado que há uma concentração de linhas de ônibus passando nos trechos centrais-norte da avenida, enquanto nos demais trechos o número e linhas de ônibus circulando é menor, devido à saída de veículos da via se direcionando a outras regiões.

A Tabela 4.1 apresenta o resumo das velocidades medianas observadas para cada trecho, em cada período e no total do dia, para o sentido Bairro-Centro. A Tabela 4.2 traz as mesmas informações para o sentido Centro-Bairro. O período representado pela madrugada se trata das medições realizadas entre 0h e 6h, manhã entre 6h e 12h, tarde entre 12h e 18h e noite entre 18h e 24h.

Tabela 4.1 - Velocidades medianas Bairro-Centro

Bairro-Centro							
Valores diários (km/h)							
Trechos	1	2	3	4	5	6	7
Média	20,0	25,9	28,1	34,9	41,4	15,3	38,4
Mediana	16,2	25,1	27,1	34,0	47,5	12,5	42,8
Medianas por período (km/h)							
Trechos	1	2	3	4	5	6	7
Madrugada	23,8	31,4	32,0	34,0	47,5	12,5	42,8
Manhã	19,7	21,5	27,3	32,3	30,9	17,2	51,4
Tarde	14,6	23,1	25,4	30,8	34,7	12,2	45,5
Noite	30,2	28,0	30,3	33,5	34,2	12,0	37,3

Tabela 4.2 - Velocidades medianas Centro-Bairro

Centro-Bairro									
Valores diários (km/h)									
Trechos	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Média	18,8	18,8	16,0	14,2	19,5	20,5	20,7	24,3	28,4
Mediana	18,6	18,4	14,2	13,3	18,5	20,0	19,8	23,2	27,7
Medianas por período (km/h)									
Trechos	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Madrugada	21,7	25,6	21,8	10,4	22,2	26,3	27,6	31,3	24,7
Manhã	23,7	23,8	17,3	14,7	20,2	22,4	23,2	26,0	28,8
Tarde	16,4	14,1	11,3	12,5	17,6	17,7	17,9	21,0	28,6
Noite	17,5	18,4	15,5	13,8	20,8	21,0	19,6	22,5	26,0

Na Tabela 4.2, é notado um valor baixo para a madrugada no Trecho 4. Para esse trecho em especial, acredita-se que alguma intervenção possa ter ocorrido na avenida na madrugada estudada, que possa ter ocasionado um resultado abaixo da média para este período.

A seguir, nas Figuras 4.1 a 4.10, são apresentados os mapas da via com a representação das velocidades desempenhadas. Cada figura mostra as velocidades para um sentido em um dado período do dia, ou no total diário.

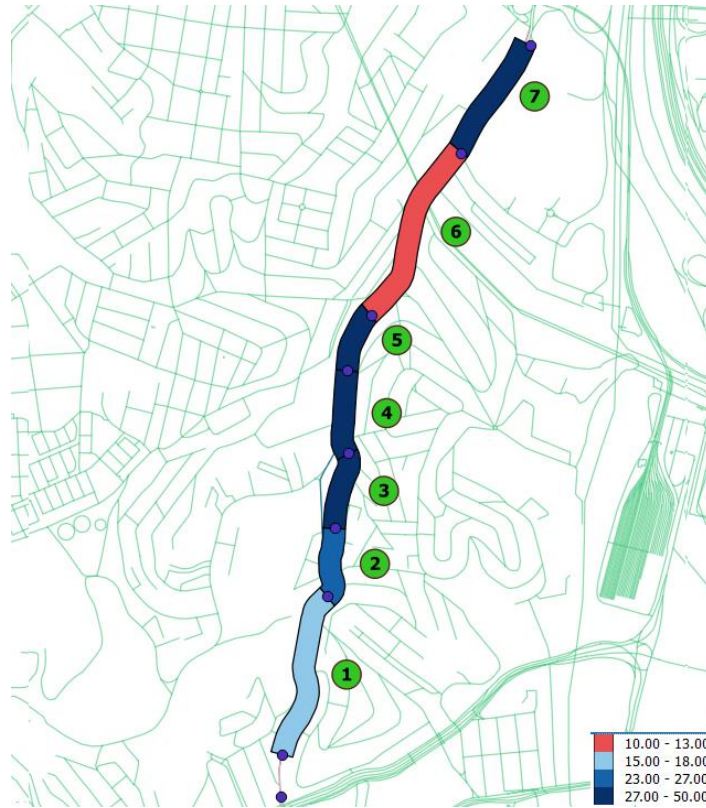


Figura 4.1 - Sentido Bairro-Centro: medianas do dia

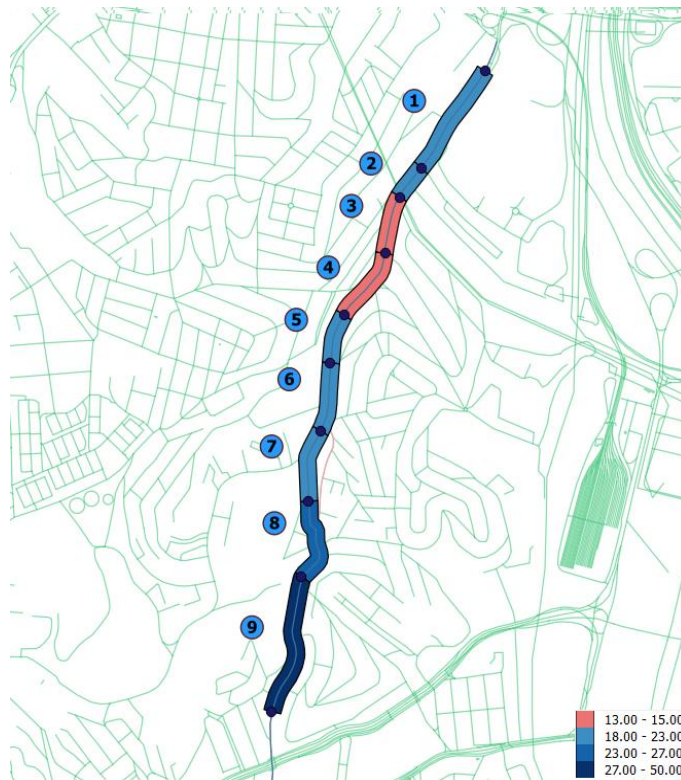


Figura 4.2 - Sentido Centro-Bairro: medianas do dia

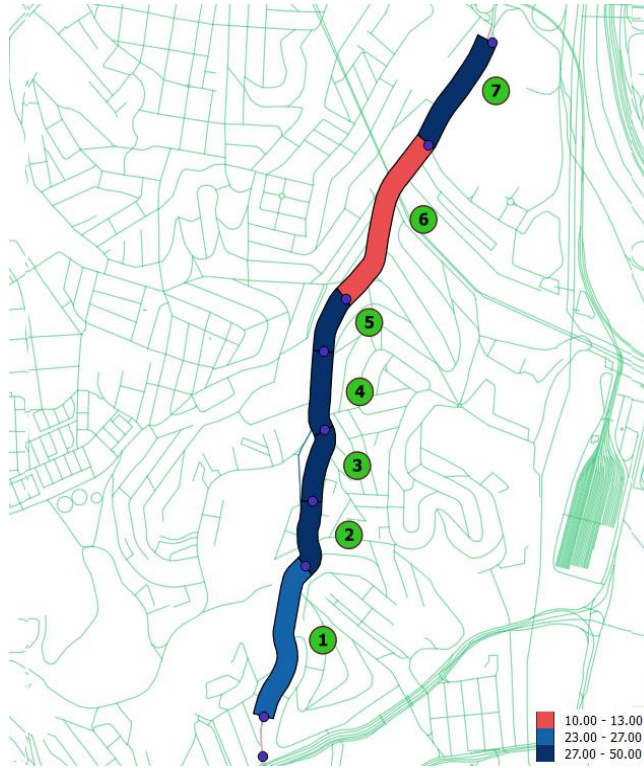


Figura 4.3 - Sentido Bairro-Centro: medianas da madrugada

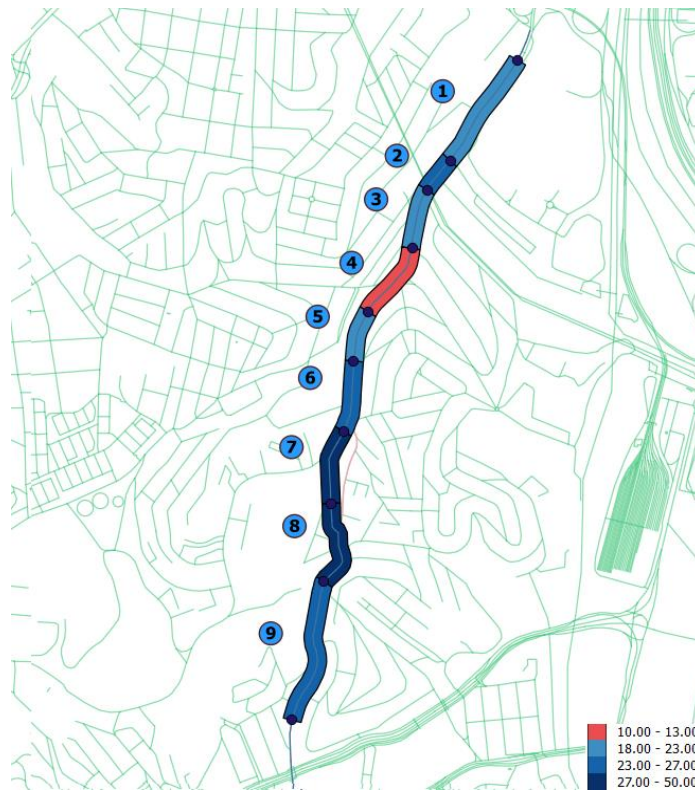


Figura 4.4 - Sentido Centro-Bairro: medianas da madrugada

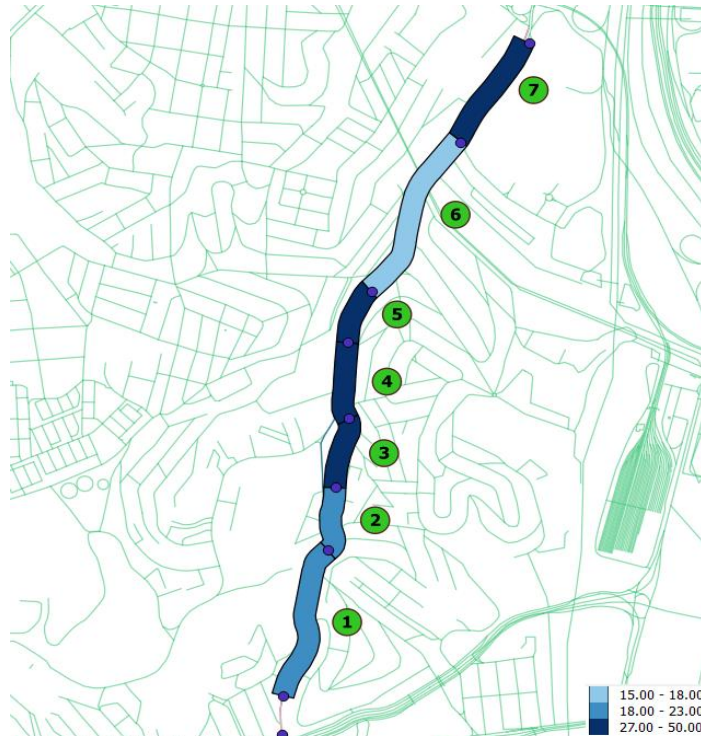


Figura 4.5 - Sentido Bairro-Centro: medianas da manhã

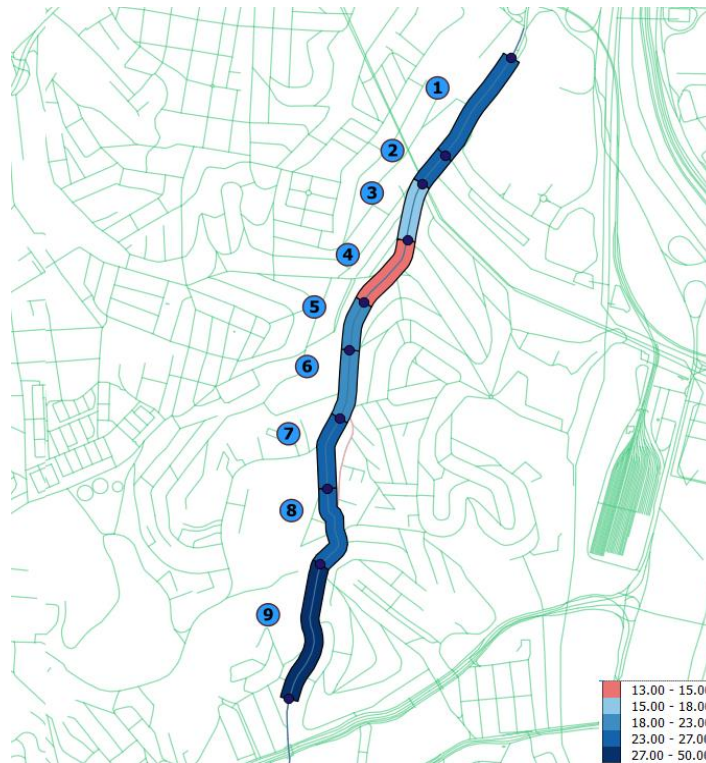


Figura 4.6 - Sentido Centro-Bairro: medianas da manhã

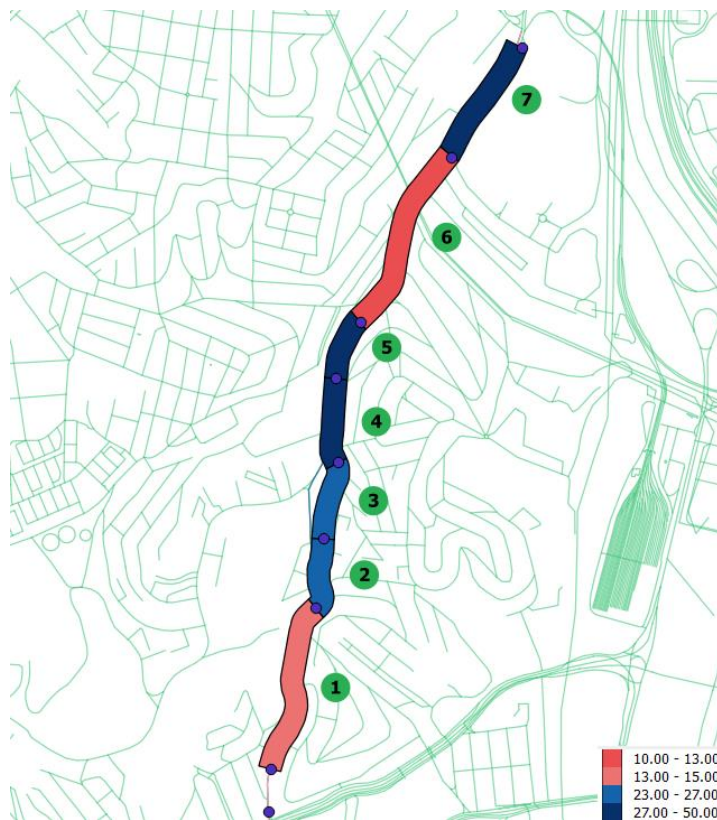


Figura 4.7 - Sentido Bairro-Centro: medianas da tarde

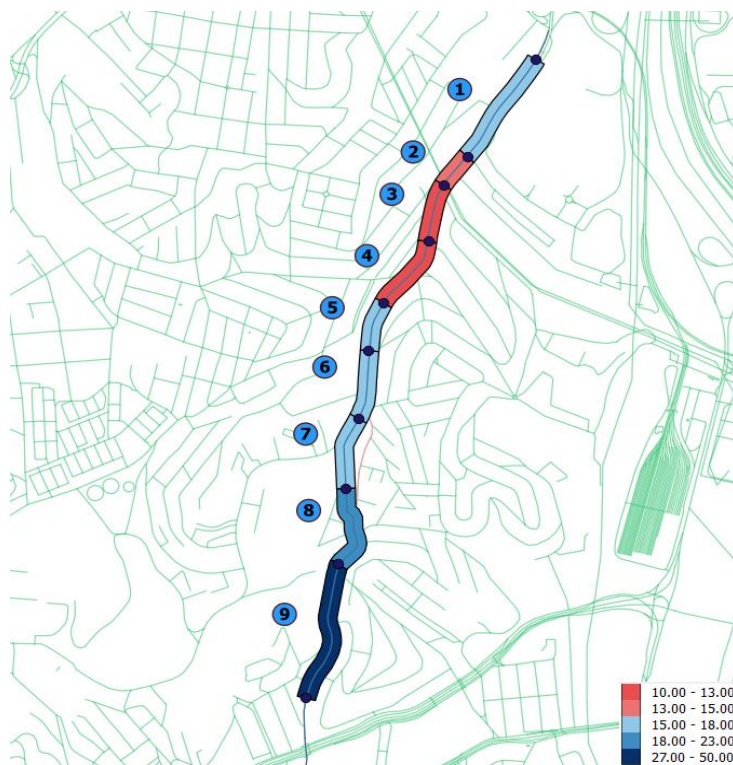


Figura 4.8 - Sentido Centro-Bairro: medianas da tarde

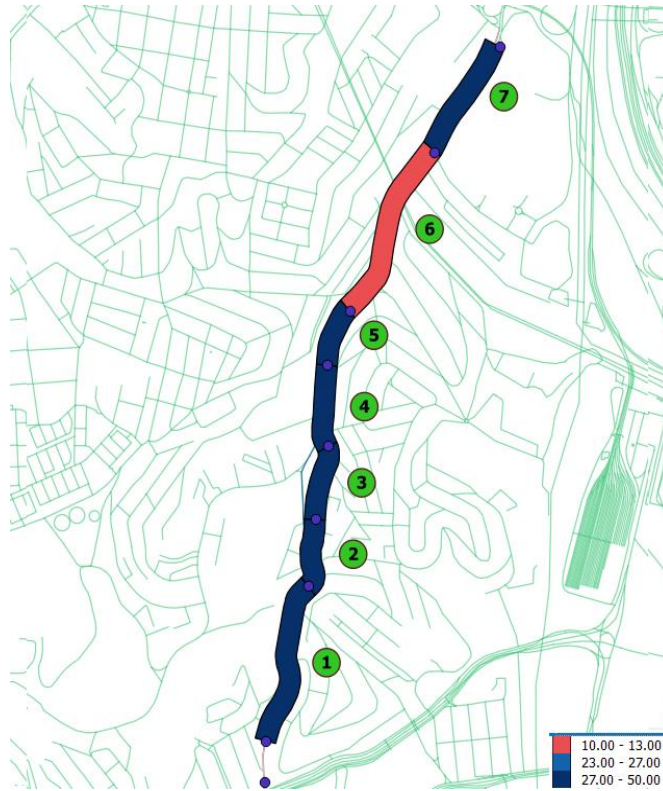


Figura 4.9 - Sentido Bairro-Centro: medianas da noite

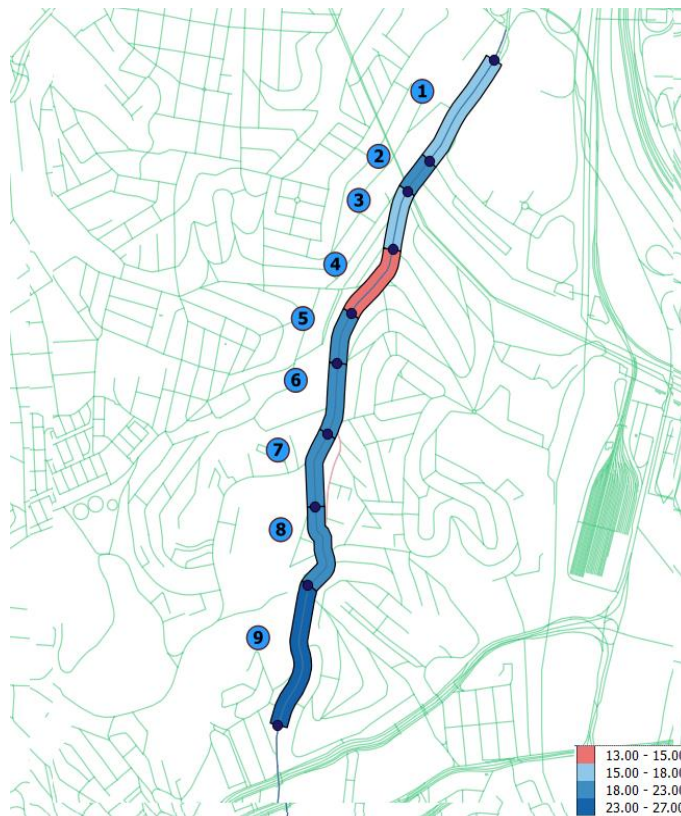


Figura 4.10 - Sentido Centro-Bairro: medianas da noite

4.1. Identificação dos trechos críticos

A identificação de trechos críticos demandou estudo da representatividade dos dados, com visualização de sua distribuição e perfil estatístico.

As Figuras 4.11 e 4.13 apresentam histogramas das medidas de velocidade capturadas para os trechos 3 e 6, respectivamente, do sentido Bairro-Centro. É possível notar pela forma dos histogramas, assim como no diagrama de dispersões da Figura 4.12, que se assemelham a uma curva log-normal com uma nuvem de pontos próximos à média, mas com maior concentração na região levemente inferior à ela, enquanto na região superior à média há uma dispersão maior dos pontos. Além disso, há algumas poucas medidas que apresentam velocidades consideravelmente superiores à média.

Dadas essas características da dispersão das medidas, os valores com dispersão maior que 2 desvios-padrão foram descartados, e a mediana foi tomada como um parâmetro mais representativo do que a média para este estudo, onde é obtido o valor para o qual em 50% das viagens o veículo desempenha uma velocidade inferior. A média é menos representativa neste caso porque é afetada por um grupo medidas com valores significativamente mais altos, mas que corresponde a um percentual pequeno da quantidade de viagens.

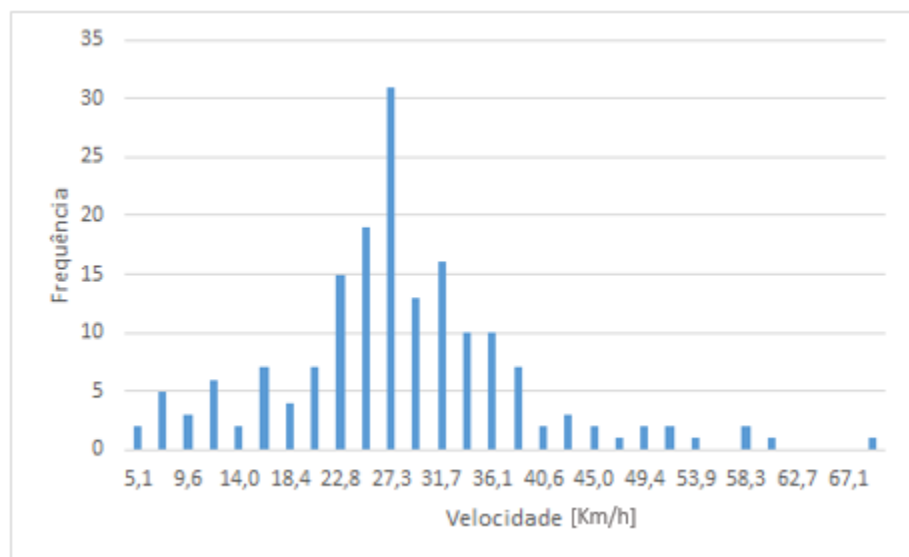


Figura 4.11 - Sentido Bairro-Centro: Histograma de medições no Trecho 3

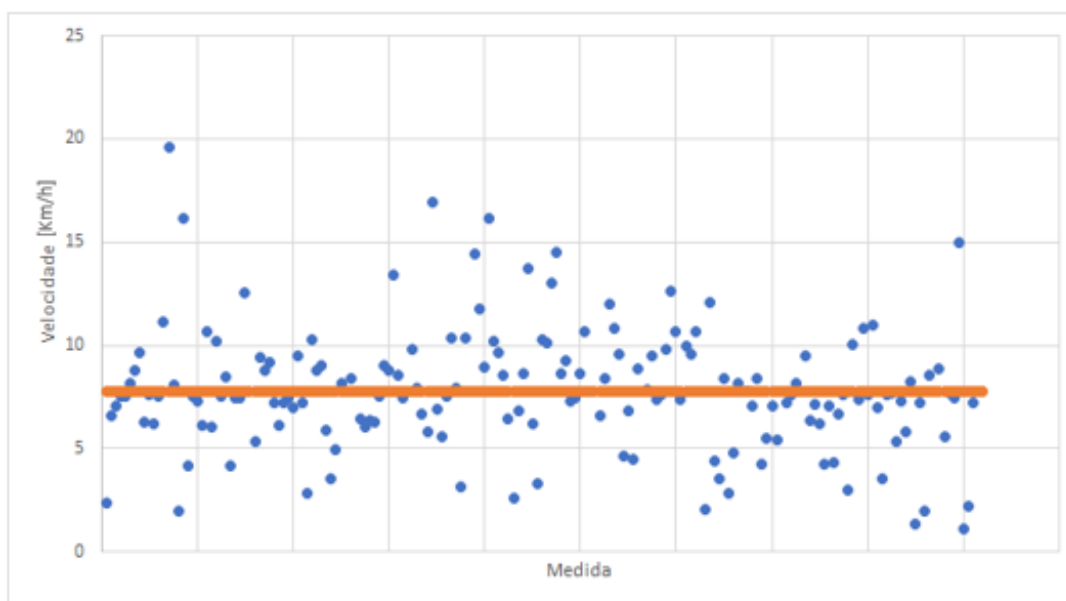


Figura 4.12 - Sentido Bairro-Centro: Dispersão das medições no Trecho 3

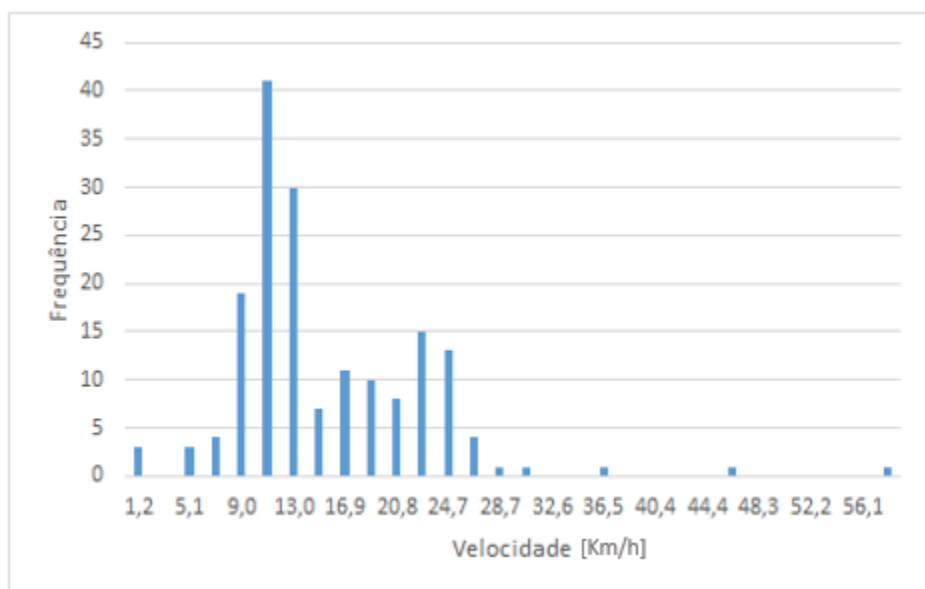


Figura 4.13 - Sentido Bairro-Centro: Histograma de medições no Trecho 6

Conforme os mapas de velocidades medianas do dia, apresentados nas Figuras 4.1 e 4.2, é possível verificar uma concentração das velocidades baixas na região central da Av. Maria Coelho do Aguiar, compreendendo do número 300 a 1050 da avenida (Trecho 6 Bairro-Centro e Trechos 3 e 4 Centro-Bairro). Esta região da via possui uma maior concentração de lojas e mercados do que os outros trechos, provocando uma maior frequência de parada de carros. Além disso, existe uma via arterial - Rua Geraldo Fraga de Oliveira - que direciona veículos vindos da parte residencial

do bairro, buscando acessar a ponte João Dias, atingindo a Av. Maria Coelho do Aguiar nesse trecho central.

Dessa forma, há uma confluência de veículos no Trecho 4 da avenida (Sentido Centro-Bairro), existindo uma tendência que à norte deste ponto haja mais veículos circulando do que ao sul dele. Da mesma maneira, para o outro sentido - Centro-Bairro - parte dos veículos que seguem pela Av. Maria Coelho do Aguiar são escoados para a região residencial do bairro através da Rua Geraldo Fraga de Oliveira, fazendo com que os trechos ao sul deste ponto de escoamento possuam fluxo menos intenso.

Dadas essas justificativas para a concentração do fluxo na parte Centro-Norte da via foi questionado o motivo do trecho mais ao norte (ou seja, mais próximo do centro da cidade) apresentar um fluxo melhor do que o Trecho 4.

Nesta investigação, três razões principais foram encontradas:

I. O trecho mais ao norte possui uma infraestrutura mais bem desenvolvida, com maior número de faixas e barreira de concreto segregando os dois sentidos.

II. Este trecho dá acesso à Av. João Dias e Ponte João Dias, uma via de hierarquia superior e, conseqüentemente, com velocidades vigentes mais elevadas. Deste modo, um veículo que acessa a Av. Maria Coelho do Aguiar vindo da Av. João Dias, entra na avenida com uma velocidade alta, que se normaliza ao longo da via. Da mesma forma, um veículo que siga em sentido norte para acessar a Av. João Dias, encontra neste ponto as condições para desenvolver maior velocidade, aumentando-a no final da Av. Maria Coelho do Aguiar.

III. Além dos motivos anteriores, o trecho norte possui menor quantidade de comércios do que os trechos centrais, apresentando centros comerciais, como o da Procter & Gamble, além de estacionamentos. Desta maneira, há menos paradas de veículos do que em uma região que abriga lojas.

Conclui-se que os trechos centrais (3 e 4 do sentido Centro-Bairro e 6 do sentido Bairro-Centro) são, de fato, o gargalo da Avenida por apresentarem medianas diárias baixas. Como tanto os trechos ao Sul, quanto os trechos ao Norte apresentam melhor fluxo, se o problema dos trechos em questão for solucionado, os veículos realmente terão seus tempos de viagem reduzidos.

4.2. Análise dos trechos

4.2.1. Trechos críticos

Nesta seção, serão apresentadas considerações sobre os trechos com maior fluxo de veículos e menores valores obtidos para velocidade de veículos. Para os trechos críticos, a decisão será de implementar faixas de ônibus.

Trecho 6 do Sentido Bairro-Centro (Av. Maria Coelho Aguiar, 300 a 1050)

O trecho 6 apresenta uma mediana das velocidades diárias de 12,50 km/h, abaixo dos 13 km/h referenciais de velocidade baixa (definido na Seção 3.5.). Na análise por períodos, nota-se que durante o período da manhã, o trecho apresenta um fluxo razoavelmente bom, com uma mediana

de 17,22 km/h, porém nos demais períodos, todas as medianas estiveram abaixo de 13 km/h. Portanto, este trecho possui um tráfego complicado em grande parte do dia. A faixa exclusiva é altamente recomendada neste caso.

Trecho 3 do Sentido Centro-Bairro (Av. Maria Coelho Aguiar, 300 a 850)

O trecho 3 apresenta uma velocidade mediana de 14,15 km/h, abaixo de 15 km/h, mas ainda acima dos 13 km/h. No entanto, observa-se que em apenas um período do dia - à tarde - o trecho apresenta uma mediana de velocidades sugestiva à implantação de faixas. Neste período, a velocidade é de 11,28 km/h, até mesmo inferior aos 13 km/h. Nos outros períodos, as medianas estão acima dos 15 km/h. Portanto, neste trecho, deve ser considerada a possibilidade de se implementar uma solução horária, flexível.

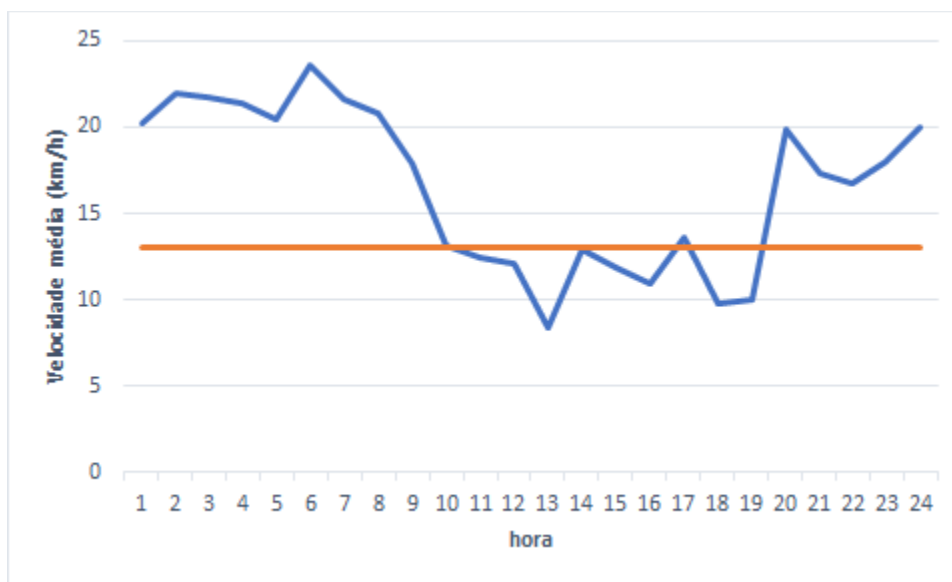


Figura 4.14 - Sentido Centro-Bairro: Gráfico de velocidades médias horárias para o Trecho 3

Analisando-se o gráfico horário do trecho, pela Figura 4.14, é visível que as velocidades permanecem abaixo de 13 km/h das 10h às 19h, o que representa um longo período de tempo. Portanto, deve-se prosseguir para a análise de implantação neste trecho.

Trecho 4 do Sentido Centro-Bairro (Av. Maria Coelho Aguiar, 850 a 1050)

Apresenta uma velocidade média de 13,35 km/h, abaixo dos 15 km/h e levemente acima dos 13 km/h.

Ao contrário do Trecho 3 do mesmo sentido, percebe-se que este trecho é problemático durante todo o dia. Em todos os períodos, a mediana esteve abaixo dos 15 km/h, e nos períodos da tarde e da madrugada, a mediana esteve abaixo dos 13 km/h, assumindo valores de 12,5 km/h e 10,4 km/h, respectivamente.

Portanto, para este trecho, seguindo o raciocínio desenvolvido para o Trecho 6 do sentido Bairro-Centro, a implantação de faixa exclusiva é altamente recomendada.

4.2.2. Trechos questionáveis

Nos dois sentidos estudados, alguns trechos apresentaram mediana do dia acima dos 15 km/h, entretanto, alguns períodos isolados do dia apresentaram mediana abaixo deste limite. Os trechos são discutidos a seguir.

Trecho 1 do Sentido Bairro-Centro (Rua José Barros Magaldi, 1000 a 500)

Este trecho apresenta uma mediana de velocidade de 16,2 km/h, levemente acima do limite considerado de 15 km/h. Na análise por períodos, observa-se que, no período da tarde, a mediana é de 14,6 km/h.

É interessante notar que este é o único caso de um trecho isolado dos demais. Em outras palavras, há um problema local, gerado por razões desconhecidas, não coincidentes com aquelas apontadas na análise geral da via.

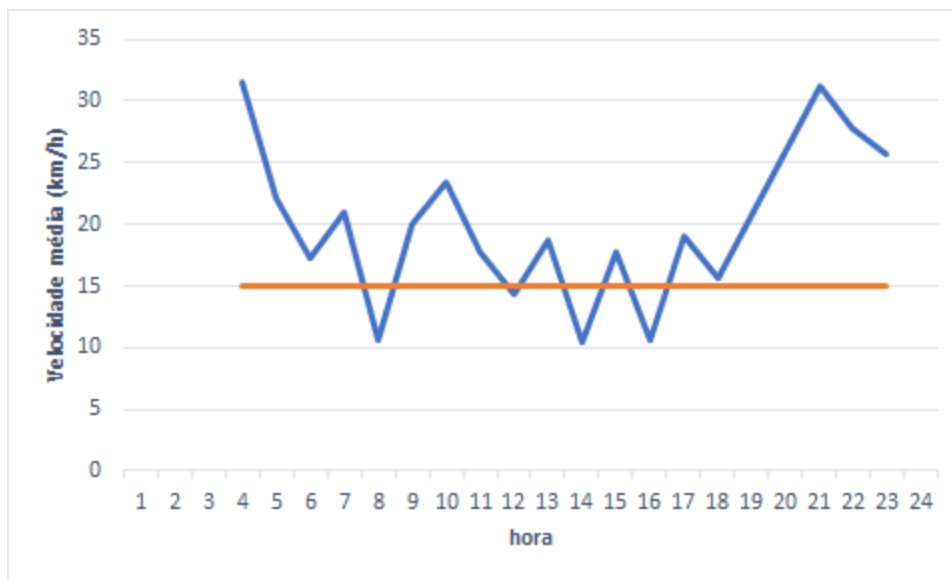


Figura 4.15 - Sentido Bairro-Centro: Gráfico de velocidades médias horárias para o Trecho 1

É possível observar pelo gráfico horário que não há uma tendência clara em nenhum período de as velocidades se manterem abaixo do limite considerado. Porém, em três horários do dia - às 8h, às 14h e às 16h - a linha de velocidade cruza a de limite mínimo, com velocidades menores do que 11 km/h. Ainda assim, nos intervalos entre estes horários, o tráfego tende a se normalizar.

A análise desses dados indica que a velocidade na avenida não se encontra continuamente baixa, sendo reduzida por possíveis fatores influenciadores de tráfego ocorridos no dia, como por

exemplo chuva, movimentação de caminhões de grande porte, entre outros. Dessa forma, é decidido que não haverá implantação de faixas de ônibus para esse trecho.

Trecho 2 do Sentido Centro-Bairro (Rua José Barros Magaldi, 500 a 250)

O Trecho 2 do sentido Centro-Bairro apresenta situação semelhante ao Trecho 1 do mesmo sentido. Sua mediana do dia é de 18,42 km/h, mas no período da tarde, apresenta-se como 14,1 km/h.

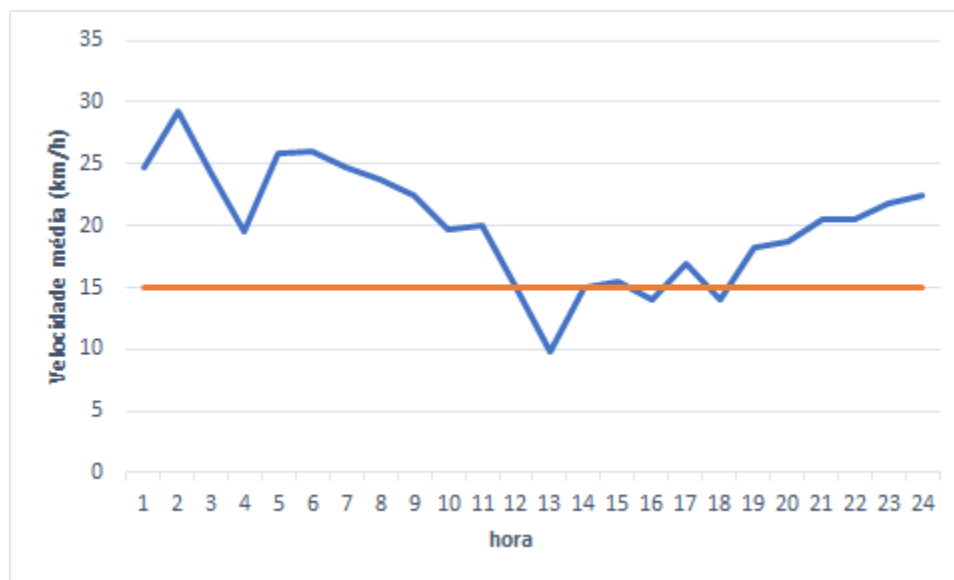


Figura 4.16 - Sentido Centro-Bairro: Gráfico de velocidades médias horárias para o Trecho 2

Através do gráfico horário, é visível que somente em uma hora do dia a velocidade média atinge um valor significativamente baixo (às 13h). Apesar disso, vê-se um período considerável - das 14h às 18h - com as velocidades se mantendo em torno de 15 km/h.

Para este trecho, diferentemente do Trecho 1 Bairro-Centro, há uma continuidade de velocidades baixas para um período do dia. Como solução, será implantada faixa exclusiva horária, funcionando somente no período da tarde.

4.3. Proposição

A proposta para implantação das faixas teve como base as análises dos trechos descritos na Seção 4.2, enquadrando-os nas normas de acessibilidade e desenvolvimento urbano descritos pela CET – Companhia de Engenharia de Tráfego e ABNT NBR 9050-04 (Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos). As normas e boas práticas de desenvolvimento urbano na Cidade de São Paulo visam obter organização para facilitar o escoamento na cidade, evitar acidentes e auxiliar na qualidade de vida do cidadão.

Os limites numéricos de dimensões de faixas de tráfego para carros, ônibus e passeio foram as principais métricas para redimensionamento da via.

A via estudada necessita de um plano completo de reurbanização, não apenas para os trechos onde o trânsito é mais lento, mas também pela ausência de demarcação delimitando as faixas da via. Dessa forma, os trechos foram redesenhados considerando números efetivos de dimensão das faixas de veículos e de passeio.

A norma de acessibilidade (ABNT NBR 9050-04) estabelece algumas definições importantes para passeio, dentre elas, que a faixa livre de passeio deve absorver com conforto um fluxo de 25 passageiros por minuto. Isso define um limite mínimo de 1,20m para as calçadas. Além disso, atendendo às condições de dimensão, é recomendado que haja 0,70m a mais para colocação de árvores e postes.

Quanto às dimensões de faixas, de acordo com o Manual de Circulação Urbana (CET), é recomendável manter 3,50m de faixa exclusiva de ônibus com presença de tachão, e 3,30m sem tachão. Para a avenida observada, não haverá necessidade de uso do tachão, visto que se trata de faixa comum de delimitação de uso exclusivo de ônibus. O uso de tachão está associado a locais com conversão específica, inibindo a transposição de faixa e invasão (CET - Manual de Sinalização Urbana - Dispositivos Auxiliares). Quanto às faixas de rolamento destinadas a outros

veículos (carros, caminhões e motocicletas), foram tomadas como referência as faixas destinadas como critério de classificação de rodovias (Ministério dos Transportes - DNIT - IPR 742).

Tomando-se como base os trechos de rodovia de Classe IV - B, tem-se como largura mínima de faixa de rolamento 2,40m para uma via com Velocidade de projeto 60km/h (menor que a velocidade máxima definida para vias dentro da Cidade de São Paulo).



Figura 4.17 - Critérios de largura de faixa de rolamento (Fonte: Ministério dos Transportes)

O mesmo Ministério dos Transportes define uma recomendação de faixas de rolamento com valor mínimo de 3,30m para Vias Locais e Arteriais Secundárias, sendo esse um parâmetro de conforto para ser usado caso viável na avenida.

Quanto às disposições físicas das faixas de ônibus apresentadas pela CET, em todos os locais com possibilidade de conversão à direita (tanto entrando quanto saindo da avenida sinalizada), serão adotados:

- Distância de entrelaçamento: Estimativas dos arquivos da SPTrans e de trânsito observados por pesquisas no *Google Maps*, indicam que há uma aproximação de que cada linha de ônibus passa na avenida com uma média de a cada 4 minutos. Isso indica uma carga aproximada de 100 veículos por hora na avenida.

Nas interseções semaforizadas de maior fluxo, há uma carga aproximada de 200 veículos por hora.

No modelo proposto pela CET (2001) – Seção 2.2, isso indica uma dimensão mínima de entrelaçamento de 30m.

- Início da faixa: Como descrito pela CET (2001) será utilizado de 15m a 30m de linhas tracejadas nos inícios das faixas de maneira conveniente à disposição física da avenida.
- Interseções não semaforizadas: Todas as interseções não semaforizadas terão de 15 a 30m de dimensão a depender das disposições físicas da avenida em estudo.
- Conversões à direita: Em casos de conversões à direita semaforizadas, será colocado de 15 a 30m de faixa branca contínua de aproximação.
- As dimensões da seção ao longo dos trechos selecionados foram medidas através do *Google Maps*, obtendo-se os seguintes valores: Largura total: 14,6m

A largura total da via necessária para a implantação das faixas exclusivas é de 12,20m. Portanto, a implantação é viável. Porém, como a largura da rua não comporta a estrutura desejada em todas as seções, será necessário reduzir as larguras das calçadas para a medida mínima exigida pela norma para esses casos.

A variação das calçadas se dará de forma conveniente à geometria variável de onde se implantará as faixas de ônibus, mantendo-se sempre maior ou igual ao mínimo normatizado (1,20m).

A Figura 4.18 mostra uma vista em perspectiva de um esboço da implantação viária para um dado trecho. As Figuras a 4.19 a 4.25 mostram por vista superior a via implantada, cada figura correspondendo a um segmento do trecho escolhido.



Figura 4.18 - Representação da solução para as faixas automotivas em perspectiva

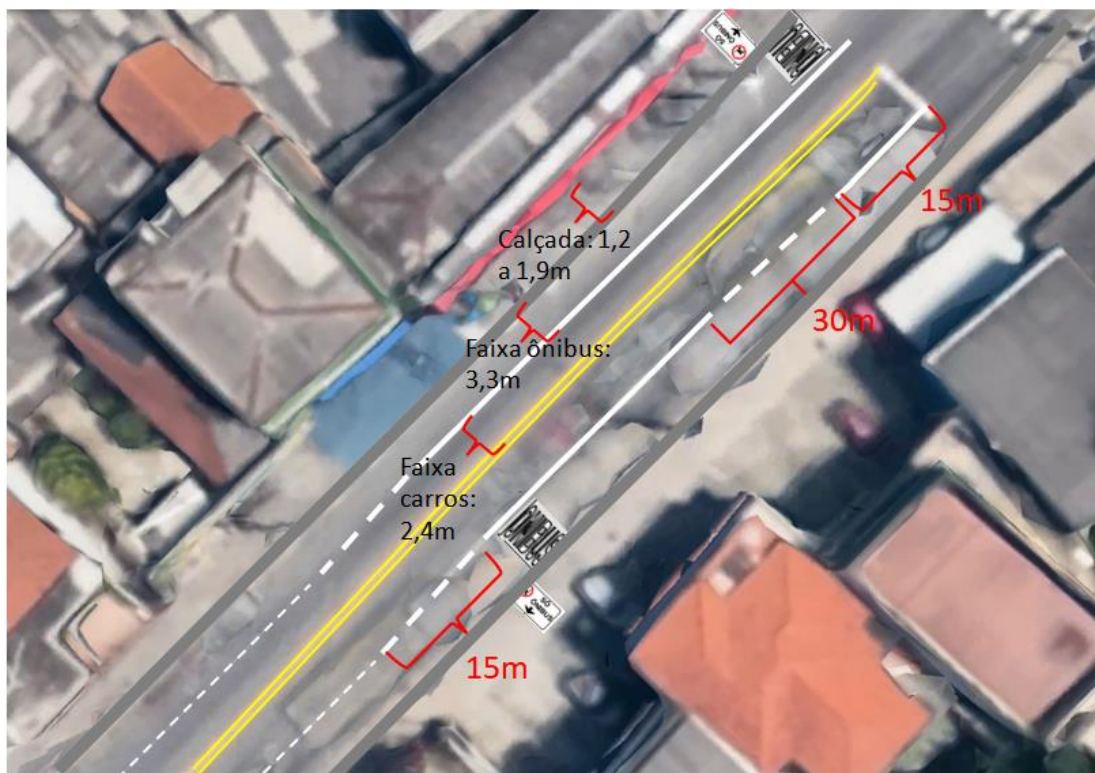


Figura 4.19 - Representação de faixas de ônibus após implementação sugerida. Trecho 6 Bairro-Centro e Trecho 4 Centro-Bairro (Av. Maria Coelho Aguiar No. 1050 a 1000)



Figura 4.20 - Representação de faixas de ônibus após implementação sugerida. Trecho 6 Bairro-Centro e Trecho 4 Centro-Bairro (Av. Maria Coelho Aguiar No. 1000 a 900)



Figura 4.21 - Representação de faixas de ônibus após implementação sugerida. Trecho 6 Bairro-Centro e Trechos 4 e 3 Centro-Bairro (Av. Maria Coelho Aguiar No. 1000 a 850)



Figura 4.22 - Representação de faixas de ônibus após implementação sugerida. Trecho 6 Bairro-Centro e Trecho 3 Centro-Bairro (Av. Maria Coelho Aguiar No. 850 a 750)



Figura 4.23 - Representação de faixas de ônibus após implementação sugerida. Trecho 6 Bairro-Centro e Trecho 3 Centro-Bairro (Av. Maria Coelho Aguiar No. 750 a 650)

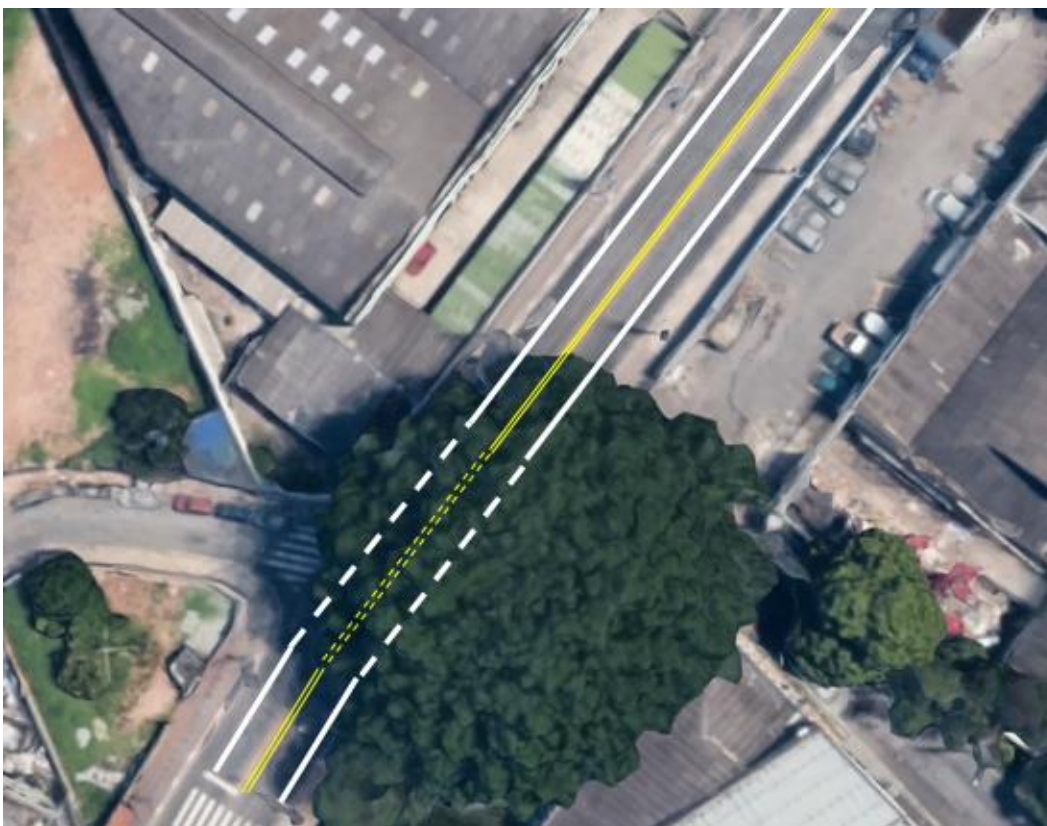


Figura 4.24 - Representação de faixas de ônibus após implementação sugerida. Trecho 6 Bairro-Centro e Trecho 2 Centro-Bairro (Av. Maria Coelho Aguiar No. 650 a 400)



Figura 4.25 - Representação de faixas de ônibus após implementação sugerida. Trecho 6 Bairro-Centro e Trecho 2 Centro-Bairro (Av. Maria Coelho Aguiar No. 400 a 300)

Estando em conformidade com as recomendações de normas ABNT e da Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo, a representação gráfica das faixas de ônibus visou apresentar solução prática para melhoria das velocidades médias de transporte nessa região da cidade. Espera-se que o mesmo método possa ser replicado para outras regiões onde o transporte público está passando por gargalos de trânsito por falta de planejamento e urbanização adequados.

5. Conclusões e Propostas

A adequação de infraestruturas viárias urbanas, descritas pela norma NBR ISO 9001:2008, está diretamente associada à qualidade de vida urbana. Esta, por sua vez, está associada ao transporte diário do cidadão, essencial para a manutenção dos fluxos de veículos, economia, entre outros aspectos associados à vida nas cidades.

Dada a necessidade de se aprofundar os estudos em transporte urbano, tanto quantitativamente (como no presente estudo), quanto qualitativamente por meio de pesquisas (estudos de campo, análises da qualidade de vida e satisfação do cidadão transportado), espera-se que as considerações apresentadas neste trabalho possam contribuir como instrumento para obtenção de velocidades de ônibus a partir de observações de deslocamento captadas por GPS para planejamento de transporte urbano.

A avenida selecionada (Av. Maria Coelho Aguiar, e sua extensão a Sul) mostrou-se conveniente para o foco do estudo, por ser uma via importante de conexão Bairro-Centro na Zona Sul de São Paulo, conectando os distritos de Socorro e Capão Redondo às entradas da Marginal Pinheiros e Av. João Dias sentido Centro.

A avenida, assim como muitas outras utilizadas por grande parte da população que se dirige ao Centro (principalmente das zonas Sul e Leste de São Paulo), não apresenta estudo aprofundado de urbanização, transporte e trânsito, sendo essencial a elaboração de proposta de melhoria. Dessa forma, espera-se que o desenvolvimento da solução por figuras para esta avenida apresente em proporção aproximada que a remodelagem das dimensões é plausível e deve ser realizada para melhoria do transporte urbano no Município de São Paulo.

Os efeitos da correta implantação de faixas em observância às recomendações deste trabalho são vários:

- maior capacidade de transporte;
- maior fluidez nas vias;
- possibilidade de inclusão de novas linhas de ônibus;
- maior movimentação da economia na cidade pelo transporte eficiente.

Outro importante fator a ser observado como proposta de novos estudos é a observação das condições gerais de urbanização na via estudada (e em outras da cidade). O seguimento correto do Plano Diretor da Cidade de São Paulo prevê cuidados de urbanização como faixas visíveis, e evitando degradações na via, o que não é observado em toda a extensão da Av. Maria Coelho Aguiar. Em diversos trechos há ausência de sinalização horizontal e vertical, prejudicando a adequada utilização da via.

Dessa forma, tem-se como conclusão final o entendimento de que o estudo pode proporcionar melhorias diretas no fluxo da avenida, com expressiva elevação da velocidade média. Em segundo ponto, espera-se entendimento da necessidade deste tipo de estudo, tanto para a própria redução de trânsito, quanto para melhoria nas condições de urbanização nos bairros mais afastados do Centro Expandido de São Paulo, onde vive a maior parte de sua população.

6. Referências Bibliográficas

ABNT. *NBR 9050: Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos*. São Paulo (2004)

CET (2001). *Manual de Sinalização Urbana - MSU - Circulação Prioritária de Ônibus - Critérios de Projeto – Vol. 11*. São Paulo.

Ferraz, A. & Torres, G. (2001). *Transporte Público Urbano*. 2nd ed. São Carlos: RIMA.

Ferreira, W. (2002). *O espaço público nas áreas centrais: a rua como referência*. São Paulo.

G1 [internet] (2019). *Paulistano demora quase 3 horas por dia no trânsito, e 88% dos pedestres se sentem inseguros, diz pesquisa*. Disponível em: <https://g1.globo.com/sp/sao-paulo/noticia/2018/09/18/paulistano-demora-quase-3-horas-por-dia-no-transito-e-88-dos-pedestres-se-sentem-inseguros-diz-pesquisa.ghtml> [acessado 15 Set. 2019].

Grupo Sul News [internet] (2019). *Portal Imovelweb - Itaim Bibi é o bairro de SP com maior concentração de imóveis comerciais*. Disponível em: <https://gruposulnews.com.br/itaim-bibi-e-o-bairro-de-sp-com-maior-concentracao-de-imoveis-comerciais/> [acessado 14 Set. 2019].

GTFS Portal. (2019) [internet]. Disponível em: <https://gtfs.org/> [acessado 23 Nov 2019].

IBOPE (2018) [internet]. *Viver em São Paulo: Mobilidade Urbana na Cidade*. Disponível em: <https://www.mobilize.org.br/midias/pesquisas/viver-em-sao-paulo-mobilidade-urbana-na-cidade.pdf> [acessado 23 Nov 2019].

IEMA (2017). *Estudo Sobre Faixas Exclusivas*. São Paulo: Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA).

Jacobs, J. and Rawlins, D. (2011). *Morte e vida de grandes cidades*. 3rd ed. Westminster, Md.: WMF Martins Fontes.

Johnson, S. (1786). *A dictionary of the English language*. Londres: J.F. and C. Rivington,

Manual de Sinalização de Ônibus: Circulação Prioritária de Ônibus. (2014). Companhia de Engenharia de Tráfego.

MBTA. (2019) *Bus Lane Pilot Results* [internet]. Disponível em: <https://www.mbtabackontrack.com/blog/103> [acessado 26 Nov 2019].

Ministério das Cidades. (2013). *Política nacional de mobilidade urbana sustentável*. Brasília,

Monteiro J, Pons, I & Speicys R. (2015). *Big Data para análise de métricas de qualidade de transporte: metodologia e aplicação Vol. 20*. São Paulo.

NBR 9050. (2004). Rio de Janeiro: ABNT.

Novaes, A., Mayerle, S., Gonçalves, M., Schmitz, R. and Azambuja, A. (2002). *Análise de Eficiência na Gestão do Transporte Urbano por Ônibus em Municípios Brasileiros*. Brasília: Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção.

O Estado de S.Paulo [internet] (2017). *Carros levam 30% dos passageiros, mas respondem por 73% das emissões em SP*. Disponível em: <https://sustentabilidade.estadao.com.br/noticias/geral,carros-transportam-30-dos-passageiros-mas-respondem-por-73-das-emissoes-em-sp,70001806416> [acessado 16 Set. 2019].

Plano Diretor. (2014) [internet]. *Plano diretor cidade de São Paulo*. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/plano-diretor-sao-paulo-sp> [acessado 12 Set 2019].

Referências Ricardo, K. (2016). *O Processo de Urbanização*. São Paulo.

Rosa, R. and Brito, J. (1996). *Introdução ao geoprocessamento*. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia.

Scipopulis (2017). *Painel do Ônibus – Manual do Usuário*. São Paulo.

Silva, F. (2013). *Mobilidade urbana: os desafios do futuro*. São Paulo: Scielo.

SPTrans (2019) [internet]. Disponível em: www.sptrans.com.br.
[acessado 09 Set 2019].

Vuchic, V. (1981). *Urban public transportation*. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall.

Vuchic, V. (2007). *Urban Transit Systems and Technology*. John Wiley & Sons.

Watanabe, R. (2019) [internet]. *Tráfego e trânsito de veículos e pessoas*. Ebanataw.com.br.
Disponível em: <http://www.ebanataw.com.br/trafegando/faixas.html>
[acessado 09 Set. 2019].

World urbanization prospects. (2018). New York: United Nations.

Wricidades.org. (2019) [internet]. BRT - Bus Rapid Transit | WRI Brasil Cidades
Sustentáveis. Disponível em: <http://wricidades.org/BRT>
[acessado 14 Set. 2019].

7. Apêndice

Apêndice I – Localização dos registros na avenida em estudo (linhas de ônibus que passam pela avenida)

```
def main():
    import pandas as pd
    import math
    # -----Ler arquivos
    file1 = "MO_1361.txt"
    file2 = "QGis2.txt"
    with open(file1) as f:
        lines = f.readlines()
    with open(file2) as g:
        lines2 = g.readlines()
    # -----Atribuir precisão
    precisao = 0.0001
    # -----Loop nos pontos notáveis
    i=2
    contador = 0 #auxilia no print excel
    #criar matriz inicial
    m_inicial = pd.DataFrame([[0]*61])
    print("check1")
    while i<=len(lines2)-1:
        #while i<=2:
            #pegar latitude e longitude
            dados_separados2 = lines2[i].split(",")
            lat2 = float(dados_separados2[3])
            long2 = float(dados_separados2[2])
            coluna_atual = i-2

        #loop nos 11 milhões de dados
        j=0
        print(i)
        i = i + 1
        contador = 0
        while j<=len(lines)-1:
            #pegar latitude e longitude
            dados_separados = lines[j].split(",")
            lat1 = float(dados_separados[3])
            long1 = float(dados_separados[4])

            j = j + 1
        #atribuir precisão
```

```
if(abs(lat2)-precisao<abs(lat1)<abs(lat2)+precisao):
    if (abs(long2)-precisao<abs(long1)<abs(long2)+precisao): #passa no teste
        contador = contador + 1
        #concatenar na matriz
        linha = dados_separados[2] #linha do ônibus
        m_inicial.loc[contador, coluna_atual] = linha
m_inicial.to_excel("output2.xlsx")
main()
```

Apêndice II – Verificação da linha encontrada nos intervalos refinados

```
def main():

    import math
    file1 = "MO_1361.txt"
    file2 = "pontos_ref
    with open(file1) as f:
        lines = f.readlines()
    with open(file2) as g:
        pontos_ref = g.readlines()

    i=0
    j=0
    while j<len(pontos_ref):
        dados = pontos_ref[j].split(",")
        lat1 = float(dados[0])
        lat2 = float(dados[2])
        long1 = float(dados[1])
        long2 = float(dados[3])
        while i<=len(lines)-1:
            dados_separados = lines[i].split(",")
            lat = float(dados_separados[3])
            long = float(dados_separados[4])
            if lat1<lat<lat2:
                if long1<long<long2:
                    string_final = string_final + lines[i]
            i=i+1
        j=j+1
    file_e = open("escrever.txt", "a")
    file_e.write(string_final)
    file_e.close()

main()
```


Apêndice III – Redução do arquivo CSV

```
def main():

    import pandas as pd
    import math

    file_linhas = "linhas.txt"
    file1 = "MO_1361.txt"

    with open(file1) as f:
        lines_tot = f.readlines()
    with open(file_linhas) as g:
        lines_bus = g.readlines() #lista para procurar matches

    i=0
    string_final = ""
    print(len(lines_tot))
    while i<=len(lines_tot)-1:
        dados_linha = lines_tot[i] #linha inteira com dados
        dados_separados = lines_tot[i].split(",")
        linha_bus = ";" + dados_separados[2] + ";" #só linha de ônibus

        if linha_bus in lines_bus:
            if dados_linha not in string_final:
                string_final = string_final + lines_tot[i]

        i = i + 1
    print(string_final)
    #gerar txt
    file_e = open("escrever.txt", "a")
    file_e.write(string_final)
    file_e.close()

main()
```

Apêndice IV – Inclusão dos pontos de ônibus entre as linhas ordenadas do arquivo reduzido

```
def main():

# -----Ler arquivos
file1 = "Sul_Norte.txt"
file2 = "Sul-Norte_pontos.txt"
with open(file1) as f:
    linhas = f.readlines()
with open(file2) as g:
    pontos = g.readlines()
string_final = ""
i=0
while i<len(linhas)-1: #loop nas 3.5mil
    dados_separados1 = linhas[i].split(";")
    dados_separados2 = linhas[i+1].split(";")
    viagem1=dados_separados1[17]
    viagem2=dados_separados2[17]
    string_final =string_final + linhas[i]
    if viagem1==viagem2:
        lat1 = dados_separados1[10]
        lat1 = lat1.replace(",", ".")
        lat1 = float(lat1)
        lat2 =dados_separados2[10]
        lat2 = lat2.replace(",", ".")
        lat2 = float(lat2)
        j=0
        while j<len(pontos):
            dados_s = pontos[j].split(",")
            lat_p = float(dados_s[1])
            long_p = float(dados_s[2])
            j=j+1
            if abs(lat1)>abs(lat_p)>abs(lat2):
                ponto = "PONTO" + dados_s[0] + ";;;;;;;;;" + str(lat_p).replace(".", ",") + ";" +
str(long_p).replace(".", ",") + ";;;;;;;;;"
                string_final = string_final + ponto + "\n"

        i=i+1
    file_e = open("DADOS_6.txt", "a")
    file_e.write(string_final)
    file_e.close()

main()
```

Apêndice V – Algoritmo de horário de passagem dos ônibus nos pontos

```
def main():

    import math
    import xlswriter
    file1 = "DADOS_6.txt"
    with open(file1) as f:
        linhas = f.readlines()
    dados_final = []
    i=0
    string_concatenado = ""
    while i<len(linhas):

        dados_separados = linhas[i].split(";")
        lat_linha=float(dados_separados[10].replace(",","."))
        long_linha=float(dados_separados[11].replace(",","."))

        if dados_separados[0][:5] == "PONTO": # é ponto de ônibus
            #achar linha anterior
            j=i
            while j>=0:
                dados_separados2 = linhas[j].split(";")
                if dados_separados2[1] != "": # é medida
                    #ler lat/long/tempo
                    tempo_anterior = dados_separados2[15]
                    tempo_anterior = float(tempo_anterior)

                    lat_ant= float(dados_separados2[10].replace(",","."))
                    long_ant=float(dados_separados2[11].replace(",","."))
                    j=-1
                j=j-1
            #achar linha posterior
            k=i
            while k<len(linhas):
                dados_separados3 = linhas[k].split(";")
                if dados_separados3[1] != "": # é medida
                    #ler lat/long/tempo
                    tempo_post = dados_separados3[15]
                    #tempo_post = tempo_post.replace(",",".")
                    #tempo_anterior = tempo_anterior.replace(".",",")
                    tempo_post = float(tempo_post)

                    lat_post= float(dados_separados3[10].replace(",","."))
                    long_post=float(dados_separados3[11].replace(",","."))
```

```

        k=1000000000 #infinito: sair da condição while (k zerado para próxima iteração)
        k=k+1

    delta_T = tempo_post - tempo_anterior
    d=(lat_ant - lat_linha)**2 + (long_linha - long_ant)**2
    d = math.sqrt(d)
    D=math.sqrt((lat_post-lat_ant)**2 + (long_post-long_ant)**2)
    #-----

    Tempo = delta_T*(d/D)
    dados_separados[15] = tempo_anterior+Tempo
    dados_separados[15] = str(dados_separados[15]).replace(".", ",")
    alpha = 0
    while alpha<=18:
        string_concatenado = str(string_concatenado) + ";" + str(dados_separados[alpha])
        alpha = alpha + 1

    i=i+1

file_e = open("momento_passagem_pontos.txt", "a")
file_e.write(string_concatenado)
file_e.close()
main()

```

Apêndice VI – Cálculo das velocidades médias por trecho (VB Code)

```
Sub calc()

For i = 1 To 6000

    If Left(Sheets("Sheet1").Cells(i, 2), 5) = "PONTO" Then 'é ponto
        a = Len(Sheets("Sheet1").Cells(i, 2)) - 5
        numero_pto = CInt(Right(Sheets("Sheet9").Cells(i, 2), a))
        tempo = Sheets("Sheet1").Cells(i, 17)

        For j = i + 1 To 6000
            b = Len(Sheets("Sheet1").Cells(j, 2)) - 5
            If b <> 0 Then
                If CInt(Right(Sheets("Sheet1").Cells(j, 2), b)) = numero_pto + 1 Then 'é próximo
                    ponto: pegar diferença de tempo e calcular
                    tempo_2 = Sheets("Sheet1").Cells(j, 17)
                    dt = tempo_2 - tempo

                    ponto1 = numero_pto
                    ponto2 = CInt(Right(Sheets("Sheet1").Cells(j, 2), b))
                    leitura = ponto1 & ponto2
                    leitura = CInt(leitura)

                    dist      =      WorksheetFunction.Index(Sheets("Sheet1").Range("distancs"),
WorksheetFunction.Match(leitura, Sheets("Sheet1").Range("ptos"), 0))

                    vel = dist / dt
                    Sheets("Sheet1").Cells(i, 21) = vel
                    Exit For
                End If
            End If
            If Left(Sheets("Sheet1").Cells(j, 2), 5) = "PONTO" Then
                Exit For
            End If
        Next j

    End If
Next i
End Sub
```