



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS FLORIANÓPOLIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES E
GESTÃO TERRITORIAL – PPGTG**

MARCUS VINÍCIUS BEZERRA INÁCIO BRITZ

**MÉTODO PARA AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DOS CONGESTIONAMENTOS EM
LINHAS DE TRANSPORTE PÚBLICO DE PASSAGEIROS POR ÔNIBUS EM
ÁREAS URBANAS**

**FLORIANÓPOLIS
2020**

MARCUS VINÍCIUS BEZERRA INÁCIO BRITZ

**MÉTODO PARA AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DOS CONGESTIONAMENTOS EM
LINHAS DE TRANSPORTE PÚBLICO DE PASSAGEIROS POR ÔNIBUS EM
ÁREAS URBANAS**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial.

Orientador: Prof. Dr. Amir Mattar Valente

**FLORIANÓPOLIS
2020**

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Britez, Marcus Vinicius Bezerra Inácio
Método para avaliação dos efeitos dos congestionamentos em linhas de transporte público de passageiros por ônibus em áreas urbanas / Marcus Vinicius Bezerra Inácio Britez ; orientador, Amir Mattar Valente, 2020.
227 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial, Florianópolis, 2020.

Inclui referências.

1. Engenharia de Transportes e Gestão Territorial. 2. Sistemas de transportes. 3. Transporte público urbano. 4. Congestionamento em vias urbanas. I. Valente, Amir Mattar. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós Graduação em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial. III. Título.

MARCUS VINÍCIUS BEZERRA INÁCIO BRITZ

**MÉTODO PARA AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DOS CONGESTIONAMENTOS EM
LINHAS DE TRANSPORTE PÚBLICO DE PASSAGEIROS POR ÔNIBUS EM
ÁREAS URBANAS**

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado em 20 de fevereiro de 2020 por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Dr. Jorge Destri Junior.

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial – UFSC

Prof. Dr. João Eugênio Cavallazzi.

Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Prof. Dr. Eduardo Lobo.

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial – UFSC

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de mestre em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial.

Prof. Dra. Ana Maria Benciveni Franzoni
Coordenação do Programa

Prof. Dr. Amir Mattar Valente
Orientador

Florianópolis, 2020

Dedico este trabalho à minha família, minha namorada, amigos e professores, com toda minha gratidão.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida e pela saúde que me proporciona buscar, a cada dia, a realização de meus sonhos.

Aos meus pais, Maristela e Haroldo, e toda minha família, pelo amor e suporte incondicionais nesta caminhada, apesar da longa distância física que nos separa.

À minha amada Stephanie, por tudo que vivemos juntos nos últimos anos, sempre dividindo nosso tempo com as pesquisas, levantamentos e escrita da dissertação, pelas revisões, conselhos, amparo e todo o amor.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Amir Mattar Valente, por todas as reuniões, conversas, sugestões, recomendações e toda sua preocupação com o andamento deste trabalho e suas aplicações. Ingressei no mestrado como um admirador de seu trabalho e saio como um fã de sua pessoa. Agradeço, também, à equipe fantástica que o acompanha, os queridos Roberto Stosick e Karolina Santos, por todo o suporte prestado nesses anos.

Ao Sr. Fábio Engleitner, Gerente de Projeto da WPLEX e ao Consórcio Fênix pela valorosa contribuição à execução desse trabalho, por meio da cessão de dados tão importantes do sistema de transporte público de Florianópolis.

Ao Prof. Dr. Jorge Destri Junior pela participação na banca e contribuição essencial à definição do tema pesquisado e os conselhos iniciais, além do Prof. Dr. João Eugênio Cavallazzi e Prof. Dr. Eduardo Lobo, por também aceitarem o convite para a banca a fim de realizar preciosas críticas e sugestões ao trabalho com seu indispensável conhecimento na área dos Sistemas de Transportes.

À CAPES, pelos seis meses de bolsa de mestrado e pelo constante trabalho e luta pela pesquisa acadêmica brasileira.

Ao LabTrans, por todo o conhecimento que nele adquiri, por todos os amigos que nele fiz e, especialmente, aos senhores Rodolfo Philippi e Victor Caldeira, pelo constante apoio e compreensão nos momentos mais adversos durante a produção desse trabalho.

Aos meus amigos, por todo o suporte, torcida, auxílio e carinho durante toda essa longa caminhada acadêmica, de longe ou de perto, todos vocês são especiais e tem contribuição no resultado dessa pesquisa.

Ainda aos meus amigos, agradeço a todo o Tijolo Vegano e, em especial, aos meus amigos Renan Fereli, Isabela Martins e Humberto Lafuente, por todas as conversas, desabafo recíprocos sobre as angústias do mestrado, e cada palavra de reconhecimento e apoio.

Ao PPGTG e à Universidade Federal de Santa Catarina, que por meio de cada servidor e cada contribuinte, em todos os níveis, permitiu a realização desse trabalho, e por toda sua busca pela excelência em ensino e conhecimento nas mais determinadas áreas.

“Alguns homens veem as coisas como são e dizem
'Por que?' Eu sonho com as coisas que nunca foram e
digo 'Por que não?'”

(George Bernard Shaw)

RESUMO

Frente aos recorrentes congestionamentos observados em centros urbanos brasileiros e a baixa competitividade do transporte público urbano realizado por ônibus devido, principalmente, à sua baixa velocidade operacional, desenvolveu-se o presente estudo, com o objetivo de elaborar um método de avaliação dos efeitos dos congestionamentos em linhas de transporte público urbano operadas com ônibus em vias compartilhadas com os demais veículos. Dessa forma, esse estudo utilizou-se de uma metodologia que define a pesquisa como aplicada, quantitativa, exploratória e parcialmente descritiva, utilizando de pesquisas bibliográficas e estudo de caso. O método desenvolvido, denominado MAEC-TP (Método de Avaliação dos Efeitos dos Congestionamentos no Transporte Público), é descrito e detalhado, tendo como objetivo geral a estimação de índices de congestionamento e o estabelecimento de sua relação com tempos de viagem em linhas de transporte público urbano, obtendo uma curva utilizada para avaliar esses efeitos, testar cenários e nortear tomadas de decisão. A demonstração da aplicabilidade do método foi realizada na Linha 320 do sistema de transporte público urbano realizado por ônibus de Florianópolis, SC, utilizando-se de dados do *Google Maps* relativos às condições de tráfego no itinerário da linha analisada, e de dados de monitoramento dos tempos de viagem cedidos, obtendo-se uma reta mediante um modelo de regressão linear simples, com cerca de 70% das variações nos tempos de viagem sendo explicadas pelas variações nos congestionamentos. Posteriormente, por meio do modelo obtido, foi desenvolvida uma situação com implantação hipotética de faixa exclusiva de ônibus em trechos do itinerário da Linha 320, comparando-se o dimensionamento da frota necessária no cenário atual e no cenário hipotético, resultando em uma diminuição teórica de um veículo na programação operacional para o segundo cenário, mostrando que o MAEC-TP pode ser utilizado não só para a avaliação de operações atuais, mas também em prognósticos, além de auxiliar em ações gerenciais e estudos de mobilidade urbana a partir, principalmente, dos índices de congestionamento. Concluiu-se que todos os objetivos dessa pesquisa foram alcançados e se destaca que o uso de tecnologias digitais como as utilizadas nesse trabalho pode contribuir futuramente com estudos na área dos sistemas de transporte por conta de sua simplicidade, menores custos e menor tempo para execução. Por fim, acredita-se que o método desenvolvido contribui com sua área ao passo em que aborda um problema pouco explorado na produção acadêmica brasileira, possibilitando desenvolver novos trabalhos que aperfeiçoem o MAEC-TP e identifiquem novas variáveis pertinentes à avaliação da operação de sistemas de transporte público urbano realizado por ônibus.

Palavras-chave: Sistemas de Transportes; Transporte público urbano; Congestionamento em vias urbanas.

ABSTRACT

In view of the recurrent congestion observed in Brazilian urban centers and the low competitiveness of urban public transport by bus, mainly due to its low operational speed, the present study was developed, with the objective of elaborating a method for evaluating the effects of congestion on urban public transport lines operated by buses on roads shared with other vehicles. Thus, this study used a methodology that defines research as applied, quantitative, exploratory and partially descriptive, using bibliographic research and case study. The developed method, called MAEC-TP (Method of Assessing the Effects of Congestion on Public Transport), is described and detailed, with the general objective of estimating congestion rates and establishing its relationship with travel times on urban public transport lines, obtaining a curve used to evaluate these effects, test scenarios and guide decision making. The demonstration of the applicability of the method was carried out on Line 320 of the urban public transport system operated by buses in Florianópolis, SC, using data from Google Maps related to the traffic conditions in the route of the analyzed line, and data monitoring the travel times obtained, obtaining a straight line using a simple linear regression model, with about 70% of the variations in travel times that can be explained by the variations in congestion. Subsequently, using the model obtained, a situation was developed with the hypothetical implementation of an exclusive bus lane in sections of the Line 320 itinerary, comparing the fleet size in the current scenario and the hypothetical scenario, resulting in a theoretical decrease of one vehicle in the operational programming for the second scenario, showing that the MAEC-TP can be used not only for the evaluation of current operations, but also in prognosis, in addition to assisting in management actions and urban mobility studies based mainly on the congestion indexes. It was concluded that all the objectives of this research were achieved and it is emphasized that the use of digital technologies such as those used in this work may contribute in the future to studies in the area of transport systems due to its simplicity, lower costs and less time for execution. Finally, it is believed that the method developed contributes to its area while addressing a little-explored problem in Brazilian research, making it possible to develop new works that improve the MAEC-TP and identify new variables relevant to the evaluation of the operation of urban public transportation systems operated by bus.

Key-words: Transportation Systems; Urban public transport; Congestion on urban roads.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma da Metodologia da Pesquisa	33
Figura 2 - Tipos de Linhas (Traçado)	37
Figura 3 - Sistema com Linhas Troncais e Alimentadoras (Função)	38
Figura 4 - Tipos de Redes	39
Figura 5 - Parada de ônibus em pista simples	41
Figura 6 - Movimentos em uma estação urbana de ônibus.....	42
Figura 7 - Variação Típica entre Bairros e Centro (Dias Úteis)	44
Figura 8 - Evolução dos ônibus (1826 - atualmente).....	48
Figura 9 - Exemplo de Diagrama de Marcha.....	62
Figura 10 - Exemplo de faixa exclusiva - Rio de Janeiro, RJ	64
Figura 11 - Principais elementos de uma faixa exclusiva	65
Figura 12 – BRT em Curitiba/PR.....	66
Figura 13 - Relações gerais entre Fluxo, Velocidade e Densidade	68
Figura 14 - Níveis de Serviço (LOS).....	70
Figura 15 - Evolução dos Equipamentos usados na Mobilidade (Ano Base 2003 = 1,00)	73
Figura 16 - Ciclo de perda de competitividade do Transporte Público Urbano	75
Figura 17 - Sentido e força da correlação, em termos do coeficiente r	78
Figura 18 - Reta aproximada para conjunto de observações e resíduos	79
Figura 19 - Fluxograma de etapas do MAEC-TP	102
Figura 20 - Mapa do município de Florianópolis, SC.....	114
Figura 21 - Rotas da Linha 320 (TILAG-TICEN via Beira Mar)	118
Figura 22 - Trechos de análise da variação de velocidade	121
Figura 23 – Visão aproximada para o trecho 10.....	122
Figura 24 – Interface do <i>Google Maps</i> com faixas de intensidade de velocidade...	124
Figura 25 – Exemplo de diferentes situações de velocidades de tráfego – <i>Google Maps</i>	126
Figura 26 – Pontuação de graus de impedimento - <i>Google Maps</i>	128
Figura 27 - Pontuação por horário, trecho e sentido - análise de pico (06h00min- 11h30min)	129
Figura 28 - Pontuação por horário, trecho e sentido - análise de pico (12h00min- 17h30min)	130

Figura 29 - Pontuação por horário, trecho e sentido - análise de pico (18h00min-22h00min)	130
Figura 30 - Situação típica identificada no horário de pico (18h30min) - rota da Linha 320	131
Figura 31 - Visão aproximada dos trechos mais críticos no horário de pico.....	132
Figura 32 - Visão aproximada do trecho 10 – horário de pico	132
Figura 33 – Parte da planilha de dados cedida	133
Figura 34 - Diagrama de Marcha - cenário atual	150
Figura 35 - Situação hipotética em faixa exclusiva para os trechos 6, 7 e 8	152
Figura 36 - Novos Icongest para a Linha 320 no período de pico	153
Figura 37 - Diagrama de Marcha - cenário com faixas exclusivas	155

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Demanda por Modo de Transporte Público Urbano - Capitais UNECE ..	49
Gráfico 2 - Tempo médio no deslocamento casa-trabalho – regiões metropolitanas selecionadas no Brasil e no mundo ^{1,2}	76
Gráfico 4 - Divisão Modal - Região Metropolitana de Florianópolis	115
Gráfico 5 – Número de automóveis em Florianópolis entre 2010 e 2019.....	116
Gráfico 6 – $I_{congest}$ ao longo do dia - Linha 320 (quartas-feiras)	131
Gráfico 7 - Variação diária do $I_{congest}$	140
Gráfico 8 - Variação diária do T_{vm}	140
Gráfico 9 - Diagrama de dispersão $I_{congest}$ x T_{vm}	141
Gráfico 10 - Diagrama de dispersão entre resíduos e $I_{congest}$	142
Gráfico 11 - Diagrama de dispersão das variáveis transformadas	145
Gráfico 12 - Diagrama de dispersão entre resíduos e $I_{congest}$ – modelo ajustado	146

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Níveis de Planejamento - TPUO	40
Quadro 2 - Critérios de seleção de estudos	83
Quadro 3 - Trabalhos selecionados para Análise Final	85
Quadro 4 - Revisão da Literatura – estudos finais selecionados.....	87
Quadro 5 - Fases do MAEC-TP	101
Quadro 6 - Tabulação para cálculo do Índice de congestionamento.....	107
Quadro 7 - Dados de operação - F-6	107
Quadro 8 - Relação Tempos de viagem x Índices de congestionamento	109
Quadro 9 - Linhas do sistema de TPUO - Florianópolis	117
Quadro 10 - Horários de saída - TICEN - Linha 320 (dias úteis).....	119
Quadro 11 - Horários de saída - TILAG - Linha 320 (dias úteis)	119
Quadro 12 - Horários de saída - Linha 320 (sábados)	120
Quadro 13 - Horários de saída - Linha 320 (domingos e feriados).....	120
Quadro 14 – Trechos de análise de variação de trânsito – Linha 320	122
Quadro 15 - Faixas de velocidade para cada cor - <i>Google Maps</i>	127
Quadro 16 - Planilha de cálculo de tempos de viagem da Linha 320.....	136
Quadro 17 - Tempos de viagem agrupados por intervalo	137
Quadro 18 - T_{vm} x $I_{congest}$ – valores observados	139
Quadro 19 - T_{vm} x $I_{congest}$ – valores transformados.....	144
Quadro 20 - Valores ajustados pelo MRLS	147
Quadro 21 - Dados utilizados para dimensionamento de frotas - cenário atual	149
Quadro 22 - Novos tempos médios de viagem – cenário com faixas exclusivas ...	153
Quadro 23 - Comparativo de velocidades médias: cenário atual x cenário com faixas exclusivas.....	156

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANTP - Associação Nacional de Transportes Públicos

BRT - *Bus Rapid Transit*

CF - Consórcio Fênix

DETRAN-SC - Departamento Estadual de Trânsito de Santa Catarina

HCM – *Highway Capacity Manual*

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IPEA - Instituto De Pesquisa Econômica Aplicada

MAEC-TP - Método de Avaliação dos Efeitos dos Congestionamentos no Transporte Público

MRLS - Modelo de Regressão Linear Simples

NTU - Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos

RM - Região Metropolitana

TPUO - Transporte Público Urbano realizado por Ônibus

TICAN - Terminal de Integração de Canasvieiras.

TICEN - Terminal de Integração do Centro.

TILAG - Terminal de Integração da Lagoa da Conceição.

TIRIO - Terminal de Integração do Rio Tavares.

TISAN - Terminal de Integração de Santo Antônio de Lisboa

TITRI - Terminal de Integração da Trindade.

TRB - *Transportation Research Board*

UNECE - *United Nations Economic Commission for Europe*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	28
1.1 JUSTIFICATIVA	29
1.2 OBJETIVOS	30
1.2.1 Objetivo Geral	30
1.2.2 Objetivos Específicos	30
1.3 METODOLOGIA.....	31
1.4 LIMITAÇÕES DE ESCOPO	33
1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	33
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	36
2.1 TRANSPORTE PÚBLICO DE PASSAGEIROS POR ÔNIBUS	36
2.1.1 Linhas, Redes e Roteirização.....	36
2.1.2 Pontos de Parada.....	40
2.1.3 Estações (Terminais) de ônibus	41
2.1.4 Demanda em Sistemas de TPUO	43
2.2 CARACTERÍSTICAS DO TPUO.....	44
2.3 HISTÓRICO DO TPUO	45
2.3.1 O surgimento do TPUO	45
2.3.2 O TPUO no Brasil.....	49
2.4 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE EM SERVIÇOS DE TPUO	52
2.4.1 Confiabilidade.....	53
2.4.2 Tempos de Viagem	53
2.4.3 Velocidade Operacional	54
2.4.4 Frequência e <i>Headway</i>	55
2.4.5 Capacidade do TPUO e Nível do Serviço	55
2.5 DIMENSIONAMENTO DE FROTAS	56

2.5.1 Método do Tempo de Ciclo (MTC)	58
2.5.2 ANTP.....	59
2.5.3 Diagrama de Marcha	61
2.6 PRIORIZAÇÃO DO TRANSPORTE PÚBLICO COLETIVO POR ÔNIBUS.....	63
2.7 CONGESTIONAMENTOS EM VIAS URBANAS	66
2.7.1 Considerações Iniciais.....	66
2.7.2 Caracterização e Tipos de Congestionamentos	67
2.7.3 Contexto histórico.....	72
2.8 OBTENÇÃO DE MODELOS DE REGRESSÃO LINEAR SIMPLES	78
3 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA	82
3.1 INTRODUÇÃO	82
3.2 PLANEJAMENTO E ETAPAS	82
3.3 RESULTADOS	84
3.4 CONCLUSÃO.....	97
4 O MÉTODO DESENVOLVIDO	100
4.1 INTRODUÇÃO	100
4.2 O MÉTODO MAEC-TP	100
4.2.1 Apresentação do Método	101
4.2.2 Detalhamento das Fases do MAEC-TP.....	102
5 DEMONSTRAÇÃO DA APLICABILIDADE DO MAEC-TP	112
5.1 DEFINIÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO	112
5.2 DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	113
5.2.1 Aspectos gerais do município de Florianópolis	113
5.2.2 TPUO Florianópolis	116
5.3 DEFINIÇÃO DA LINHA A SER ANALISADA.....	117
5.4 OBTENÇÃO DOS DADOS DA LINHA	117
5.5 CÁLCULO DOS ÍNDICES DE CONGESTIONAMENTO	121

5.6 OBTENÇÃO E ORGANIZAÇÃO DOS DADOS DE OPERAÇÃO	133
5.6.1 Solicitação e recebimento dos dados	133
5.6.2 Seleção e organização dos dados operacionais	134
5.7 ESTABELECIMENTO DA RELAÇÃO ENTRE TEMPOS DE VIAGEM E CONGESTIONAMENTO	135
5.7.1 Cálculo dos tempos de viagem	135
5.7.2 Cálculo da relação $I_{congest} \times T_{vm}$	138
5.8 RESULTADOS E CONCLUSÕES.....	148
5.8.1 Avaliação de uso de faixas exclusivas	148
5.8.1 Cenário atual	148
5.8.2 Cenário com faixas exclusivas	151
5.8.2 Conclusões.....	156
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES	158
6.1 OUTRAS APLICAÇÕES.....	158
6.1.1 Ações gerenciais	158
6.1.2 Mobilidade Urbana	159
6.2 COMENTÁRIOS E CONSIDERAÇÕES	159
6.3 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	161
REFERÊNCIAS.....	164
APÊNDICE A - Capturas de tela do Google Maps	174
APÊNDICE B - Ofício de solicitação de dados – WPLEX/Consórcio Fênix	192
APÊNDICE C - Cálculos de tempos de viagem – dados WPLEX.....	196
APÊNDICE D - Tempos médios de viagem por sentido – Linha 320 – abril/2019	222
APÊNDICE E - Telas Software R – Modelo de Regressão Linear Simples MAEC-TP.....	226

1 INTRODUÇÃO

O transporte público urbano realizado por ônibus (TPUO) é peça fundamental nos sistemas de mobilidade urbana para os deslocamentos de pessoas na realização de suas atividades de trabalho, lazer, estudo, acesso a equipamentos urbanos e outras. Seu desempenho operacional e oferta, portanto, devem ser satisfatórios para atender a demanda de maneira satisfatória.

Entretanto, planejar e operar o transporte público é tarefa multidisciplinar, envolvendo políticas públicas, economia, planejamento urbano, engenharia e fatores sociais, tornando-se um problema constituído de grande número de variáveis para alcançar a excelência na prestação de seus serviços.

No Brasil, problemas no setor são identificados e abordados há anos. Em 2004, já se apontava para a crise do transporte coletivo urbano, a qual passava por aspectos como rede e infraestrutura, identificando perdas de passageiros transportados no sistema, ocasionando elevações de tarifas e mais perdas de demanda, consistindo em um círculo vicioso (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2004).

Historicamente, nota-se que duas variáveis específicas interferem diretamente no transporte público urbano, citadas por Vasconcellos e Mendonça (2010) como a urbanização e a indústria automotiva. De maneira sucinta, a primeira, acompanhada do crescimento populacional e das dimensões das cidades, provoca a realocação de pessoas em novos ambientes urbanos, gerando maior demanda por transporte, e a segunda é relativa ao aumento do número de automóveis particulares, concorrente direto do transporte público.

Segundo Vasconcellos e Mendonça (2010), a partir da década de 1990, no Brasil, o transporte individual foi intensamente incentivado pelo governo federal como importante setor econômico no país, o que, segundo os autores, trouxe sérias consequências à mobilidade urbana brasileira, como aumentos nos congestionamentos, poluição e número de acidentes.

A partir deste contexto, apresenta-se esta pesquisa que busca desenvolver uma metodologia para estudar a relação entre os congestionamentos e o transporte

público urbano por ônibus, investigando e quantificando os efeitos do primeiro sobre o segundo.

1.1 JUSTIFICATIVA

O tema Transporte Público Urbano configura-se como terreno fértil, propício à realização de estudos diversos na busca pelo seu desenvolvimento contínuo. Ao se investigar sobre a área e observar cotidianamente cidades como Florianópolis e Joinville, no Estado de Santa Catarina, pôde-se verificar a recorrente presença de ônibus do TPUO imersos em frequentes congestionamentos, com sua mobilidade visualmente reduzida e, conseqüentemente, a qualidade na prestação de seus serviços negativamente afetada.

Entendendo-se um sistema de TPUO como parte de um sistema de mobilidade, nota-se a influência da sua qualidade sobre o cotidiano dos usuários. Segundo o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - IPEA (2011), sistemas de mobilidade ineficientes tendem a piorar os cenários de desigualdades sócio espaciais, pressionando as condições de equilíbrio ambiental nas áreas urbanas.

Além disso, o intenso crescimento das regiões metropolitanas brasileiras, as quais passaram a apresentar sistemas de mobilidade de qualidade reduzida, levam a impactos negativos na vida das pessoas e nos custos para a sociedade (IPEA, 2011).

Segundo dados da Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos – NTU, apresentados no Anuário 2016-2017 (NTU, 2017a), o período entre 2014 e 2016 apresentou uma queda acumulada de 18% no número de passageiros transportados pelo transporte público urbano. O estudo também aponta para a redução em 40% da velocidade comercial dos ônibus entre 1999 e 2015 e cita que em 22 anos de acompanhamento da quantidade de passageiros transportados diariamente, por veículo, tendo como referência o mês de outubro, demonstra-se uma redução total de 46,3% neste indicador.

Cabe citar que os dados do Anuário NTU citado são referentes às análises realizadas nas capitais: Belo Horizonte (MG), Curitiba (PR), Fortaleza (CE), Goiânia (GO), Porto Alegre (RS), Recife (PE), Rio de Janeiro (RJ), Salvador (BA) e São Paulo (SP), como parte da metodologia empregada pelo estudo, ressaltando que essas

capitais representavam à época 37% da demanda transportada e 34% da frota total de ônibus no Brasil.

Deve-se destacar que essas reduções apresentadas são influenciadas diretamente pela produtividade do sistema de transporte público por ônibus, e conforme NTU (2017a), isso se dá de maneira acentuada pela variação de um fator preponderante: a velocidade operacional.

“Devido aos congestionamentos cada vez mais intensos nos centros urbanos de grande e médio porte, a velocidade dos veículos diminuiu 50% nos últimos 20 anos” (NTU, 2017a, p.42), provocando a necessidade de aquisição e introdução de novos ônibus, para aumentar a frota e atender o mesmo número de viagens, o que como cita Vieira (1999) eleva o custo do sistema podendo torná-lo inviável economicamente.

Esse cenário, portanto, motiva essa pesquisa, como forma de desenvolver uma metodologia que contribua para entender e avaliar os efeitos dos congestionamentos sobre o transporte público urbano realizado por ônibus e cujos objetivos são expostos a seguir.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O presente estudo propõe o desenvolvimento de um método para avaliação dos efeitos dos congestionamentos no transporte público de passageiros por ônibus em áreas urbanas.

1.2.2 Objetivos Específicos

A fim de alcançar o objetivo geral, foram definidas seguintes metas:

- a) Apresentar conceitos e aspectos gerais relacionados ao transporte público de passageiros por ônibus;
- b) Apresentar conceitos e aspectos gerais relacionados aos congestionamentos em vias urbanas;
- c) Realizar e expor uma revisão da literatura, identificando estudos relacionados ao tema dessa pesquisa, de forma a contribuir com o desenvolvimento do método proposto;

- d) Desenvolver uma metodologia para obtenção de índices de congestionamento para quantificação dos efeitos dos congestionamentos sobre o TPUO;
- e) Demonstrar a aplicabilidade do método em estudo de aplicação prática para uma linha urbana de transporte público por ônibus.

1.3 METODOLOGIA

O presente estudo pode ser classificado de acordo com sua natureza, abordagem, objetivos e procedimentos técnicos. Do ponto de vista de sua natureza, essa pesquisa pode ser classificada, de acordo com Silva e Menezes (2005), como aplicada, buscando gerar conhecimentos para aplicação prática e resolução de problemas específicos. A abordagem da pesquisa é definida como quantitativa, visto que se utiliza de técnicas estatísticas e considera o que pode ser quantificável, traduzindo opiniões e informações em números para análises (SILVA; MENEZES, 2005).

Em relação aos objetivos, esse trabalho possui caráter majoritariamente exploratório, mas também descritivo. No primeiro caso, conforme Gil (2002), a pesquisa almeja possibilitar maior familiaridade com o problema, tornando-o explícito ou formulando hipóteses, utilizando-se, em grande parte dos casos, de pesquisa bibliográfica e estudos de caso. Ainda segundo o autor, para pesquisas descritivas, procura-se descrever as características de determinado fenômeno, ou mesmo o estabelecimento de relação entre variáveis. Entretanto, Gil (2002) afirma que algumas pesquisas, apesar de classificadas como descritivas, se aproximam das pesquisas exploratórias quando servem para proporcionar uma nova visão do problema em questão.

Por fim, os procedimentos metodológicos são conceituados por Gil (2002), e nessa pesquisa definidos como pesquisa bibliográfica e estudo de caso. Segundo o autor, as pesquisas bibliográficas referem-se a material elaborado, produto de livros, artigos, dissertações e teses, por exemplo. Já o estudo de caso, é definido como modalidade de pesquisa a qual consiste no profundo e exaustivo estudo de determinados objetos, buscando, por exemplo:

a) explorar situações da vida real cujos limites não estão claramente definidos;

[...]

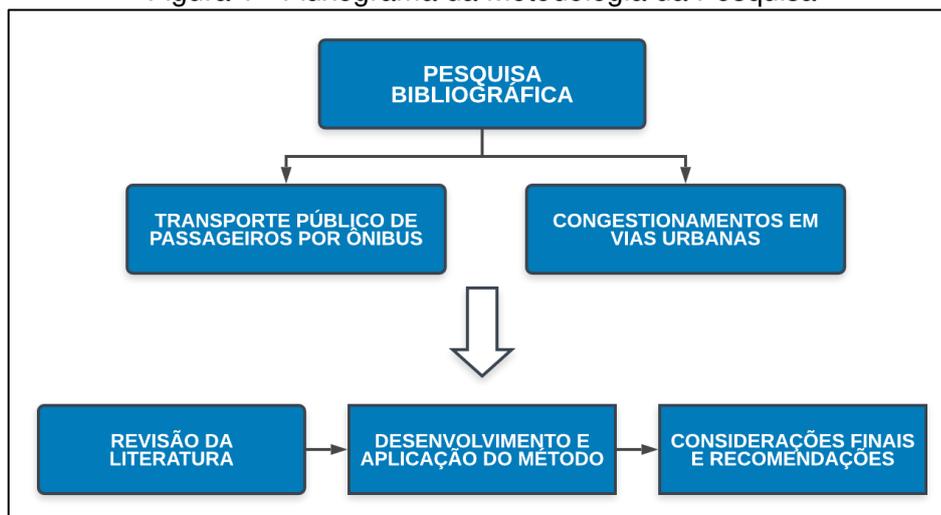
d) formular hipóteses ou desenvolver teorias; e

e) explicar as variáveis causais de determinado fenômeno em situações muito complexas que não possibilitam a utilização de levantamento e experimentos (GIL, 2002, p. 54).

A partir dos conceitos descritos, pode-se descrever, detalhadamente, as etapas do estudo em ordem, e na Figura 1, observa-se a ordem em forma de fluxograma:

- a) Pesquisa Bibliográfica: realizada em livros, artigos, dissertações e teses, em meio físico ou via *internet*, além da busca por informações providas por órgãos, associações e empresas relacionadas ao transporte público de passageiros por ônibus, tendo como objetivo adquirir visão mais abrangente sobre o assunto, além de contextualizar o problema apresentado, conceituando o TPUO e congestionamentos em vias urbanas;
- b) Revisão da Literatura: realizada de maneira sistemática, com o objetivo de identificar estudos relacionados ao tema abordado, ou seja, identificar de que maneira o problema (congestionamentos em vias urbanas x TPUO) foi estudado nos últimos anos;
- c) Desenvolvimento do Método Proposto: realizada a partir das etapas anteriores, após obtido conhecimento, ferramentas e dados suficientes para seu desenvolvimento;
- d) Demonstração da aplicabilidade do Método: etapa que consiste na delimitação de uma área de estudo para aplicação do método proposto, obtendo resultados e conclusões sobre a metodologia desenvolvida;
- e) Considerações finais e Recomendações: etapa final da pesquisa, detalhando o cumprimento dos objetivos, apresentando análise crítica do estudo e realizando recomendações para trabalhos futuros.

Figura 1 - Fluxograma da Metodologia da Pesquisa



Fonte: Elaboração própria.

1.4 LIMITAÇÕES DE ESCOPO

Conforme os objetivos já enunciados, essa pesquisa busca a elaboração de um método para avaliar a interação entre os congestionamentos e o transporte público urbano por ônibus. Entretanto, julgou-se necessário delimitar de maneira mais clara os objetos de estudo.

O sistema de transporte alvo dessa pesquisa concentra-se no transporte público urbano por ônibus, sendo aquele realizado em áreas urbanas, ou seja, viagens realizadas dentro do município por linhas cujos itinerários possuam pontos de início e de término, realizando um ciclo bem definido, excluindo-se do escopo desse trabalho, portanto, sistemas sobre trilhos, táxis, bicicletas compartilhadas, teleféricos ou aquaviários de qualquer tipo.

1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Além do Capítulo 1 apresentado, essa dissertação é constituída de mais 5 capítulos, divididos da seguinte maneira:

Capítulo 2 – Referencial Teórico: identifica, por meio de uma revisão bibliográfica narrativa, os principais conceitos relativos ao Transporte Público Urbano de Passageiros por Ônibus (TPUO) e aos congestionamentos em vias urbanas.

Capítulo 3 – Revisão Sistemática da Literatura: apresenta-se, a partir de um levantamento sistemático, uma pesquisa bibliográfica na busca por estudos que

tragam abordagens a respeito dos problemas relacionados ao tema, e que podem servir de base para o desenvolvimento do método proposto.

Capítulo 4 – O Método Desenvolvido: apresenta-se o método, com suas características, objetivos e desenvolvimento.

Capítulo 5 – Demonstração da Aplicabilidade do Método: trata dos aspectos gerais da região definida para aplicação, apresenta os procedimentos realizados e resultados.

Capítulo 6 – Considerações Finais e Recomendações: são realizados comentários acerca dos resultados da pesquisa, contemplando a aplicação do método, limitações encontradas, cumprimento dos objetivos e, por fim, recomendações para prosseguimento e aperfeiçoamento da pesquisa em trabalhos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 TRANSPORTE PÚBLICO DE PASSAGEIROS POR ÔNIBUS

O transporte público de passageiros por ônibus enquadra-se na categoria dos veículos públicos, coletivos ou de massa, definidos por Ferraz e Torres (2004) como modalidade em que os veículos geralmente pertencem a uma determinada empresa, os quais circulam em rotas predefinidas e horários fixos.

A Política Nacional de Mobilidade Urbana, regida pela Lei Federal nº 12.587, Brasil (2012), em seu artigo 4º define o transporte público coletivo: “serviço público acessível a toda população mediante pagamento individualizado, com itinerários e preços fixados pelo poder público”.

Para Silveira (2012), o transporte coletivo é parte essencial de uma cidade, permitindo o deslocamento de mais pessoas, por um menor número de veículos. Para entender sua operação, alguns conceitos e definições serão apresentados, visto que serão recorrentemente citados ao longo desse trabalho.

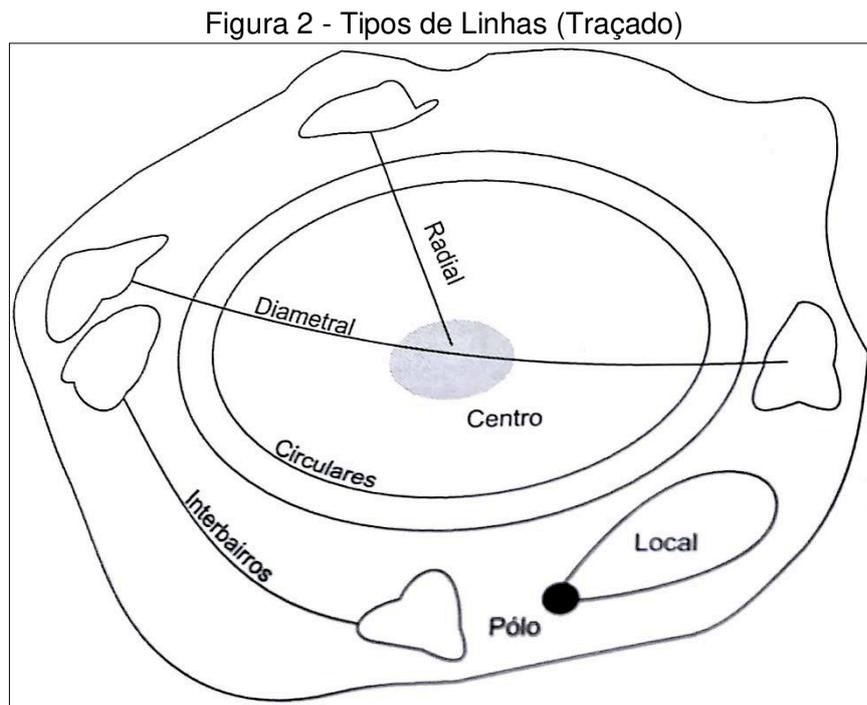
2.1.1 Linhas, Redes e Roteirização.

Linhas de Transporte Urbano são definidas pelas vias por meio das quais os veículos se locomovem, ou seja, por onde se definem suas rotas e, no caso dos ônibus urbanos, trata-se das ruas e avenidas pertencentes à sua cidade ou região metropolitana de operação. Para Ferraz e Torres (2004), as linhas podem ser divididas de acordo com o traçado e de acordo com a função. Conforme o traçado, os autores definem:

- Linha Radial: liga o centro à outras regiões da cidade;
- Linha Diametral: conecta duas regiões passando pelo centro;
- Linha Circular: liga várias regiões da cidade, formando um círculo;
- Linha Interbairros: conexão entre duas ou mais regiões, sem passagem pelo centro, realizando viagens diretas a um ou mais polos de atração importantes;

- Linha Local: seu percurso se encontra dentro de uma determinada região com um ou mais bairros, objetivando, também, atender viagens diretas.

A Figura 2 apresenta um esquema dos diversos tipos de linha conforme seu traçado.



Fonte: Ferraz e Torres (2004).

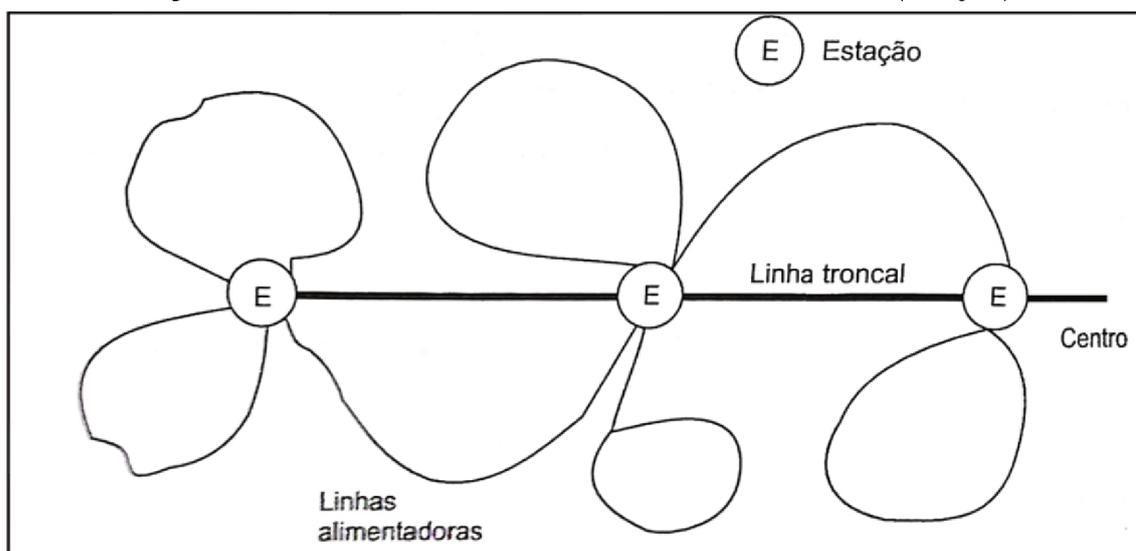
Em relação a sua função, Ferraz e Torres (2004) definem as linhas desta forma:

- Linha Convencional: executa simultaneamente as funções de captação de usuários na origem, transporte até o destino e distribuição na região de destino.
- Linha Troncal: realiza o transporte de uma região à outra em um corredor que apresenta grande concentração de demanda.
- Linha Alimentadora: executa a captação e distribuição da demanda, recolhendo usuários em uma região e deixando-os em um terminal (estação) de Linha Troncal e vice-versa.
- Linha Expressa: apresenta poucas ou mesmo nenhuma parada em sua operação, também sendo conhecida como semi-expressa no caso de linha com poucas paradas;

- Linha Especial: opera apenas em determinados horários ou em eventos especiais.
- Linha Seletiva: complementa o serviço convencional, com preço maior e melhor qualidade

A Figura 3 demonstra um sistema com linhas troncais e alimentadoras, além de indicar as estações.

Figura 3 - Sistema com Linhas Troncais e Alimentadoras (Função)



Fonte: Ferraz e Torres (2004).

Ferraz e Torres (2004) também definem o termo Redes de Transporte Público, sendo essas, conjuntos formados pelas diversas linhas já definidas. Segundo os autores, as redes podem ser três: Radial, em Grelha (Grade ou Malha) ou Radial com Linhas Tronco-Alimentadoras.

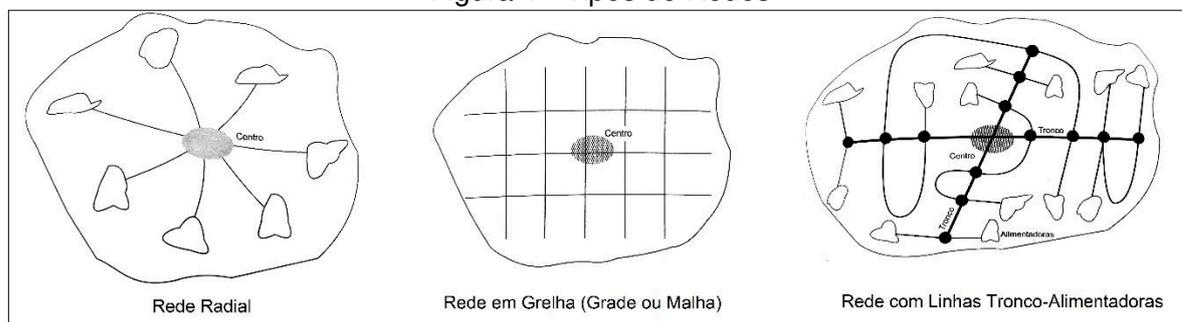
No primeiro caso, as regiões não centrais são ligadas diretamente ao centro por uma ou mais linhas radiais e diametrais. No segundo caso, dois conjuntos de linhas paralelas são dispostas de maneira perpendicular a outro conjunto, formando uma grade e as viagens, em sua maioria, são realizadas por meio de duas linhas com transbordo intermediário.

Por fim, a rede Radial com Linhas Tronco-Alimentadoras, como seu próprio nome aponta, é formada por Linhas Tronco ao longo dos corredores de alta demanda, as quais são conectadas em diversos terminais posicionados ao longo da rota com

linhas alimentadoras. Para melhor compreensão, a Figura 4 demonstra os três tipos de rede.

O projeto das linhas e redes tem como variável principal o seu traçado, e esses devem permitir o acesso do sistema por todos os habitantes da região, destacando que desvios no itinerário aumentam as distâncias prejudicando a eficiência do sistema (FERRAZ; TORRES, 2004). Verifica-se, portanto, o importante papel do projeto de linhas e redes de TPUO na operação eficaz dos sistemas.

Figura 4 - Tipos de Redes



Fonte: Adaptado de Ferraz e Torres (2004).

O termo roteirização é demonstrado por Vieira (1999, p.12) como o mais adequado para definir o ato de “preparar o itinerário”, ou “preparar a descrição pormenorizada de uma viagem”.

Segundo Vieira (1999), o processo de determinação de novas linhas, ou até mesmo a reestruturação total de uma determinada rede de transporte coletivo envolve grande número de variáveis, tornando-se um problema complexo.

Esse processo também pode ser influenciado pelos congestionamentos de acordo com o processo de planejamento de um sistema de transporte coletivo por ônibus elaborado por Ceder e Wilson (1986). Em seu método, os autores relacionam variáveis de entrada e saída para cada atividade de planejamento, como pode ser observado no Quadro 1.

Pode-se observar, no Nível A, a relação entre o projeto da rede e dados de demanda, oferta e performance da rota, resultando em mudanças ou novas rotas, além de estratégias operacionais. Nota-se, também, que os níveis B, C, e D também remetem suas variáveis ao problema dos congestionamentos, como Tempo de

Retorno, Tempos de Viagem e Frequências de Atendimento, as quais serão definidas posteriormente.

Quadro 1 - Níveis de Planejamento - TPUO

Entradas Independentes	Atividade de Planejamento	Saídas
	<u>Nível A</u>	
Dados de demanda	Projeto da Rede	Mudança de rotas
Dados de oferta		Novas rotas
Índices de performance da rota		Estratégias operacionais
	<u>Nível B</u>	
Subsídio disponível	Determinando as frequências	Frequências de serviço ofertadas
Frota disponível		
Políticas de atendimento		
Operação atual		
	<u>Nível C</u>	
Demanda por hora do dia	Desenvolvimento da tabela de horários de viagens	Horários de partida e chegada das viagens
Hora da primeira e última viagem do dia		
Tempos de viagem		
	<u>Nível D</u>	
Tempo ocioso/espera	Programação de despacho (<i>scheduling</i>) dos ônibus (alocação da frota)	Programação de despacho dos ônibus
Tempo de retorno		
Restrições ao despacho		
Estrutura de custo		
	<u>Nível E</u>	
Regras de trabalho dos condutores e cobradores	Alocação da mão-de-obra	Horários de trabalho do pessoal
Estrutura e custo operacional		

Fonte: Adaptado de Ceder e Wilson (1986).

2.1.2 Pontos de Parada

Pontos de parada, em um sistema de TPUO, são definidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (2011) como a área localizada, ao longo do percurso do veículo, que permite o embarque e/ou desembarque de passageiros.

Segundo Ferraz e Torres (2004), a maneira convencional de operação nos pontos de parada se dá pelo estacionamento dos ônibus, um de cada vez, no local indicado para captação e descida de usuários ao longo da rota. Porém, os autores destacam a situação marcada pelo elevado fluxo de veículos de TPUO em uma via, o que pode acarretar congestionamentos devido à limitada capacidade de atendimento,

tornando a operação e a disposição dos pontos de parada peça fundamental no planejamento de um sistema de TPUO.

Ademais, a disposição de pontos de parada em relação à guia interfere na fluidez do trânsito, no estacionamento dos veículos do TPUO, no conforto dos pedestres e usuários e no retorno dos ônibus ao fluxo de tráfego (FERRAZ; TORRES, 2004).

A Figura 5 retrata uma situação onde, em pista simples, os veículos individuais, ou mesmo outros ônibus, são obrigados a esperar que parada, embarque, desembarque e saída sejam realizadas para poder prosseguir na rota, não havendo área adjacente para parada dos ônibus.

Figura 5 - Parada de ônibus em pista simples



Fonte: Bittencourt (2015).

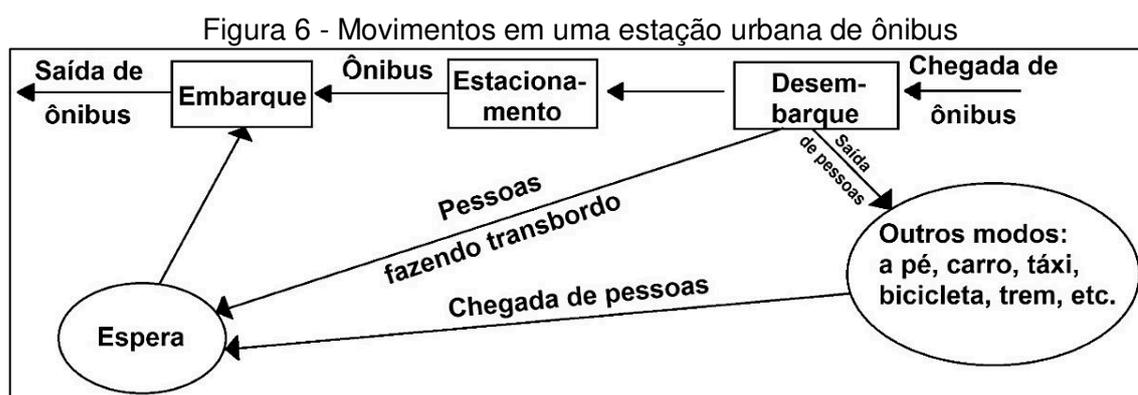
2.1.3 Estações (Terminais) de ônibus

As estações ou terminais urbanos são as peças de integração entre as diversas linhas de um sistema de TPUO. Segundo a Associação Nacional dos Transportes Públicos – ANTP (1997), esses locais permitem a transferência entre linhas em locais cobertos e com infraestrutura adequada.

Ferraz e Torres (2004) definem as estações como componentes importantes dos sistemas de TPUO, à medida que representam pontos de contato com áreas vizinhas e outros modos de transporte, sendo seu projeto fundamental para proporcionar segurança, conforto e comodidade em sua utilização pelos usuários. Segundo os autores, as estações devem facilitar a operação dos coletivos, garantindo segurança, confiabilidade e pontualidade nas manobras executadas em seu interior, nas entradas e saídas do local.

Nas cidades pequenas e médias, observa-se, geralmente, a presença de uma estação no centro, pela qual passam todas as linhas com o objetivo de realizar a integração do sistema (FERRAZ; TORRES, 2004) e, segundo os autores, em cidades grandes, é habitual encontrar-se mais de uma estação na região central, e estações fora dela, de forma a realizar integrações físicas e tarifárias de linhas troncais com linhas alimentadoras.

A Figura 6 apresenta um esquema de movimentos e atividades que, usualmente, ocorrem em uma estação urbana de ônibus, com destaque para a possibilidade de existência de estacionamentos de ônibus quando as operações de embarque e desembarque ocorrem em locais distintos e para o acondicionamento de frotas reservas (FERRAZ; TORRES, 2004).



Fonte: Adaptado de Ferraz e Torres (2004).

Por fim, para ANTP (1997), assim como os pontos de parada, a localização dos terminais ou estações, além de sua infraestrutura, são fundamentais na operação satisfatória de um sistema de transporte público urbano por ônibus.

2.1.4 Demanda em Sistemas de TPUO

Em sistemas de TPUO, a demanda trata do número de usuários que utilizam ou utilizarão o transporte público em determinada cidade. Segundo Ferraz e Torres (2004) a demanda varia em função do tempo, sendo o conhecimento dessa variável fundamental para o dimensionamento da oferta, proporcionando eficiência econômica e qualidade do serviço.

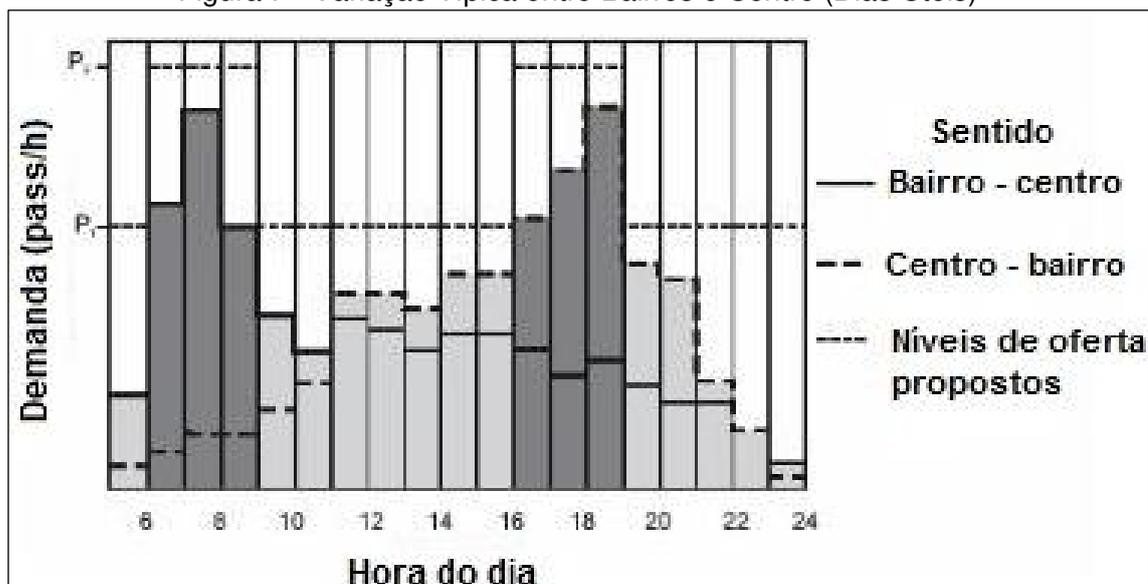
Essa importância é ratificada por Hoel, Garber e Sadek (2011, p. 149) ao relacionar as características da demanda de passageiros com a capacidade do transporte público: “a distribuição espacial e temporal da demanda de passageiros impacta diretamente no número de passageiros que podem ser transportados”.

A variação típica a qual Hoel, Garber e Sadek (2011 se referem pode ser observada na Figura 7, destacando picos matinais e ao fim da tarde, o primeiro no sentido bairro-centro, e o segundo no sentido centro-bairro, gráfico válido para dias úteis.

Para o planejamento de sistemas de TPUO, precisa-se conhecer a variação anual, de modo a prever a demanda futura e ajustar a oferta e infraestrutura necessárias, e a variação semanal e diária permite programações de frota em cada dia da semana ou mês (FERRAZ; TORRES, 2004). Os autores também indicam a necessidade de identificação das variações horárias ao longo de um dia, além da variação espacial.

Nota-se que o conhecimento de todos esses tipos de demanda é indispensável na programação e dimensionamento das frotas, relacionando-se, ainda, com a variação do fluxo de tráfego e possíveis congestionamentos ao longo dos dias, meses e anos, o que remete ao objeto de estudo dessa pesquisa.

Figura 7 - Variação Típica entre Bairros e Centro (Dias Úteis)



Fonte: Ferraz e Torres (2004).

2.2 CARACTERÍSTICAS DO TPUO

Segundo Ferraz e Torres (2004), o transporte coletivo não é de porta a porta, visto serem necessárias, geralmente, caminhadas para completarem-se as viagens, destacando, ainda, a grande capacidade dos veículos, compartilhados por grande número de passageiros.

De acordo com Quadros Junior (2011), o uso do TPUO se faz necessário, principalmente, a partir do aumento das distâncias de percurso, o que o autor relata ser causado pela imposição das cidades por meio de sua tendência de expansão.

Para Quadros Junior (2011, p.18) “o transporte coletivo de passageiros assume caráter essencial à humanização do território, pois exige menor capacidade de via se comparado a outros modos motorizados, degradando menos o ambiente e gastando menos energia por passageiros transportado”.

O objetivo principal do TPUO é o atendimento das necessidades de deslocamento da população, entre as distintas regiões da cidade, por meio de um serviço eficiente, pelo menor custo (SILVA e FERRAZ, 1991 *apud* Pilon, 2009). Os autores complementam que a importância do transporte público urbano se relaciona diretamente com o nível de desenvolvimento econômico e social e à mobilidade nas cidades.

No que se refere às vantagens e desvantagens do TPUO, Ferraz e Torres (2004) destacam de maneira negativa, principalmente, a falta de flexibilidade nos percursos, os tempos de viagem maiores causados pela menor velocidade operacional, maiores percursos e distâncias de caminhada.

Entretanto, Ferraz e Torres (2004) apontavam o transporte público como modo que apresentava segurança e comodidade ao menor custo, além de contribuir para a democratização da mobilidade, ser uma alternativa ao automóvel e proporcionar uma ocupação otimizada do uso do solo, encontrando atualmente, porém, concorrentes como os aplicativos de viagem (Uber, por exemplo) e os veículos compartilhados.

Napierala (2010) salienta a importância do transporte coletivo do ponto de vista social voltado para a dependência de grande parte da população em relação ao transporte público, e do ponto de vista econômico aumentando a oferta direta e indireta de empregos e trocas comerciais e reduzindo congestionamentos. O autor também aponta para a importância ambiental devido a menor emissão de poluentes em comparação à frota de automóveis equivalentes e para a importância urbanística na reorganização mais eficiente das cidades.

Por fim, Paiva (2015) afirma que os serviços de transporte urbano de massas, nos quais se inclui intensamente o TPUO, afetam diretamente a qualidade de vida de uma região, visto que definem as alternativas de deslocamento que os cidadãos possuem, as atividades das quais podem participar, e os locais aonde podem ir, e cita que os transportes urbanos constituem importância vital na medida em que os centros urbanos se expandem, proporcionando benefícios em todos os segmentos da sociedade.

2.3 HISTÓRICO DO TPUO

A fim de demonstrar a evolução dos sistemas de TPUO, faz-se relevante apresentar um breve histórico a respeito de seu surgimento e evolução, em nível internacional e nacional.

2.3.1 O surgimento do TPUO

A história do transporte público urbano inicia-se no século XVII, com o surgimento das carruagens de aluguel puxadas por animais em Londres (1600) e

Paris (1612), tendo sido organizado somente em 1662 o primeiro serviço regular de transporte público (FERRAZ; TORRES, 2004). Segundo os autores, esse primeiro serviço, idealizado pelo matemático francês Blaise Pascal possuía itinerários fixos e horários predeterminados.

Ferraz e Torres (2004) citam que anos mais tarde, em 1826, em Nantes, França, uma carruagem, com comprimento e capacidade maiores do que as de suas antecessoras, foi implantada e batizada de *omnibus* (do latim “para todos”). Os autores apontam que este tipo de carruagem já havia sido utilizado por volta de 1798 em Londres, mas a designação *omnibus* só fora adquirida na França.

Conforme Ferraz e Torres (2004) essa época ficou marcada pelo surgimento do *omnibus* com capacidade entre 10 e 20 passageiros, cujo uso foi difundido para cidades como Bordeaux, Nova Iorque, Londres e Paris, operando com rotas predefinidas e, de acordo com Galhardi, Pacini e Neves (2007, p.25), “1826 passou a ser considerado o ano inicial do transporte público moderno, o qual nunca mais sofreria interrupções”.

Muitas mudanças impulsionadas pelas inovações tecnológicas introduzidas no século XIX afetariam o transporte coletivo, este que segundo Galhardi, Pacini e Neves (2007, p.28) “ia se estabelecendo como parte inseparável das cidades modernas, e muitas questões inerentes a essa atividade já eram enfrentadas tanto pelos empreendedores, quanto pelos usuários”.

De acordo com Ferraz e Torres (2004), o ônibus (designação para *omnibus* a tração mecânica), de maneira mais parecida com a qual se conhece atualmente, surgiu no final do século XIX, motivado por diversas tentativas de trocar a tração animal por propulsão mecânica e aumentar a competitividade com o bonde a tração animal.

Segundo Ferraz e Torres (2004), o bonde a tração animal havia surgido em 1832 e apresentava vantagens sobre o *omnibus*, como movimento mais suave por trilhos e maior velocidade média, além de sua modernização a partir do bonde movido a cabo (1873 – São Francisco, EUA), e posteriormente o bonde elétrico (1888 – Richmond, EUA).

De acordo com Galhardi, Pacini e Neves (2007), o primeiro ônibus a gasolina do mundo entrou em serviço em 1895, idealizado por Karl Benz, e segundo Ferraz e Torres (2004), após surgirem na Alemanha, também foram implantados na França e Inglaterra, chegando nos Estados Unidos em 1905.

A partir de 1920, os primeiros ônibus movidos a diesel foram introduzidos na Alemanha, e depois na Inglaterra, período também marcado pela modernização das rodas dos ônibus (FERRAZ; TORRES, 2004). Os autores citam que, a partir deste ponto, o ônibus passou a substituir o bonde no transporte urbano, visto as suas vantagens sobre o outro modo como custo, flexibilidade de rotas, e maior confiabilidade.

Para Vuchic (2007) a história do desenvolvimento dos transportes apresenta uma significativa evolução da tecnologia empregada desde os anos 1800, citando que este desenvolvimento vem impactando continuamente a civilização moderna, sendo os sistemas modernos de transporte fundamentais na urbanização de muitos países.

Segundo Ferraz e Torres (2004), inovações tecnológicas foram incorporadas continuamente aos ônibus, com veículos modernos e que representavam cerca de 90% de todo o transporte público urbano realizado no mundo em 2004. Uma maneira de representar tal evolução pode ser vista na Figura 8, que demonstra diferentes estágios de tecnologias aplicadas aos ônibus desde seu surgimento.

Figura 8 - Evolução dos ônibus (1826 - atualmente)



Fonte: Elaboração própria¹.

Em complemento ao dado anterior, apresenta-se no Gráfico 1 a demanda por modos de transporte público urbano nas 30 capitais da Comissão Econômica das Nações Unidas para a Europa – UNECE (2015), notando-se a grande participação de ônibus convencionais e elétricos (Trólebus) nas viagens realizadas em comparação ao Bonde, Metrô, Trens Urbanos e Veículos Leves sobre Trilhos.

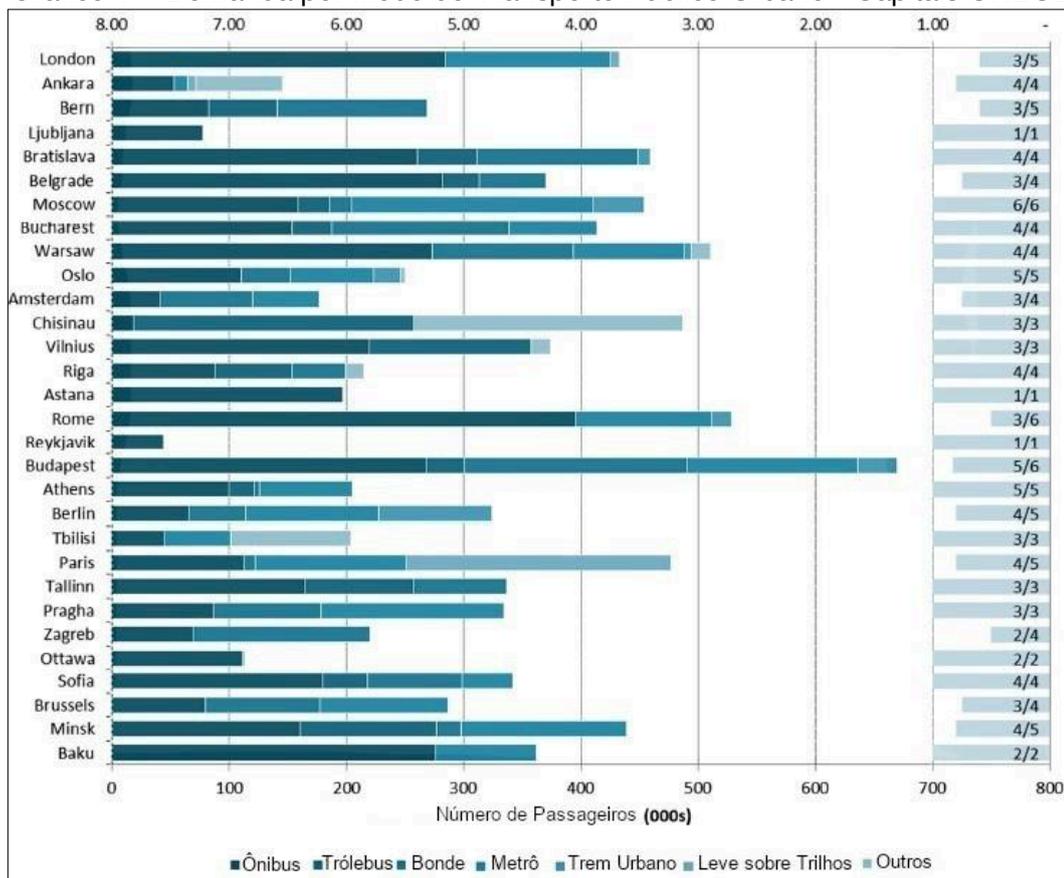
De acordo com o estudo da UNECE, no que tange os transportes públicos urbanos, o ônibus representa 50% do total de viagens realizadas, e sua popularidade está relacionada à sua oferta em todas as capitais da UNECE, além de contar com a maior rede dentro todos os outros modos.

Entretanto, a história do transporte público urbano passa pelo enfrentamento de diversos problemas, que passam principalmente pelo aumento dos congestionamentos a nível mundial, acidentes e aumento da poluição (UNECE, 2015), problemas que segundo World Bank (2015) tem relação direta com a expansão urbana e com o aumento da propriedade do veículo privado nas cidades em desenvolvimento, levando a redes rodoviárias incapazes de receber novas demandas de tráfego.

¹ Imagens retiradas de “Conduzindo o Progresso – A História do Transporte e os 20 anos da NTU”; <https://www.favcars.com/scania-vabis-cf65-1959-63-imagens-382830.htm>; <http://floripa-onibus.blogspot.com/2016/12/canasvieiras-final-17.html>; e https://blogpontodeonibus.files.wordpress.com/2013/04/920096_399314550175992_1544269988_o.jpg.

World Bank (2015) cita como exemplo a China e a Índia, países nos quais espera-se que mais de 500 milhões de pessoas migrem para as áreas urbanas até 2020, e aponta que as taxas de propriedade do veículo particular em algumas cidades chinesas e indianas vem aumentando mais rápido que a população e a renda.

Gráfico 1 - Demanda por Modo de Transporte Público Urbano - Capitais UNECE



Fonte: Adaptado de UNECE (2015).

Portanto, fica perceptível que o transporte público urbano por ônibus, surgido há menos de 200 anos, tem importância global no transporte de passageiros, sendo um campo de estudo com muito a explorar, em busca de seu desenvolvimento contínuo.

2.3.2 O TPUO no Brasil

Antes de 1908, conforme Galhardi, Pacini e Neves (2007), o transporte público urbano no Brasil era realizado, em sua maioria, por bondes tanto a vapor, quanto elétricos ou a tração animal, em consonância com as tendências mundiais da época. O primeiro ônibus somente seria operado em 1908 no Rio de Janeiro, com a implantação do primeiro serviço de auto-ônibus da América do Sul.

Posteriormente, com a chegada das novas tecnologias, os ônibus foram evoluindo, tendo os anos 1930 sido marcados pela chegada do ônibus a diesel, que viriam a progressivamente substituir os bondes no transporte público urbano (NTU, 2017b), e se tornariam parte das cidades e da vida da população brasileira.

Em 2014, segundo dados da ANTP (2016), a frota total de ônibus municipais era de 83,7 mil veículos, representando pouco mais de 72% de toda a frota nacional para transporte público de passageiros, incluindo ônibus metropolitanos e veículos sobre trilhos. Segundo o IPEA (2011), o transporte público por ônibus urbanos e metropolitanos opera em cerca de 85% dos municípios do Brasil.

Assim como já descrito no histórico internacional, o TPUO no Brasil também enfrenta severos problemas relacionados a infraestrutura das cidades, como a expansão urbana e os congestionamentos, por exemplo.

Segundo Galhardi, Pacini e Neves (2007), investimentos em sistemas de mobilidade, que incluem o TPUO, não foram feitos, gerando, atualmente, dificuldades que são enfrentadas pela população que perde horas preciosas de trabalho ou lazer, por muitas vezes em ônibus presos em intermináveis engarrafamentos.

Dessa forma, nota-se a necessidade de olhares para o presente e futuro do TPUO, e o estudo do IPEA (2011) discute cenários para a mobilidade urbana nas metrópoles nos padrões atuais de mobilidade.

Segundo as projeções de IPEA (2011), em 2025, as metrópoles nacionais contarão com cerca de 156 milhões de viagens por dia, e caso as condições de vida da população melhorem, por meio, principalmente de um maior desenvolvimento socioeconômico, este número pode chegar a 220 milhões de viagens/dia, o que representam incrementos de 29 milhões de viagens/dia no primeiro cenário e 93 milhões no segundo.

Diante desses dados, destaca-se a necessidade de prever de que maneira essas viagens futuras serão realizadas e como se comportarão alguns indicadores de demanda que são utilizados para medir a eficiência do sistema de transporte público.

O número de passageiros equivalentes, relaciona a quantidade de passageiros transportados com as tarifas aplicadas pela empresa (CARVALHO JUNIOR *et. al*,

2010). Por exemplo, estudantes que pagam meia tarifa são contabilizados como meio passageiro equivalente, e idosos, quando isentos, são desconsiderados do cálculo.

Ainda nesse tipo de indicador, o IPKe representa o índice de passageiros equivalentes por quilômetro, que é dado pela divisão do total de passageiros equivalentes pela quilometragem total percorrida.

Dados da NTU (2017a), presentes na Tabela 1 e Tabela 2, demonstram que os indicadores de demanda para o transporte público por ônibus nas regiões metropolitanas analisadas e já citadas, vem decrescendo desde 1994, com todos os indicadores apresentando um acúmulo negativo.

Tabela 1 - Evolução de passageiros equivalentes transportados – TPUO

Indicadores	1994-2012*	2013-2016*	2013-2014	2014-2015	2015-2016
Passageiros equivalentes transportados	-24,4%	-18,1%	-2,0%	-9,0%	-8,2%

Fonte: NTU (2017a).

Tabela 2 - Evolução - outros indicadores de demanda - TPUO

Indicadores	1994-2016**	2010-2011	2011-2012	2012-2013	2013-2014	2014-2015	2015-2016
Índice de passageiros equivalentes por quilômetro-IPKe	-37,6%	-2,4%	1,9%	3,0%	-1,2%	-3,6%	-6,2%
Passageiros transportados/ônibus/dia	-40,1%	0,6%	-2,1%	0,9%	-3,1%	-7,5%	-4,6%

Fonte: NTU (2017a).

Além desses dados, a oferta quando representada pelo tamanho da frota de ônibus urbanos, também tem dados negativos, com queda acentuada em 2016. Em abril/2016 houve uma redução de frota de 3,1%, e em outubro um decréscimo de 4,3% conforme NTU (2017a).

Ao se comparar os modos de transportes, ANTP (2016) aponta que as viagens realizadas em ônibus municipais, entre 2013 e 2014, registraram sua primeira queda no período entre 2003 e 2014 (-3,5%), indicando, ainda, no mesmo período, redução da participação na divisão modal. Enquanto o ônibus municipal apresentou decréscimo de 0,7%, o transporte individual (automóveis e motos) cresceu 0,3%.

Por fim, considerando a análise de IPEA (2011), tais tendências recentes de redução na participação do transporte público podem representar quedas significativas. Para o cenário de manutenção do Índice de Mobilidade atual (1,86) somado aos declínios apresentados nos últimos anos, em 2025, o transporte público perderia cerca de 10 milhões de viagens por dia, o que afetaria diretamente o TPUO.

2.4 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE EM SERVIÇOS DE TPUO

O TPUO é um serviço público, com características próprias, mas que se difere de outros serviços, por estar presente na vida dos cidadãos diariamente, influenciando de maneira direta em sua mobilidade (LIMA JUNIOR, 1994). Além disso, existem características únicas citadas pelo autor como as flutuações de demanda, a heterogeneidade das viagens e o não controle das situações do ambiente, como clima, congestionamentos, acidentes e outras.

Entretanto, como qualquer serviço público, deve ser oferecido com qualidade e, de acordo com Oliveira (2003, p.41), a prestação de serviços públicos de interesse coletivo deve ser regida por cinco princípios:

- a) generalidade (serviço igual para todos);
- b) eficiência (atualização permanente do serviço e segurança para o usuário);
- c) modicidade (o valor da tarifa não deve ser oneroso demais);
- d) cortesia (o usuário deve ser tratado com urbanidade); e
- e) continuidade (o serviço ser permanentemente oferecido ao usuário).

A qualidade do serviço de transporte público é percebida pelos usuários, mas não somente. Também são atores os empreendedores, governos e operadores, sendo necessário uma percepção equilibrada de todas as partes.

Para mensurar a qualidade na prestação de um sistema de TPUO, diversas variáveis são descritas pela literatura, mas não serão todas abordadas nessa pesquisa, pois se focará naquelas atreladas diretamente ao desempenho operacional que, claramente, afeta a todos os atores citados. Dessa forma alguns termos serão definidos para melhor compreensão da operação dos sistemas de TPUO.

2.4.1 Confiabilidade

De acordo com Ferraz e Torres (2004), a confiabilidade é um fator ligado ao grau de certeza que os usuários podem ter de que o veículo de transporte público passará pela origem e chegará ao destino no horário previsto, com pequenas tolerâncias.

Esse fator, portanto, inclui o cumprimento dos horários (pontualidade) e a efetividade do serviço (porcentagem de viagens programadas que são realizadas). Segundo os autores, diversos fatores podem afetar a confiabilidade em relação ao cumprimento de horários, citando, por exemplo, defeitos nos veículos, acidentes e congestionamentos de trânsito.

Para Ferraz e Torres (2004, p.104), “a avaliação da confiabilidade pode ser realizada pela porcentagem de viagens programadas não realizadas por inteiro ou concluídas com atraso superior a cinco minutos ou adiantamento maior que três minutos”.

2.4.2 Tempos de Viagem

Ferraz e Torres (2004) definem tempo de viagem como o tempo gasto no interior dos veículos, dependendo da velocidade média de transporte e da distância percorrida entre os locais de embarque e desembarque. Nota-se que esta definição representa uma visão mais geral, possivelmente mais próxima do ponto de vista do usuário, entretanto, algumas outras definições se apresentam com uma natureza mais técnica.

Rosa Filho (1986) define tempo de ciclo como termo que representa o tempo dispendido para a ida e volta de um ônibus em uma linha, caracterizando um ciclo, definição ratificada por Reis *et al.* (2013) como tempo de percurso total da linha.

Dentro no tempo de ciclo, algumas variáveis devem ser consideradas para sua estimação ou cálculo além do tempo em circulação dos ônibus, como o tempo de parada e o tempo de liberação.

O tempo de parada é definido por Hoel, Garber e Sadek (2011) como o período gasto durante as paradas de ônibus para atendimento de passageiros, seja embarque, desembarque ou ambos.

Para mensurar o tempo de parada de uma linha em operação, a melhor maneira se dá pela observação em campo, enquanto que para novas linhas, podem ser usados valores típicos baseados em práticas comuns, ou pelo uso de equações que levam em consideração os tempos de embarque, desembarque abertura e fechamento de portas (HOEL; GARBER; SADEK, 2011). Os autores ainda apontam que em qualquer das situações, os cálculos ou valores utilizados devem considerar sempre os horários de pico, ou seja, os de maior demanda.

O tempo de liberação, por sua vez, também definido por Hoel, Garber e Sadek (2011), é dividido em duas componentes, onde a primeira é dada pelo tempo dispendido para que um ônibus inicie o movimento e percorra um trecho igual ao seu comprimento, deixando o ponto de parada. Já a segunda, é descrita como o tempo necessário para que o ônibus volte para a faixa de tráfego, no caso de saída de baias de estacionamento nas paradas.

Segundo Hoel, Garber e Sadek (2011), estudos demonstraram que o tempo de liberação para pontos de parada localizados na própria faixa de tráfego possui um valor típico de 10 segundos, enquanto para situações com baias, depende, principalmente, do volume de tráfego na faixa adjacente da corrente de tráfego.

O tempo de ciclo e seus componentes influenciam na confiabilidade do sistema pelos usuários, pois como aponta Lindau *et al.* (2013, p. 3) “tempos de viagem mais curtos contribuem para a redução das frotas de ônibus e, assim, para a redução do custo da oferta”, o que remete a importância do tempo de ciclo no dimensionamento de frotas, como será visto posteriormente.

2.4.3 Velocidade Operacional

A velocidade operacional ou comercial apresenta-se como uma variável primordial na qualidade da prestação dos serviços de TPUO. De acordo com Andrade *et al.* (2004), seus valores influenciam na escolha dos usuários pelo modo de transporte e pode simbolizar as influências do fluxo de veículos e vias. Entretanto, os autores classificam o TPUO como tecnologia de transporte de baixa velocidade, apontando velocidades médias menores que 20 km/h em grandes cidades.

Reis *et al.* (2013) sugerem a velocidade comercial como grande problema das linhas, já que não há fluidez de tráfego, aumentando os tempos de ciclo e

potencialmente diminuindo o número de partidas. Isso torna a velocidade operacional um dos grandes desafios do TPUO, o que Lindau *et al.* (2013, p.3) ratifica quando cita que “para fidelizar e atrair novos usuários é importante aumentar as velocidades operacionais e diminuir a variabilidade dos tempos de viagem”.

2.4.4 Frequência e *Headway*

Também fundamentais no dimensionamento de frotas e na qualidade dos serviços de TPUO, a frequência e o *headway*, apesar de apresentarem conceitos semelhantes, visto que o termo *headway* é constantemente descrito como “frequência de atendimento” não devem ser confundidos.

De acordo com Rosa Filho (1986), o termo frequência diz respeito ao número de viagens necessárias para atender a demanda em um sentido, expresso em veículos/hora e, de acordo com Ladeira (2014) e Rosa Filho (1986), o termo *headway* no TPUO representa o intervalo, expresso em minutos, entre a passagem de dois veículos consecutivos de uma linha por um determinado ponto.

Ferraz e Torres (2004) afirmam que o *headway* afeta o tempo de espera dos usuários nos pontos de parada, e segundo Ladeira (2014, p.91):

Desvios de *headway* frequentes e sistemáticos geram efeitos danosos à operação da linha, tais como: formação de comboios, atrasos, superlotação, aumento do tempo de permanência na parada, diminuição da confiabilidade da programação, perda de conexão com outras linhas, entre outros.

2.4.5 Capacidade do TPUO e Nível do Serviço

Segundo Hoel, Garber e Sadek (2011), a capacidade do transporte público deve ser tratada em duas frentes: a capacidade veicular e a capacidade em termos de pessoas. Para o primeiro, os autores ligam capacidade ao número de unidades de transporte público que pode ser atendido por uma determinada infraestrutura, sendo influenciada pelas áreas de embarque, pontos de parada e estações e faixas de ônibus e linhas de transporte público.

Já a capacidade em termos de pessoas se relaciona ao número de usuários que podem ser transportadas para um determinado local, durante um certo período, sob condições operacionais satisfatórias, ou seja, sem grandes atrasos, riscos ou restrições e é impactada pelas políticas do operador do sistema, características da

demanda de passageiros e pela própria capacidade dos veículos (HOEL; GARBER; SADEK, 2011).

De maneira geral, Castilho (1997) apresenta capacidade como uma característica de desempenho do TPUO, definida como a demanda máxima de passageiros que o sistema pode receber para um dado nível do serviço sem que o sistema comece a se deteriorar.

A partir de todos os conceitos definidos, pode se apresentar, portanto, o Nível do Serviço de um sistema de TPUO. Os indicadores utilizados para definir este atributo correspondem ao *headway*, horário, confiabilidade e volume de passageiros, ou lotação, este último definido como o número de passageiros em uma única unidade de transporte (HOEL; GARBER; SADEK, 2011).

Castilho (1997) indica que o Nível do Serviço compreende indicadores da qualidade do serviço ofertado aos passageiros, representados pela lotação, velocidade operacional média, tempo médio de espera dos passageiros e fila média de passageiros nas paradas. Notam-se algumas diferenças nas definições, entretanto o que se percebe é que este atributo representa o conjunto de indicadores essenciais à boa prestação dos serviços de TPUO, servindo como grande apontador da qualidade.

Por fim, vale destacar que não se deve confundir os conceitos. Apesar de encontrado na literatura designado como “Nível de Serviço”, utilizou-se aqui a designação “Nível do Serviço” para se atribuir aspectos quantitativos e qualitativos aos transportes de massa, no qual se inclui o TPUO, enquanto utilizar-se-á o termo Nível de Serviço (*Level of Service*) para aquele relativo à variáveis de fluxo, densidade e velocidade em vias, e que será abordado no Capítulo 3.

2.5 DIMENSIONAMENTO DE FROTAS

O dimensionamento de frotas está diretamente ligado à oferta do serviço de TPUO e, conseqüentemente, à qualidade desses sistemas. Após as definições apresentadas, segue-se com a demonstração dos principais métodos para obtenção do número de ônibus necessários a operação de uma determinada linha.

Inicialmente, convém ressaltar que frota, neste trabalho, se trata do número de ônibus disponíveis para a operação de uma determinada linha de TPUO. De acordo com Valente *et al.* (2008, p.51) “a operação de uma linha de transporte público exige que haja disponibilidade de veículos, ou seja, quantidade suficiente para assegurar o atendimento da demanda no nível do serviço previsto, nos períodos de pico (máxima solicitação)”.

Também é necessário apontar que frotas para transporte público de passageiros não são, necessariamente, homogêneas, ou seja, podem contar com classes diferentes de veículos em relação à suas capacidades e comprimentos. Essas diferenças são demonstradas por ANTP (2017) e apresentadas na Tabela 3, em acordo com a NBR 15570 (Especificações técnicas para fabricação de veículos de características urbanas para transporte coletivo de passageiros) da ABNT (2009).

Tabela 3 - Classes de Veículos - TPUO

CLASSES DE VEÍCULOS	CAPACIDADE	PESO BRUTO TOTAL MÍNIMO (TONELADAS)	COMPRIMENTO TOTAL MÁXIMO (METROS)
MICRO-ÔNIBUS	Entre 10 e 20 passageiros, exclusivamente sentados, incluindo área reservada para acomodação de cadeira de rodas ou cão-guia.	5	7,4
MINIÔNIBUS	Mínimo de 30 passageiros, sentados e em pé, incluindo área reservada para acomodação de cadeira de rodas ou cão-guia.	8	9,6
MIDIÔNIBUS	Mínimo de 40 passageiros, sentados e em pé, incluindo área reservada para acomodação de cadeira de rodas ou cão-guia.	10	11,5
ÔNIBUS BÁSICO	Mínimo de 70 passageiros, sentados e em pé, incluindo área reservada para acomodação de cadeira de rodas ou cão-guia.	16	14
ÔNIBUS PADRON	Mínimo de 80 passageiros, sentados e em pé, incluindo área reservada para acomodação de cadeira de rodas ou cão-guia.	16	14
ÔNIBUS ARTICULADO	Mínimo de 100 passageiros, sentados e em pé, incluindo área reservada para acomodação de cadeira de rodas ou cão-guia.	26	18,6
ÔNIBUS BIARTICULADO	Mínimo de 160 passageiros, sentados e em pé, incluindo área reservada para acomodação de cadeira de rodas ou cão-guia.	36	30

Fonte: ANTP (2017).

A partir dessas informações, segue-se com os métodos descritos na literatura para o dimensionamento de frotas para linhas de transporte público urbano de passageiros por ônibus.

2.5.1 Método do Tempo de Ciclo (MTC)

Freitas (1985), Cruz (1991), Ferraz e Torres (2004) e Valente *et al.* (2008) descrevem um método para o dimensionamento da oferta horária de uma linha de transporte, ou seja, o número de veículos por hora que opera em determinada rota.

Em cada uma das obras citadas, encontram-se diferentes denominações para variáveis iguais, ou passos intermediários distintos, entretanto, os cálculos finais entregam os resultados da mesma forma, e para efeitos de apresentação, optou-se por usar os nomes das variáveis de acordo com Ferraz e Torres (2004). O método é descrito da seguinte forma:

Inicialmente, deve-se apresentar as variáveis que devem ser conhecidas para realização do cálculo da frota, dadas por P, C e T, assim definidas:

- P: demanda ou fluxo de passageiros na seção crítica (passageiros/hora);
- C: capacidade do veículo de transporte (passageiros/veículo);
- T: tempo de ciclo da linha (minutos).

Após a obtenção dessas variáveis, procede-se com o cálculo dos seguintes parâmetros:

- Q: frequência ou fluxo de viagens para atender à demanda (viagens/hora);
- H: *headway* entre veículos, ou seja, o intervalo entre viagens (minutos/veículo);
- F: número de veículos necessários na frota (veículos).

Q é obtido da Equação 1 e H da Equação 2:

$$Q = \frac{P}{C} \text{ (passageiros/hora)/(passageiros/veículo) = veículos/hora} \quad (1)$$

$$H = \frac{60}{Q} \text{ 60/(veículos/hora) = minutos/veículo} \quad (2)$$

Finalmente, o tamanho da frota é calculado pela Equação 3:

$$F = \frac{T}{H} \text{ minutos/(minutos/veículos) = veículos} \quad (3)$$

ou, de maneira mais simplificada, a frota pode ser obtida pela Equação 4, com T em horas:

$$F = T \times Q \text{ hora} \times (\text{veículos/hora}) = \text{veículos} \quad (4)$$

Entretanto, como já abordado, a variação horária de demanda influencia diretamente sobre o dimensionamento de frotas, e a metodologia definida acima é válida apenas para atender a demandas estáveis durante longos períodos. Para cobrir os horários de pico, quando seu tempo não é grande, são feitas as duas considerações a partir da Equação 3:

$$\text{Situação 1: se } T_c \leq T_p, \text{ então } F_p = \frac{T_c}{H_p} \quad (5)$$

$$\text{Situação 2: se } T_c > T_p, \text{ então } F_p = \frac{T_p}{H_p} + \frac{(T_c - T_p)}{H_n} \quad (6)$$

onde:

T_c = tempo de ciclo;

T_p = duração do período de pico,

H_p = intervalo entre viagens no período de pico;

H_n = intervalo entre viagens antes e depois do pico e;

F_p = frota necessária no período de pico.

2.5.2 ANTP

Silveira e Oliveira (2004) descrevem com detalhes a metodologia da ANTP para o dimensionamento de uma frota de ônibus. Os autores afirmam que essa frota calculada deve ser adequada para atendimento da demanda de passageiros no sentido de viagem mais carregado durante os períodos de pico, o que significa atender à demanda máxima da linha com qualidade.

As variáveis utilizadas no cálculo são as seguintes:

- N: frota para a operação da linha desejada (veículos);
- T_c : tempo de ciclo (minutos);

- T_{AB} : tempo de deslocamento no sentido de A para B – ida (minutos);
- T_{BA} : tempo de deslocamento no sentido de B para A – volta (minutos);
- T_A : tempo de parada no terminal A (minutos);
- T_B : tempo de parada no terminal B (minutos);
- I_{p1} : intervalo entre partidas consecutivas (frequência) no período de pico (minutos);
- I_{p2} : intervalo entre partidas consecutivas no período após o pico (minutos);
- T_p : duração do período de pico (minutos);
- n_p : número de viagens realizadas no período de pico (viagens);
- TPTP: número total de passageiros transportados no período (passageiros);
- QITV: quantidade ideal de passageiros transportados por viagem (passageiros);
- IRMP: índice médio de renovação no período; e
- OP: ocupação de projeto.

O TPTP é obtido pelo valor médio do período em questão, enquanto OP trata-se da máxima quantidade de passageiros a serem transportados por veículo durante a operação, baseado no nível do serviço que se deseja oferecer. Dessa forma, os cálculos podem ser realizados por meio das seguintes equações:

$$T_c = T_{AB} + T_{BA} + T_A + T_B \quad (7)$$

$$I_p = \frac{T_p}{n_p} \quad (8)$$

$$n_p = \frac{TPTP}{QITV} \quad (9)$$

$$QITV = \frac{IRMP}{OP} \quad (10)$$

Por fim, assim como no MTC, o cálculo da frota é realizado com base na relação entre T_c e T_p . Segundo Silveira e Oliveira (2004):

se $T_c \leq T_p$:

$$N = \frac{T_c}{I_{p1}} \quad (11)$$

e, se $T_c > T_p$:

$$N = \frac{T_p}{I_{p1}} + \frac{(T_c - T_p)}{I_{p2}} \quad (12)$$

Este método tem abordagem muito semelhante ao MTC, mas distingue-se por apresentar e detalhar um maior número de variáveis no processo de obtenção dos valores utilizados nas equações finais do método (11 e 12).

2.5.3 Diagrama de Marcha

O Diagrama ou Gráfico de Marcha não se trata categoricamente de um método de dimensionamento de frotas, mas sim pode ser considerado como uma representação do MTC.

Segundo a Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes (GEIPOT, 1986) *apud* Quadros Junior (2011, p.88), “os gráficos de marcha são representações de espaço x tempo, elaboradas com a finalidade de possibilitar a determinação do número de veículos necessários à operação da linha, bem como torná-la mais clara ao empresário”.

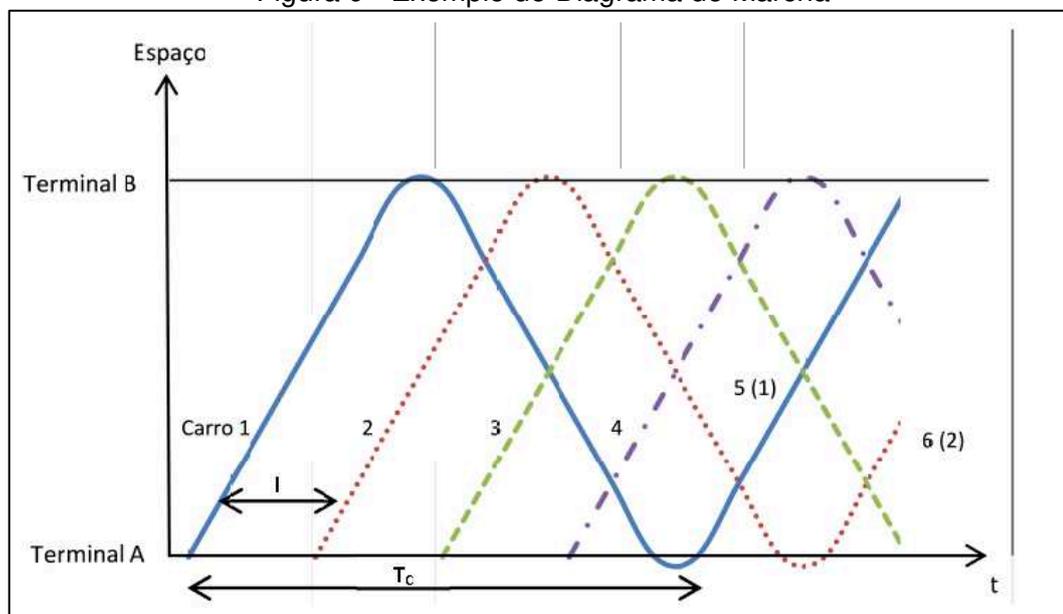
Um exemplo de Diagrama de Marcha pode ser observado na Figura 9, na qual o Terminal A representa o ponto de partida e retorno dos ônibus representados por estilos diferentes de linhas e cores e o Terminal B trata-se do ponto de chegada dos veículos para posterior retorno ao Terminal A.

Percebe-se, ainda, que o tempo de ciclo é retratado pelo tempo entre a saída do carro 1 do Terminal A e sua volta, destacando-se, também, o carro 5 (1) que representa a próxima viagem do, anteriormente, carro 1 após o primeiro ciclo. Por fim, pode se verificar que o número de ônibus para operação da linha exemplificada é 4, representados pelas entradas no percurso dentro do tempo de ciclo do primeiro carro.

Observa-se, ainda, que o Diagrama de Marcha na Figura 9 demonstra um tipo de linha com parada intermediária, representada pelo Terminal B, no qual se apresentam curvas que demonstram o tempo de parada neste terminal. Essa situação pode ser diferente no caso de linhas que saem de uma determinada estação,

percorrem uma rota e retornam, sem parada intermediária, cujo diagrama não apresentaria o segmento em curva mencionado.

Figura 9 - Exemplo de Diagrama de Marcha



Fonte: Quadros Junior (2011).

Contudo, o estudo de Coelho (1998) apresenta conceitos importantes, com uma abordagem mais aproximada da prática nas operações de TPUO. O autor define o número de veículos para atender aos horários de uma linha como demanda de veículos e cita que seu cálculo é fundamental para que a quantidade de ônibus atenda a linha de maneira satisfatória, mas também sem excesso de veículos.

Segundo Coelho (1998, p. 29), “na prática, os horários não são distribuídos uniformemente durante o dia, existem períodos em que a frequência de horários é mais concentrada e outros em que ela é menos concentrada na média”.

Da mesma forma, em relação aos tempos de viagem de uma rota, esses “muitas vezes também variam dependendo do horário que a mesma será executada durante o dia” (COELHO, 1998, p. 29). O autor afirma que variações diárias podem criar distorções no dimensionamento da demanda de veículos, como a necessidade de muitos veículos para atender um menor período (com maior demanda de passageiros) ou a ociosidade de veículos no restante do dia.

Ainda acerca da programação de ônibus, representada pelo diagrama de marcha, algumas observações podem ser expostas a partir de Coelho (1998), como a questão dos atrasos na programação de determinada rota.

Coelho (1998, p.80) define um parâmetro chamado de tolerância por atraso, que se trata do “tempo máximo que um veículo pode chegar atrasado e ainda assumir um horário para o qual estava alocado”. Segundo o autor, este parâmetro, que, em sua metodologia, deve ser definido pelo planejador, permite certa flexibilidade na determinação dos horários a serem atendidos pela frota, podendo diminuir o número de ônibus essenciais ao cumprimento das operações.

2.6 PRIORIZAÇÃO DO TRANSPORTE PÚBLICO COLETIVO POR ÔNIBUS

O último tópico em relação ao TPUO, busca contextualizar formas de priorização dos deslocamentos por ônibus. Apesar do presente estudo ser pautado no desenvolvimento de um método para veículos que transitam em sistemas comuns, é importante destacar algumas práticas e conceitos de priorização.

De acordo com Vuchic (2005), a qualificação e priorização do TPUO pode ser feita mediante algumas intervenções, as principais delas dadas pela segregação física do fluxo de tráfego (corredores e *Bus Rapid Transit* – BRT) e separação parcial do fluxo de tráfego, representada, principalmente, pelas faixas exclusivas.

De acordo com NTU (2013), as faixas exclusivas são intervenções que buscam atribuir algum tipo de prioridade ao TPUO, com baixos custos financeiros, buscando diminuir a interferência de outros veículos na operação dos ônibus.

Seus principais objetivos são: priorizar o transporte coletivo, aumentar a velocidade operacional dos ônibus, permitir maior fluidez na circulação viária para os ônibus, facilitar a integração modal, compartilhar os espaços da cidade de forma justa e racional, entre outros.

A Figura 10 demonstra exemplo de faixa exclusiva na Avenida Presidente Vargas na cidade do Rio de Janeiro, RJ.

Figura 10 - Exemplo de faixa exclusiva - Rio de Janeiro, RJ

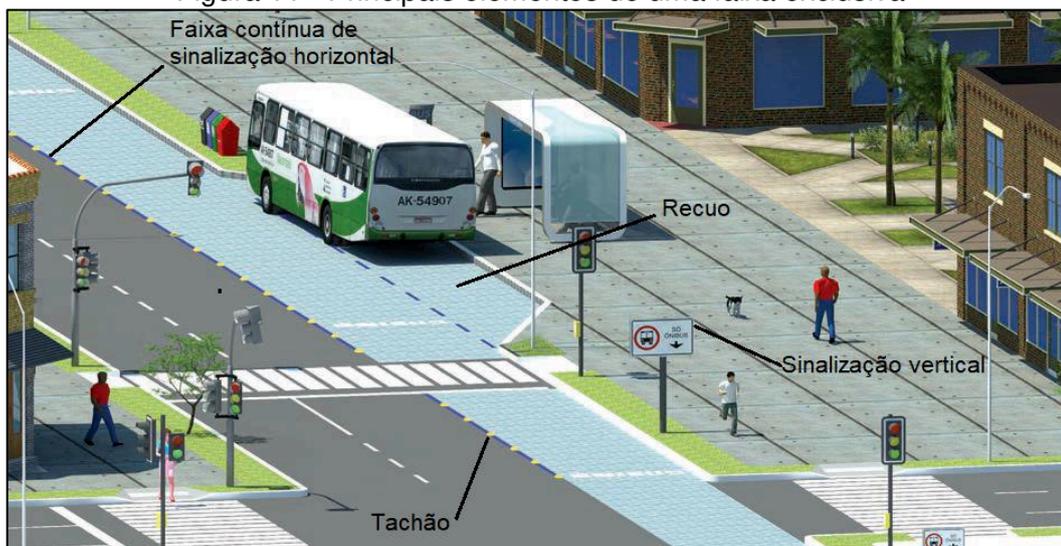


Fonte: NTU (2013).

Os principais elementos de uma faixa exclusiva são definidos por NTU (2013), e, em sua maioria, demonstrados na Figura 11:

- a. Faixa contínua de sinalização horizontal: delimitadora do espaço viário dedicado aos ônibus;
- b. Faixa não contínua de sinalização horizontal: sinaliza o espaço viário em que veículos particulares podem realizar conversões à direita;
- c. Ondulação (tachão): separador físico do espaço para ônibus e inibidor da circulação de veículos não permitidos;
- d. Placa de sinalização vertical: sinaliza a proibição de uso da faixa exclusiva por parte de veículos não autorizados;
- e. Radar eletrônico: elemento para fiscalização e autuação por meio da detecção da utilização não autorizada do espaço viário correspondente à faixa exclusiva;
- f. Recuo: espaço (baia) para parada de ônibus fora da faixa de circulação.

Figura 11 - Principais elementos de uma faixa exclusiva



Fonte: Adaptado de NTU (2013).

As faixas exclusivas possuem vantagens como o curto prazo de implantação, atendimento imediato às expectativas do usuário, não necessita de desapropriações, redução nos tempos de viagem, associação facilitada do projeto com o entorno urbano, e outras (NTU, 2013).

Além disso, as faixas exclusivas podem permitir, em determinados horários, a circulação constante de veículos particulares, além de táxis com passageiros. Um exemplo dessa prática pode ser encontrado na cidade de São Paulo.

De acordo com a Prefeitura de São Paulo² (2016), atualmente, permite-se a circulação de automóveis particulares em todas as faixas exclusivas entre 00h00min e 04h00min. Também são permitidos táxis em qualquer horário e dia da semana, desde que ocupados com passageiros e sem película de escurecimento dos vidros, senão, é permitida circulação apenas das 00h00min às 04h00min de segunda a sexta-feira.

Como citado, outra forma de priorização do transporte público coletivo trata-se do BRT (*Bus Rapid Transit*). Esse sistema, que tem origem em Curitiba, no estado do Paraná, tornou-se referência internacional de transporte público coletivo, apresentando alto desempenho, qualidade e custos reduzidos (NTU, 2011). Sua

² Portaria n.º 083/16-SMT.GAB (veículos automotores) e Portaria n.º 084/16-SMT.GAB (táxis)

principal diferença em relação às faixas exclusivas é sua separação física da via, não a compartilhando com os demais veículos, como se verifica na Figura 12.

Figura 12 – BRT em Curitiba/PR



Fonte: Archdaily (2015).

2.7 CONGESTIONAMENTOS EM VIAS URBANAS

Esta seção apresenta elementos fundamentais para a compreensão dos congestionamentos, passando por definições, caracterização, tipos e contexto histórico.

2.7.1 Considerações Iniciais

Embora discutido frequentemente, os congestionamentos possuem uma definição teórica complexa, marcada, inclusive, pela subjetividade (VASCONCELLOS, 2006). Segundo o autor, a visão popular de congestionamento é relacionada ao aumento dos fluxos que se aproximam das capacidades viárias, tornando as velocidades cada vez mais baixas, tendendo a zero em alguns instantes de uma determinada viagem.

Entretanto, do ponto de vista técnico, o problema é mais complexo, e Vasconcellos (2006, p.49) cita que “o impacto que um veículo causa a outro ocorre teoricamente quando o segundo veículo entra na via e começa a afetar o desempenho daquele que já está circulando” e, ainda, que “este impacto, medido na forma de redução de velocidade, é infinitesimal e vai crescendo à medida em que outros veículos entram na via”.

Percebe-se, portanto, que os congestionamentos podem ser governados a partir da interação entre veículos circulando por meio de grandes fluxos, próximos da capacidade viária, com velocidades significativamente abaixo daquelas que poderiam ser consideradas ideais para um determinado trecho.

Do ponto de vista de UNECE (2015), à medida que as cidades se expandem e suas estradas não podem mais ser ampliadas, os volumes de tráfego necessitam de gerenciamento dentro das capacidades das vias, e qualquer valor acima das últimas, pode levar aos congestionamentos, o que, segundo o autor, trata-se da externalidade mais aparente nos transportes.

O surgimento desses problemas passa por fatores ligados ao aumento dos veículos circulando nas vias urbanas, principalmente os veículos individuais. “O excesso de automóveis e motocicletas nas vias compromete não só o meio ambiente, mas a saúde e a qualidade de vida de quem vive nos centros urbanos” (NTU, 2007). De acordo com Quadros Junior (2011), não é possível discorrer sobre o transporte público urbano, sem considerar a sua relação tanto com o automóvel, quanto com a ocorrência de congestionamentos nas vias.

2.7.2 Caracterização e Tipos de Congestionamentos

Como já citado, os congestionamentos estão diretamente ligados a capacidades das vias pelas quais os veículos se locomovem, sendo preciso apresentar algumas definições e abordagens a respeito deste assunto, a fim de uma maior compreensão de seu significado.

O conceito provavelmente mais popular de capacidade é demonstrado pelo TRB – *Transportation Research Board* (2016a, p.24) no HCM – *Highway Capacity Manual*, que define a capacidade de uma instalação como “a taxa máxima horária sustentável, na qual pessoas ou veículos podem atravessar um ponto ou uma seção uniforme de uma pista ou estrada durante um determinado período de tempo nas condições predominantes de vias, meio ambiente, tráfego e controle.”

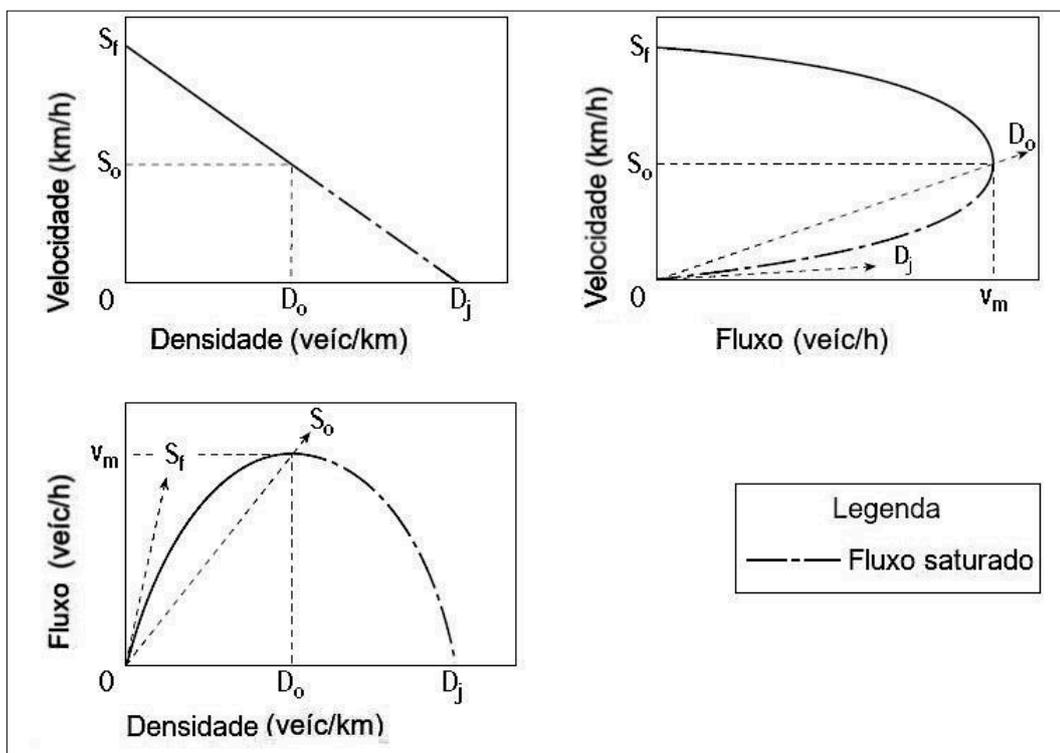
O HCM diferencia dois tipos de capacidade: de veículos e de pessoas. A primeira trata-se do número máximo de veículos que podem passar por um ponto específico durante um certo período em condições de pista, tráfego e controle predominantes. Já a segunda se refere ao número de pessoas que podem passar por

uma seção específica, também em um período determinado, nas condições vigentes. A capacidade de pessoas é geralmente utilizada para avaliar serviços de transporte público, faixas de veículos de alta ocupação e instalações para pedestres (TRB, 2016).

Em uma análise macroscópica, ou seja, considerando o comportamento do fluxo de tráfego como um todo, TRB (2016) e Hoel, Garber e Sadek (2012) apresentam definições básicas para compreensão dos conceitos de capacidade, dadas pelo fluxo (q); velocidade (u) e densidade (k).

Dessa forma, o fluxo é definido como o número de veículos que passa por uma seção durante um certo tempo, expresso, geralmente, em veículos/hora, enquanto a velocidade trata-se da distância percorrida por um veículo em um determinado tempo (km/h) e, por fim, a densidade, comumente expressa em veículos/km, é dada pelo número de veículos em um comprimento unitário de pista, em um certo tempo. As relações entre fluxo, velocidade e densidade podem ser observadas na Figura 13.

Figura 13 - Relações gerais entre Fluxo, Velocidade e Densidade



Fonte: Adaptado de TRB (2016).

Inicialmente enunciadas por Greenshields (1935) *apud* Andrade (2012), as curvas da Figura 13 apresentam aspectos notáveis:

A velocidade máxima representa a velocidade hipotética praticada pelos veículos quando o fluxo e a densidade são iguais a zero. No outro extremo, a densidade máxima corresponde à saturação da via, quando a velocidade é nula e o espaçamento entre os veículos é o mínimo possível. O ponto médio das curvas representa a operação na capacidade, na qual o fluxo é o máximo possível (ANDRADE, 2012).

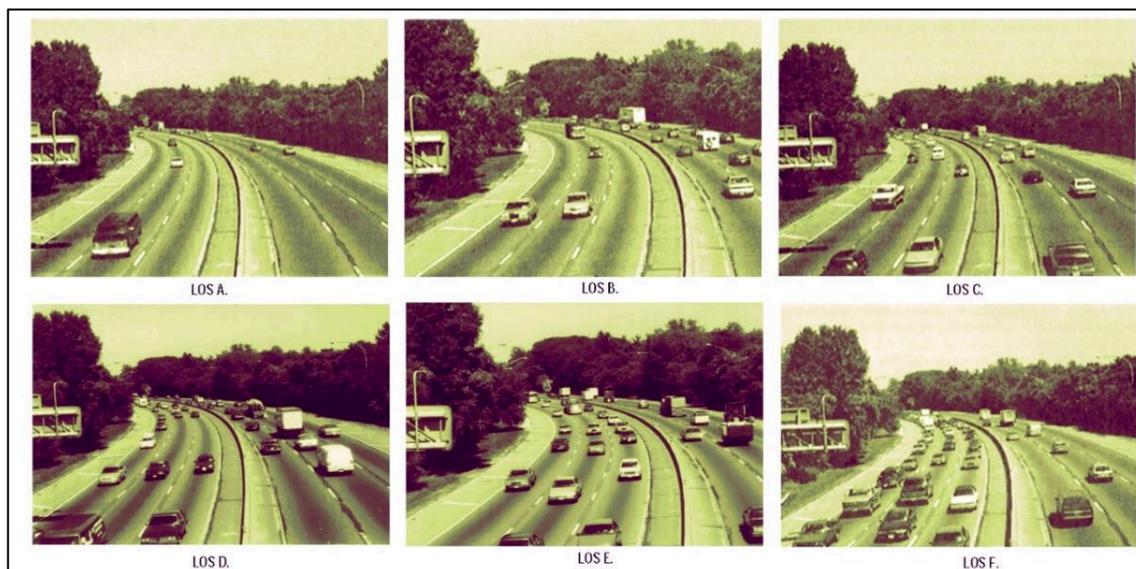
Em complemento, Hoel, Garber e Sadek (2012) levantam pontos importantes, citando que a capacidade só pode ser definida para trechos uniformes ou homogêneos, com fatores que a afetam permanecendo constantes (como fluxo, velocidade, densidade, relevo e presença de interseções) e destacam, também, o uso da palavra “razoavelmente”, apontando que isso leva a se esperar que a capacidade de uma instalação qualquer seja ligeiramente variável em locais e dias diferentes.

Isso significa dizer que a capacidade está associada a níveis de fluxo que podem ser aceitavelmente atingidos de maneira regular em uma instalação levando a outro conceito, dado pela relação v/c , ou seja, a razão entre o volume e a capacidade de uma instalação, o que indica a divisão da demanda atual ou de projeto pela capacidade (HOEL; GARBER; SADEK, 2012). De acordo com os autores, a relação v/c indica a proporção de capacidade utilizada numa rodovia diante da demanda, sendo fundamental para análises de capacidade.

Todos esses conceitos levam ao que o HCM chama de LOS (*Level of Service*), ou Nível de Serviço, uma estratificação quantitativa de uma ou mais medidas de desempenho, chamadas de medidas de serviço, que representam a qualidade do serviço.

Segundo o TRB (2016), essas medidas são, geralmente, expressas em termos de velocidades e tempos de viagens, liberdade de manobras, interrupções de tráfego, além de conforto e conveniência. Para ilustrar essas diferentes condições operacionais, o HCM divide o Nível de Serviço em vias em 6 categorias, de A à F, o que pode ser observado na Figura 14, sendo a condição A, o melhor nível de operação e a condição F, o pior.

Figura 14 - Níveis de Serviço (LOS)



Fonte: Adaptado de TRB (2000).

O HCM também apresenta a definição de Velocidade de Fluxo Livre – FFS (*Free-Flow Speed*), sendo essa “a velocidade média dos veículos em um determinado segmento, medida em condições de baixo volume, quando os motoristas estão livres para dirigir na velocidade desejada e não são limitados pela presença de outros veículos ou dispositivos de controle de tráfego a jusante” (TRB, 2016, p.8). Neste caso, os condutores não são influenciados pela presença de outros veículos.

Finalmente, a partir dos conceitos relacionados, nota-se que os congestionamentos remetem a condições desfavoráveis de deslocamentos, causadas por fatores que levam a diminuição do Nível de Serviço e, conseqüentemente, causam severas perturbações nos sistemas de transporte urbanos.

Em complemento, encontra-se na literatura definições acerca dos tipos de congestionamentos quanto as suas causas e formas. Em relação às causas, Schweitzer e Taylor (2008) ligam os congestionamentos a dois fatores básicos: excesso de veículos em horários específicos (horários de pico) e acidentes ou casualidades como condições climáticas, obras (*workzones*), um carro com o pneu furado, entre outros.

Rao e Rao (2012) apresentam uma abordagem que divide as causas dos congestionamentos em duas categorias:

- i. Fatores no Nível Micro: referem-se ao tráfego na via, sendo, por exemplo, muitas pessoas e cargas com intenção de movimento ao mesmo tempo – muitos veículos para um espaço limitado, acidentes, colisões de veículos, sinais de trânsito mal ajustados, eventos com grande concentração de pessoas ou condições climáticas adversas e;
- ii. Fatores no Nível Macro: contribuem para a incidência de congestionamentos e sua gravidade e se relacionam com a demanda global pelo uso do sistema de transporte, sendo exemplos o uso do solo, as taxas de emprego, os níveis de renda, os números de propriedade de automóveis, o investimento em infraestrutura ou a dinâmica econômica regional.

De outra forma, Roess, Prassas e McShane (2011) apresentam causas básicas para formação de congestionamentos: convergência de rotas, cruzamento de rotas principais, características naturais, locais históricos e arquitetura especial, espaçamento de ruas, indisponibilidade de rotas alternativas e variabilidade natural (relacionadas à visão de aleatoriedade em torno dos valores de demanda) e capacidade de uma determinada via.

Conforme Lomax *et al.* (1997), os congestionamentos podem, também, ser classificados em relação à forma pelos quais são medidos:

- i. Duração: ligada ao tempo em que o sistema viário é afetado;
- ii. Extensão: relaciona-se com o número de veículos prejudicados;
- iii. Intensidade: indica o quão severo é um congestionamento e;
- iv. Periodicidade: está ligada ao quão frequente é a formação, sendo recorrente ou esporádica.

Ademais, TRB (2016) define a duração dos congestionamentos como a quantidade máxima de tempo em que o mesmo ocorre em qualquer lugar do sistema de transporte e, também, a extensão como a máxima dimensão geográfica do congestionamento no sistema de transporte em qualquer momento. Já a intensidade é definida no HCM como a medida do número total de pessoas-horas de atraso,

relacionada a velocidade de viagem ou atraso médio por pessoa-viagem, além de, em aplicações de planejamento, poder ser medida em termos da relação v/c ou da demanda/capacidade.

Por fim, Rao e Rao (2012) apontam como parâmetros de mensuração de congestionamentos as velocidades, tempos de viagem e atraso, volume em determinada seção de rodovia (por exemplo, o volume de veículos concentrados em uma interseção num certo período), LOS, relação demanda/capacidade (extrapolação da capacidade de uma instalação pela demanda) e custos relacionados (incrementos de custo nas viagens).

2.7.3 Contexto histórico

A história dos congestionamentos passa por uma questão recorrente: o intenso uso do automóvel. A condição atual brasileira, por exemplo, que vive um período de intensa acessibilidade e universalização do automóvel, influencia a realidade de diversas cidades, verificando-se a circulação de veículos particulares em ritmo superior à capacidade dos sistemas viários se adequarem (QUADROS JUNIOR, 2011). Isso, como já ficou evidenciado, tem como resultado o aumento dos congestionamentos, acidentes, poluição, distâncias e tempos de viagens.

Essa condição pode ser observada em números, por meio da Tabela 4 e Tabela 5, que apresentam a evolução dos equipamentos usados na mobilidade no Brasil, de acordo com o Sistema de Informações da Mobilidade Urbana da ANTP (2016), que apresenta um relatório comparativo entre os anos de 2003 e 2014.

A Tabela 4 apresenta a evolução das quantidades de vias, veículos e interseções semaforizadas no período descrito, enquanto a Tabela 5 estabelece índices que representam as quantidades da Tabela 4 em relação ao número de habitantes, notando-se significativo aumento no número de veículos a cada mil habitantes, enquanto a mesma proporção para o número de vias permaneceu constante.

A Figura 15 mostra um gráfico de evolução nos equipamentos, considerando o ano base como 2003, atribuindo o valor 1,00 a este ano, facilitando a comparação com os anos posteriores, confirmando-se o crescimento mais acentuado dos veículos em relação às vias e interseções semaforizadas.

Tabela 4 - Equipamentos de Mobilidade - Evolução (Quantidade)

Equipamentos de Mobilidade	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Vias (mil km)	294,1	303,6	308,8	314	319,3	328,2	331,8	335,5	338,7	341,7	354,7	358,1
Veículos (milhões)	18,1	19,1	20,2	20,9	23,7	25,6	27,7	30,0	32,5	34,8	37	38,9
Interseções Semaforizadas (mil)	26,5	27,3	28,0	31,0	30,5	31,4	31,8	32,2	32,4	33,2	34,7	35,1

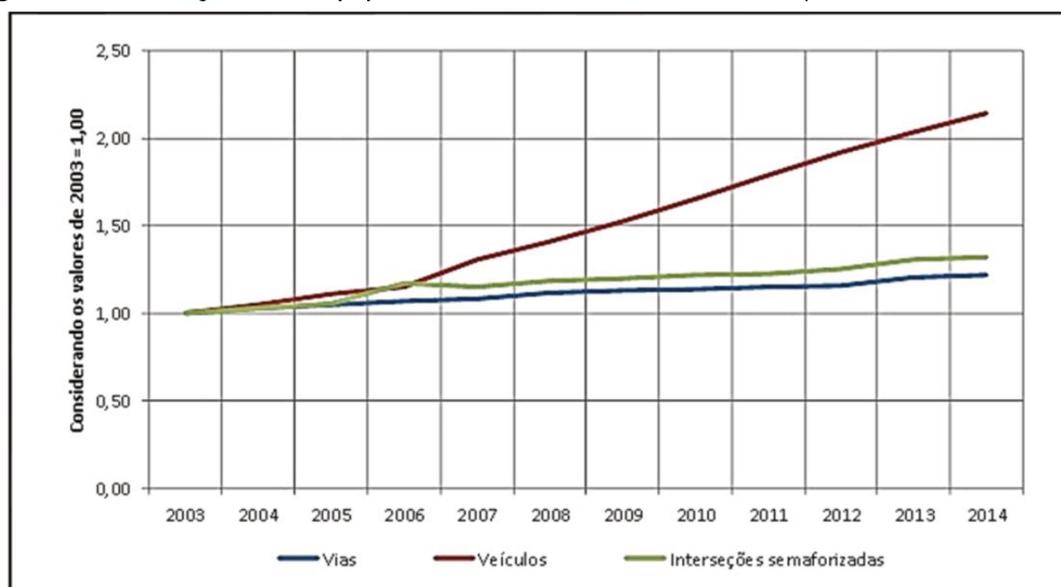
Fonte: Adaptado de ANTP (2016).

Tabela 5 - Equipamentos de Mobilidade - Evolução (índice/mil habitantes)

Equipamentos de Mobilidade	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Vias (km/mil hab.)	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7
Veículos/ mil hab.	168,4	171,5	178,6	182,2	202,9	213,5	228,4	245,1	263,1	279,2	285,8	298,2
Interseções Semaforizadas/mil hab.	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

Fonte: Adaptado de ANTP (2016).

Figura 15 - Evolução dos Equipamentos usados na Mobilidade (Ano Base 2003 = 1,00)



Fonte: ANTP (2016).

IPEA (2011) aponta para o intenso crescimento urbano nacional, a partir da década de 1950, que contribuiu para que os sistemas de mobilidade passassem a padrões de baixa qualidade e alto custo. Segundo o mesmo estudo, tal processo é relacionado a uma política de Estado que, no período mencionado, priorizou o investimento na indústria automobilística e levou o país a uma transformação em sua mobilidade.

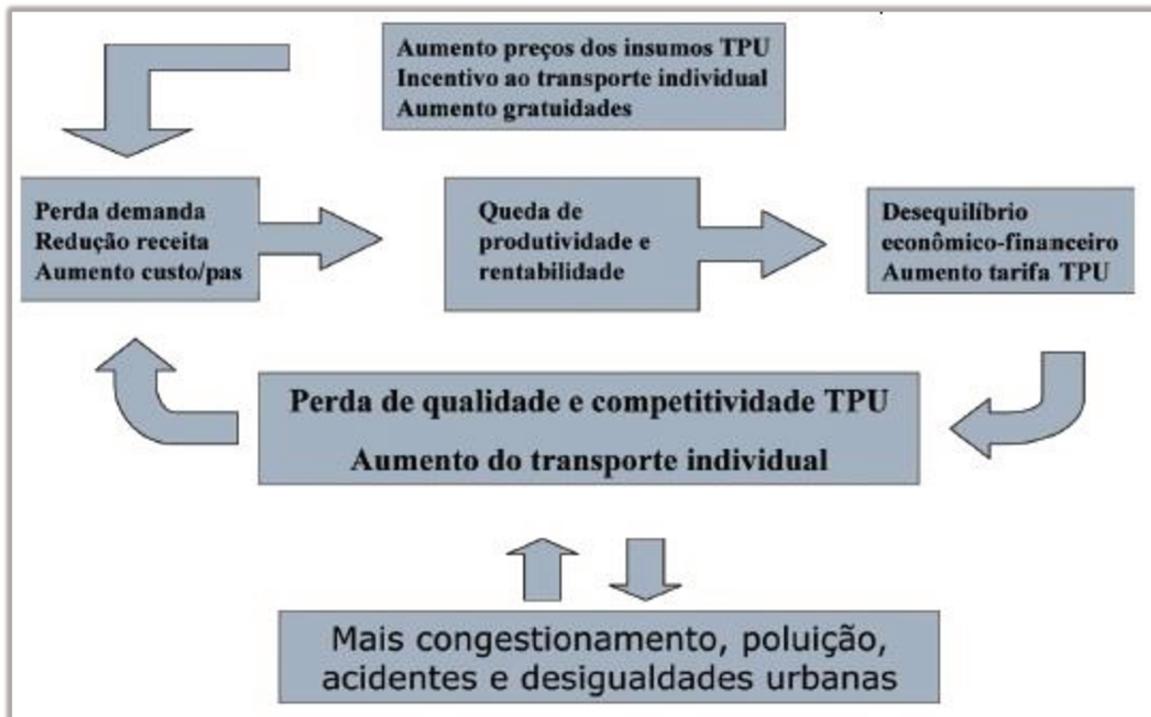
A mudança mais recente remete ao período entre 1977 e 2005, no qual as grandes regiões metropolitanas apresentaram quedas no uso do transporte público e incrementos no uso do automóvel (IPEA, 2011).

No Brasil, as previsões demonstram cenários preocupantes. Segundo o IPEA (2011), fatores como deficiências no transporte público de massa e o contínuo apoio governamental na forma de isenções de impostos e facilidades financeiras para a compra de automóveis particulares – segundo Borges (2016) no início do século XXI a população brasileira tornou-se consumidora assídua de veículos, fenômeno também relacionado à oferta de crédito ao consumidor para compras mediante juros à prazo, prática comum e de fácil acesso - constituem uma tendência no aumento das frotas de automóveis, com estimativa de dobrarem suas quantidades até 2025.

“O sistema tem um crescimento no número de veículos bem mais acelerado que os outros equipamentos urbanos, como as vias, indicando a tendência a congestionamentos crescentes” (QUADROS JUNIOR, 2011, p. 65).

O estudo de IPEA (2011) destaca, ainda, os efeitos da degradação das condições de trânsito no país, os quais se traduzem em um denominado ciclo vicioso de perda de competitividade, como já citado, e detalhado na Figura 16, apontando fatores que se relacionam dinamicamente levando ao aumento do transporte individual e decréscimos no uso de transporte público.

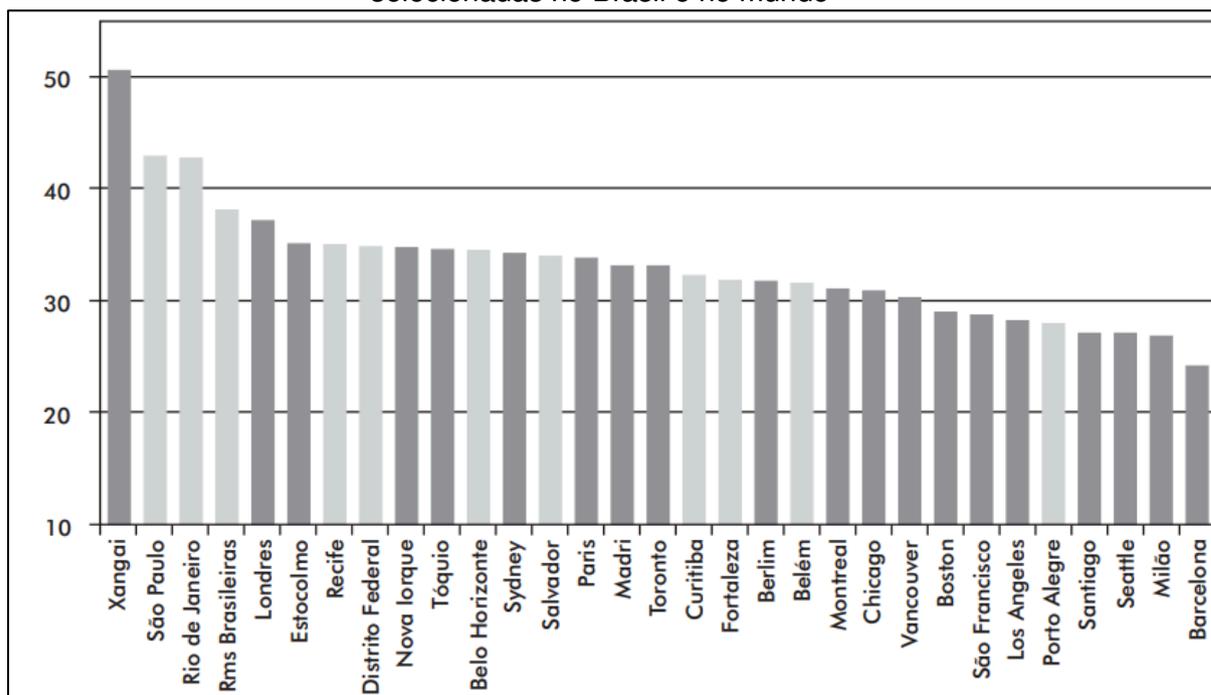
Figura 16 - Ciclo de perda de competitividade do Transporte Público Urbano



Fonte: IPEA (2011).

Ainda em relação ao cenário nacional, o estudo de Pereira e Schwanen (2013) apresenta, no Gráfico 2, comparativo dos tempos de viagem no trajeto casa-trabalho entre regiões metropolitanas (RM) brasileiras e outras, com mais de dois milhões de habitantes, ao redor do mundo. Os autores observam que, de maneira geral, nota-se que, de maneira geral, o tempo de viagem tende a ser significativamente maior nas regiões metropolitanas brasileiras selecionadas, considerando-se o tamanho populacional de tais áreas.

Gráfico 2 - Tempo médio no deslocamento casa-trabalho – regiões metropolitanas selecionadas no Brasil e no mundo^{1,2}



Notas: ¹ Tóquio (2005); Santiago e Europa (2006); Brasil (2009); Austrália, Canadá, Xangai e Estados Unidos (2010).

² Os critérios para delimitação das fronteiras das regiões metropolitanas europeias podem variar entre os países. Os dados para os Estados Unidos se baseiam nas regiões metropolitanas americanas (*metropolitan statistical areas*).

Fonte: Pereira e Schwanen (2013).

Também se demonstra, na Tabela 6, comparativo e evolução dos tempos de viagem em regiões metropolitanas brasileiras entre 1992 e 2012, que, conforme Pero e Stefanelli (2015) possibilita uma visualização da piora do sistema de mobilidade urbana das RMs brasileiras, a partir dos cálculos do IPEA, destacando Rio de Janeiro e São Paulo com maiores tempos de viagem, Belém e Salvador com as maiores variações no período e Fortaleza com o melhor desempenho.

Tabela 6 - Evolução percentual de tempos de viagem em RMs brasileiras (1992-2012)

Local de domicílio	Minutos de casa ao trabalho			Gastam mais de uma hora até o trabalho (%)		
	1992	2012	Variação (%)	1992	2012	Variação (p.p.)
Distrito Federal	32,8	34,9	6,5%	8,7%	10,6%	1,97
Belém	24,3	32,8	35,4%	3,3%	10,1%	6,86
Belo Horizonte	32,4	36,6	13,0%	10,6%	15,7%	5,02
Curitiba	30,2	32,0	6,0%	8,6%	11,3%	2,70
Fortaleza	30,9	31,7	2,8%	8,1%	9,8%	1,69
Porto Alegre	27,9	30,0	7,6%	6,1%	7,8%	1,70
Recife	32,3	38,0	17,8%	9,6%	14,0%	4,41
Rio de Janeiro	43,6	47,0	7,8%	22,2%	24,7%	2,51
Salvador	31,2	39,7	27,1%	8,3%	17,3%	8,97
São Paulo	38,2	45,6	19,6%	16,6%	23,5%	6,83

Fonte: Pero e Stefanelli (2015). Dados: IPEA (2013).

Internacionalmente, pesquisas como a de Annema e De Jong (2011), que estudaram cenários de projeções para o desenvolvimento do transporte e tráfego na Holanda, entre 1970 e 2000, apontam que prognósticos para congestionamentos são práticas imprecisas e importante exceção no momento de avaliações por parte dos projetistas de cenários.

Segundo o estudo, na Holanda, os congestionamentos foram subestimados, pois o forte crescimento ocorrido não foi previsto em nenhum dos casos e acusam como uma das razões para este fato, a evolução do número de carros aliado à não expansão prevista da capacidade viária no país, condição, como se sabe, praticamente suficiente para a formação ou aumento de congestionamentos.

Dahl (2005) retrata que especialistas afirmam que o grande problema dos automóveis é o fato desses estarem sendo colocados em vias já superlotadas, de maneira acelerada e sem medidas para acompanhamento deste crescimento. No mesmo estudo, o autor aponta para a China, que apresentava, na época, taxas de motorização exorbitantes e em evolução, citando que entre 1970 e 2001, a frota de veículos a motor do país aumentou em cerca de dez vezes.

Segundo Dahl (2005), a produção chinesa de carros de passageiros entre 2000 e 2004 saiu de 605 mil para 2,33 milhões, e cita uma tendência global de motorização, com maior crescimento na Ásia e América Latina, esperando-se, na época, que a frota mundial chegasse a cerca de 1,3 bilhão de veículos.

Finalmente, apesar da complexidade e abordagens distintas a respeito dos congestionamentos foi possível, frente aos objetivos propostos nessa pesquisa, definir, caracterizar e contextualizar este fenômeno de tráfego, destacando projeções que identificam uma evolução desequilibrada de equipamentos urbanos utilizados na mobilidade brasileira, constituída de incrementos históricos na quantidade de veículos não acompanhados pela infraestrutura viária.

O crescimento urbano acelerado, a não priorização dos transportes públicos e o aumento no número de veículos particulares refletem no aumento dos congestionamentos de maneira global, o que constitui uma área com grande potencial de exploração em estudos diversos.

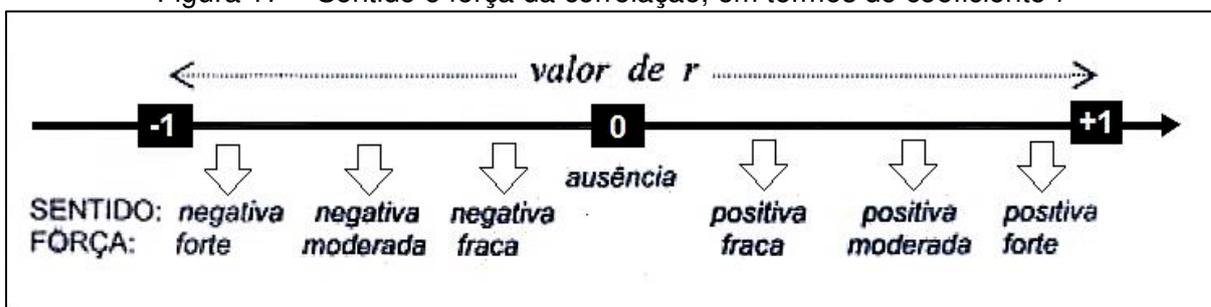
2.8 OBTENÇÃO DE MODELOS DE REGRESSÃO LINEAR SIMPLES

Para investigar a relação entre variáveis, assunto relacionado diretamente aos objetivos deste trabalho, pode-se recorrer à construção de modelos de regressão linear (MRLS) a partir de observações do comportamento de duas variáveis, sendo necessário, nesta seção, apresentar alguns conceitos e métodos básicos.

Inicialmente, cita-se o coeficiente r de correlação de Pearson que, segundo Barbetta, Reis e Bornia (2010, p. 316), “refere-se à uma associação numérica entre duas variáveis”. Segundo os autores, a correlação pode ser positiva ou negativa onde, no primeiro caso, à medida que uma variável aumenta, a outra também apresenta crescimento enquanto, no segundo caso, ocorre ao contrário, ou seja, incrementos de uma variável relacionam-se a decréscimos da outra.

Barbetta, Reis e Bornia (2010) tratam do sentido da correlação, positiva ou negativa, mas também do conceito de força, uma vez que uma determinada correlação entre variáveis pode ser fraca, moderada ou forte, conforme apresenta a Figura 17.

Figura 17 - Sentido e força da correlação, em termos do coeficiente r



Fonte: Barbetta, Reis e Bornia (2010).

Depois, busca-se estabelecer um MRLS dado, conforme Barbetta, Reis e Bornia (2010), na forma da Equação 13:

$$y_i = \alpha + \beta x_i + \varepsilon_i \quad (13)$$

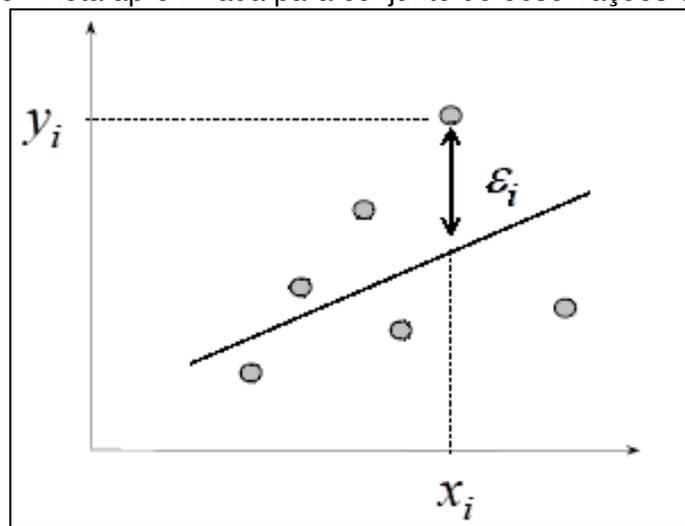
De acordo com Barbetta, Reis e Bornia (2010), para construir tal modelo, é necessário obter estimadores, denominados α e β , baseado em observações (x_1, y_1) , (x_2, y_2) , ..., (x_n, y_n) , buscando encontrar uma reta que passe o mais próximo quanto for possível dos pontos observados, ou seja, que a diferença entre os valores observados

e estimados, definido como resíduo ou erro (ε_i), sejam os menores possíveis, como mostra a Figura 18.

Para isso, os autores indicam como o mais usual o Método dos Mínimos Quadrados, que busca fazer com que a soma dos erros quadráticos seja mínima, onde a reta de regressão é dada pela Equação 14, onde \hat{y} representa os valores de y preditos pela reta.

$$\hat{y} = a + bx \quad (14)$$

Figura 18 - Reta aproximada para conjunto de observações e resíduos



Fonte: Barbetta, Reis e Bornia (2010).

Posteriormente, com o intuito de avaliar se a reta encontrada apresenta um bom ajuste em relação às variações de \hat{y} em virtude de variações de x , deve-se calcular o coeficiente de determinação, denominado R^2 , que relaciona os seguintes tipos de variação:

- variação total $(y_i - \bar{y})^2$, onde \bar{y} refere-se a valores médios;
- variação explicada pela equação de regressão $(\hat{y} - \bar{y})^2$;
- variação não explicada $(y_i - \hat{y})^2$.

Assim, R^2 é dado pela Equação 15 (BARBETTA; REIS; BORNIA, 2010):

$$R^2 = \frac{\sum(\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum(y_i - \bar{y})^2} \quad (15)$$

Posteriormente, conforme Barbetta, Reis e Bornia (2010, p.334), realiza-se o processo de verificação da validade estatística do modelo, o qual deve respeitar quatro suposições:

1) Os termos de erro são variáveis aleatórias independentes: o i -ésimo ensaio (ou observação) não deve ser afetado pelos ensaios (ou observações) anteriores;

2) $E\{\epsilon_i\} = 0$: a escolha da forma da equação do processo – no caso, uma reta – deve ser correta;

3) $V\{\epsilon_i\} = \sigma^2$: a variação aleatória não deve se alterar ao longo das observações

4) ϵ_i tem distribuição normal: a distribuição dos termos erros aleatórios deve seguir a normal.

Para as suposições 3 e 4, deve-se realizar uma análise de resíduos no entorno da reta obtida pelo MRLS, por meio de testes de hipóteses definidos por Barbetta, Reis e Bornia (2010) como testes que buscam testar a veracidade de ideias sobre determinada relação entre variáveis e modelos.

Dessa forma, trabalha-se com a hipótese nula (H_0) que é testada e considera que a diferença entre estimadores e parâmetros reais não é significativa, e com a hipótese alternativa (H_1), que contradiz H_0 e indica diferenças substanciais entre valores reais e estimados.

Além disso, para testes de hipóteses, esses são realizados pela comparação entre a probabilidade de significância (p) e o nível de significância (α). O valor de p é calculado a partir da distribuição da variável avaliada, enquanto α é usualmente adotado como 5%. Assim, para $p > \alpha$, aceita-se H_0 e para $p \leq \alpha$, rejeita-se H_0 (BARBETTA; REIS; BORNIA, 2010).

Nesse sentido, para verificação da suposição 3, que diz respeito ao comportamento da variância constante dos resíduos (homocedasticidade), Maia (2017) cita que podem ser utilizados métodos como análise gráfica, o Teste de Goldfeld-Quandt, o Teste de Breusch-Pagan ou o Teste de White, mas que serão apenas citados aqui.

Em relação à suposição 4, Sermarini (2016) cita a avaliação gráfica, o Teste de Shapiro-Wilk, Teste de Kolgomorov-Smirnov e o Teste de Anderson-Darling, que novamente, não serão detalhados.

Após avaliar as quatro suposições descritas, caso todas sejam satisfeitas, o MRLS é considerado válido, entretanto, se alguma suposição falhar, Charnet *et. al* (2008, p. 133), aponta algumas transformações de variáveis que podem ajustar o modelo em relação aos resíduos e torna-lo satisfatório:

- a) $\log(Y)$ - Transformação logarítmica na base e : essa transformação estabiliza a variância, quando esta tende a crescer à medida que Y também cresce.
- b) \sqrt{Y} - Transformação raiz-quadrada: utilizada para estabilizar a variância quando esta é proporcional à média dos Y 's.
- c) $1/Y$ - Transformação recíproca: é usada para estabilizar a variância, no sentido de minimizar o efeito de possíveis valores muito altos e Y .
- d) Y^2 - Transformação quadrática – usada para estabilizar variâncias, quando esta tende a decrescer com a média dos Y 's.

Assim, Barbeta, Reis e Bornia (2010) apresentam roteiro para utilizar a transformação logarítmica, mas que pode ser aplicado aos outros tipos de transformação:

- a) transformar as variáveis de cada valor de x e de y ;
- b) aplicar a análise de regressão linear sobre os dados transformados;
- c) construir novamente o gráfico de resíduos e verificar as suposições no novo modelo.

Caso o modelo não satisfaça as suposições novamente, pode-se utilizar outra transformação, ou assumir que o MRLS não é o mais apropriado para descrever a relação entre as variáveis, sendo necessário recorrer a outras modelagens.

3 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

3.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo, apresenta-se uma revisão de literatura focada nos congestionamentos e no transporte público urbano de passageiros por ônibus, no qual se buscou identificar estudos com abordagens a respeito do tema. A revisão foi realizada de maneira sistemática, ou seja, a partir de passos pré-definidos adaptados da metodologia proposta em Soni e Kodali (2011), também abordada em Loureiro *et al.* (2016) e que serão descritos a seguir.

3.2 PLANEJAMENTO E ETAPAS

A revisão aqui descrita foi realizada em dois momentos, sendo o primeiro definido pela busca geral de trabalhos da área, de maneira a confirmar que a proposta aqui apresentada é inédita em sua abordagem e objetivos, e o segundo marcado pela obtenção de estudos relacionados ao tema, objetivo final deste capítulo. Assim, o processo de revisão foi dividido em 5 etapas que serão detalhas na sequência:

- E-1) escolha de palavras chaves;
- E-2) definição das fontes de pesquisa;
- E-3) definição dos critérios de seleção dos estudos;
- E-4) busca e seleção de trabalhos e;
- E-5) compilação dos estudos aderentes ao tema dessa pesquisa.

E-1 Escolha das palavras chaves

A etapa E-1 consistiu na definição das palavras chave para pesquisa, que tratou dos termos a serem lançados nas plataformas de pesquisa para identificação de trabalhos relacionados. A escolha foi feita com base nos dois eixos principais da pesquisa já citados, tendo como resultados as palavras chaves: congestionamentos (*congestion*), transporte público urbano (*urban public transport*), método de avaliação (*evaluation method/methodology*), dimensionamento de frotas de ônibus (*bus fleet size/sizing*), e análise de transporte público (*public transport analysis*). Os termos, tanto em português, quanto em inglês, foram lançados nas plataformas de pesquisa apontadas em E-2.

E-2 Definição das fontes de pesquisa

Em E-2, buscou-se identificar as principais fontes de pesquisas acadêmicas nacionais e internacionais, tendo como resultados as seguintes plataformas: Catálogo de Dissertações e Teses da CAPES, o Portal de Periódicos da CAPES via acesso remoto pela CAFe (Comunidade Acadêmica Federada), *Google Scholar*, SciELO, *Research Gate*, *Scopus*, *Science Direct*, livros da área e, por fim, o *Google*, na busca por sítios na internet, em geral, que possuíssem conteúdo apropriado e confiável, como páginas de órgãos públicos, associações, entre outros.

E-3 Definição dos critérios de seleção dos estudos

A etapa E-3 teve como objetivo filtrar os estudos encontrados após o lançamento das palavras chaves nas plataformas de pesquisa, sendo constituída de categorias e filtros definidos no Quadro 2.

Quadro 2 - Critérios de seleção de estudos

Ordem	Categoria	Filtro
1	Ano de Publicação	Jan/2008 – Mar/2018
2	Tipo de Estudo	Artigos, Dissertações ou Teses
3	Idioma	Português ou Inglês
4	Disponibilidade	Leitura integral gratuita
5	Análise prévia	Leitura de títulos e resumos
6	Análise final	Leitura completa

Fonte: Elaboração própria.

E-4 Busca e seleção dos trabalhos

Nesta etapa foram aplicados os critérios de 1 a 5 e trabalhos sem qualquer correspondência com o tema proposto foram imediatamente descartados, e aqueles com alguma relação foram separados para análise final.

E-5 Compilação dos estudos aderentes ao tema

A última etapa consistiu na redação deste capítulo, com apresentação dos estudos que satisfizeram os critérios propostos na revisão. Na análise final de cada trabalho avaliaram-se as contribuições, objetivos e métodos utilizados que tivessem algum grau de relação com o proposto aqui, desconsiderando, portanto, estudos que apresentam, por exemplo, propostas de novos métodos para operações de ônibus, ou análises de outros modos de transporte público.

3.3 RESULTADOS

Os resultados da revisão contabilizaram um total de 20 estudos após a etapa de análise prévia, os quais apresentaram em seus títulos e resumos possíveis relações com o tema dessa pesquisa, e foram analisados de maneira integral, buscando entender, principalmente, seus objetivos, métodos e conclusões.

Esses 20 trabalhos são apresentados no Quadro 3, divididos por tipo, autores e ano, país de desenvolvimento da pesquisa, quando disponível, ou nacionalidade dos autores, periódico ou universidade de publicação e título original. Optou-se por detalhar os países e veículos de publicação a fim de identificar as origens das principais contribuições à área dos transportes públicos urbanos nos últimos anos.

Entretanto, como descrito na etapa E-5, a análise final dos trabalhos desenvolveu-se como último filtro para o resultado dessa revisão. Após as leituras integrais dos 20 artigos, avaliou-se que 12 não tinham a aderência suficiente com o problema, objetivos, contribuições ou métodos aqui propostos, sendo descartados, não se negando, contudo, as contribuições dos trabalhos não selecionados à área.

Quadro 3 - Trabalhos selecionados para Análise Final

Tipo de Estudo	Autoria (ano)	País	Periódico/Universidade	Título
Artigo	Sobota e Zochowska (2008)	Polônia	<i>Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering</i>	<i>Model of urban public transport network for the analysis of punctuality</i>
Artigo	Daganzo (2009)	EUA	<i>Transportation Research Part B</i>	<i>A headway-based approach to eliminate bus bunching: Systematic analysis and comparisons</i>
Artigo	Cortes et al. (2010)	Chile	<i>Transportation Research Part C</i>	<i>Hybrid predictive control for real-time optimization of public transport systems' operations based on evolutionary multi-objective optimization</i>
Artigo	Daganzo e Pilachowski (2011)	EUA	<i>Transportation Research Part B</i>	<i>Reducing bunching with bus-to-bus cooperation</i>
Artigo	Delgado, Munoz e Giesen (2011)	Chile	<i>Transportation Research Part B</i>	<i>How much can holding and/or limiting boarding improve transit performance?</i>
Artigo	Bartholdi e Eisenstein (2012)	EUA	<i>Transportation Research Part B</i>	<i>A self-coordinating bus route to resist bus bunching</i>
Artigo	Oort Boterman e van Nes (2012)	Holanda	<i>Public Transport</i>	<i>The impact of scheduling on service reliability: trip-time determination and holding points in long-headway services</i>
Artigo	Chen et al (2012)	China	<i>Discrete Dynamics in Nature and Society</i>	<i>An Improved Model for Headway-Based Bus Service Unreliability Prevention with Vehicle Load Capacity Constraint at Bus Stops</i>
Artigo	Olio, Ibeas e Ruisánchez (2012)	Espanha	<i>Transportation</i>	<i>Optimizing bus-size and headway in transit networks</i>
Dissertação	Ladeira (2014)	Brasil	UFRGS	Regulação da Operação de Linhas de Transporte Público Urbano: Controle do Headway
Dissertação	Sorussa (2014)	EUA	<i>University of Wisconsin-Milwaukee</i>	<i>Optimizing the Synchronization of Multiple Bus Routes at Multiple Transfer Points Assuming Stochastic Bus Journey Times</i>

continua...

Continuação do Quadro 2

Tipo de Estudo	Autoria (ano)	País	Periódico/Universidade	Título
Artigo	Carosi et al (2015)	Itália e Suíça	<i>Transportation Research Procedia</i>	<i>Delay management in public transportation: service regularity issues and crew re-scheduling</i>
Artigo	Nguyen-Phuoc, Currie e Young (2015)	Austrália	<i>Australasian Transport Research Forum</i>	<i>Public Transport Congestion Relief Measurement –A New Framework and Its Impacts</i>
Artigo	Cats, Yap e Oort (2016)	Holanda	<i>Transportation Research A</i>	<i>Exposing the role of exposure: Public transport network risk analysis</i>
Artigo	Cats, West e Eliasson (2016)	Holanda e Suécia	<i>Transportation Research B</i>	<i>A dynamic stochastic model for evaluating congestion and crowding effects in transit systems</i>
Artigo	Pitka et al (2017)	Sérvia	<i>Technical Gazette</i>	<i>Deterministic Model of Headway Disturbance Propagation Along an Urban Public Transport Line</i>
Artigo	Jara-Díaz, Fielbaum e Gschwender (2017)	Chile	<i>Transportation Research Part A</i>	<i>Optimal fleet size, frequencies and vehicle capacities considering peak and off-peak periods in public transport</i>
Artigo	Abdullah e Pradana (2017)	Indonésia	<i>International Journal of Engineering and Technology</i>	<i>The analysis of public transportation system in Serang, Banten</i>
Artigo	Belwal (2017)	Austrália	<i>Advances in Transportation Studies an international Journal</i>	<i>Public transportation in Oman: a strategic analysis</i>
Artigo	Duraku, Atasanova e Krstanoski (2017)	Kosovo e Macedônia	<i>International Journal of Civil Engineering and Technology</i>	<i>Modelling and analysis public transport on urban zone of Prishtina as well as measures for its improvement</i>

Fonte: Elaboração própria.

A partir disso, o Quadro 4 apresenta os 8 estudos finais com resumo de suas abordagens que se relacionam ao transporte público por ônibus e congestionamentos, seja com seus objetivos principais, ou a partir de contribuições metodológicas pontuais que poderão servir de embasamento para o método proposto na presente pesquisa. Em complemento às informações descritas no Quadro 3, faz-se algumas considerações após sua apresentação.

Quadro 4 - Revisão da Literatura – estudos finais selecionados

Autoria (ano)	País	Abordagem (Resumo)
Sobota e Zochowska (2008)	Polônia	Proposta de um modelo de estimativa da qualidade do transporte público a partir de uma análise de pontualidade, utilizando teoria dos grafos e cria um banco de dados, com parâmetros relativos as seções e interseções da rede estudada, definido pelos autores como fundamental para estimar a pontualidade na área de estudo.
Ladeira (2014)	Brasil	Estudo sobre regulação das operações de sistemas de TPUO, com foco no controle de <i>headways</i> . Apresenta problemas de regulação e faz revisão da literatura. Realiza considerações acerca de projeções para o futuro dos sistemas de transporte, observando a necessidade de previsões baseadas em séries históricas.
Carosi et al (2015)	Itália e Suíça	Apresenta uma ferramenta de programação para auxiliar as decisões das empresas de transporte público na reprogramação de ônibus e equipes utilizando simulações em tempo real, buscando lidar com atrasos de serviço e pequenas interrupções no sistema.
Nguyen-Phuoc, Currie e Young (2015)	Austrália	Estuda o alívio dos congestionamentos associado ao transporte público. Considera-se cenários em que o transporte público não é mais operado, estimando o nível de transferência para outros modos, e qual o alívio nos congestionamentos proporcionado pela retomada das operações de transporte público.
Cats, West e Eliasson (2016)	Holanda e Suécia	O estudo trata da redução dos congestionamentos e propõe um modelo para avaliar efeitos considerando as dinâmicas dos congestionamentos e a lotação dos ônibus. Para análises é utilizado um modelo de simulação (BusMezzo), e conclui-se que os efeitos dos congestionamentos podem representar grande parte dos benefícios esperados pelo sistema.
Pitka et al (2017)	Sérvia	Estudo sobre propagação de distúrbios em linhas de ônibus afetando o headway - apresenta considerações acerca dos tempos de parada e intensidade de embarques nos pontos gerando efeitos mais significativos sobre os avanços de perturbações.
Abdullah e Pradana (2017)	Indonésia	Estudo do sistema de transporte público em Serang, Indonésia. Busca examinar as condições do sistema, estimando os indicadores de desempenho na cidade. Conclui-se pela necessidade de melhorias nos indicadores de velocidades, tempo de viagem, frequência e tempos de espera e apresenta interessante <i>framework</i> de pesquisa.
Duraku, Atasanova e Krstanoski (2017)	Kosovo e Macedônia	Motivado pelo aumento da demanda por transporte em Prishtina e surgimento de congestionamentos, tem como objetivo, análise da importância do TPUO na mobilidade. Busca, também, modelar o cenário atual fazendo previsão de cenários futuros e soluções, além de realizar comparações.

Fonte: Elaboração própria.

Sobota e Zochowska (2008) apontam para a relevância de análises de redes de transporte para avaliação do transporte público por ônibus, com foco nos

elementos de paradas de ônibus e tempos de viagem, relacionados, principalmente, à pontualidade do sistema.

Para Sobota e Zochowska (2008), a pontualidade é uma característica muito importante para os passageiros como fator de qualidade do transporte público, sendo a modelagem correta da rede de transporte público um problema essencial a ser verificado.

Para descrever e tratar do problema, Sobota e Zochowska (2008) propõem uma construção de modelo matemático da rede de transporte público a partir da aplicação da teoria dos grafos, instrumentos matemáticos que facilitam a descrição da rede real.

Desta forma, o estudo construiu uma base de dados, a qual foi aplicada no modelo matemático desenvolvido a fim de calcular parâmetros de qualidade do transporte público, apresentando como resultado, uma análise de pontualidade baseado em desvios de horário, definidos pelos autores como a diferença entre o horário programado pela tabela horária e o horário real de partida do veículo.

Sobota e Zochowska (2008, p.66) concluem que “toda ação que leva à melhoria da qualidade do transporte público, deve ser precedida pela análise de muitos fatores. O modelo de rede e a aplicação de software são instrumentos eficazes, que auxiliam o processo de decisão”.

Por fim, os autores tratam da necessidade de um banco de dados sobre seções e interseções na região de estudo, permitindo maior eficiência dos cálculos propostos para estimativa de pontualidade, além de citarem que, durante a análise de pontualidade e tempo de viagem, deve-se considerar os tempos de parada durante o percurso nos pontos de embarque e desembarque, além dos tempos dispendidos em interseções e durante o percurso

A dissertação de Ladeira (2014) é desenvolvida sob a forma de artigos, nos quais a autora aborda, principalmente, estratégias de regulação das operações de ônibus. O estudo apresenta conceitos acerca de problemas de regulação, dividindo-os em eventuais e sistêmicos, com causas especiais ou comuns, essa última geralmente atrelada à problemas estruturais que necessitam de ações gerenciais, nos quais entende-se encaixarem-se os congestionamentos recorrentes.

Além disso, a pesquisa aponta para tipos de heurísticas que podem ser utilizadas para a solução de problemas, e realiza uma revisão de literatura, destacando estratégias de retenção de ônibus, pular paradas, inclusão de veículos reservas e viagens expressas.

Como citado no resumo do Quadro 4, Ladeira (2014) destaca a necessidade de projeções futuras, nas quais, a partir de dados atuais e suas tendências, se possam tomar medidas preventivas contra, por exemplo, formação de comboios ou grandes espaçamentos de *headway*. Todas essas considerações feitas levam a concluir acerca da significativa contribuição do trabalho da autora às operações de transporte público, principalmente ao lidar com congestionamentos e outras perturbações nos sistemas.

De acordo com Carosi *et al.* (2015), a qualidade de um transporte público local depende da eficiência e confiabilidade percebidas, contudo, distúrbios no sistema, especialmente em um ambiente urbano, podem gerar rupturas que influenciam negativamente essa percepção. Em sua pesquisa, os autores tratam de situações rotineiras em que a regularidade do serviço é comprometida por atrasos e pequenas interrupções

Carosi *et al.* (2015) propõem uma ferramenta de apoio à decisão para os operadores de transportes públicos, buscando lidar com os atrasos e interrupções, discutindo diferentes maneiras de avaliar e melhorar a qualidade dos serviços propondo um sistema baseado em simulação para aplicação em tempo real na otimização das operações.

Segundo Carosi *et al.* (2015), na época, os fiscais de operações tomam suas decisões sobre a recuperação do serviço regular, após interrupções ou distúrbios, com base em sua experiência. As ações que eles podem aplicar aos motoristas são basicamente desvios não planejados e alteração da duração dos intervalos nos terminais. Tais ações, dentre outras, avaliadas, tomadas e baseadas apenas de acordo com a experiência e intuição do fiscal, torna quase impossível a tarefa de avaliar o impacto de alternativas na regularidade do serviço e na programação.

Entretanto, com o apoio de um sistema automatizado, a estimativa dos efeitos de cada ação é possível por meio de simulações baseadas em dados históricos

(CAROSI *et. al.*, 2015), retomando a questão da necessidade de bancos de dados consistentes em trabalhos dessa natureza, quando se pretende fazer previsões, análises e verificações entre as situações simuladas e reais.

Como resultados, Carosi *et al.* (2015), apresentam um sistema online de gerenciamento de atrasos no transporte público em tempo real, aplicando-o em um conjunto de linhas reais, demonstrando eficácia dos procedimentos e apontando para desenvolvimento futuros mitigando limitações a ampliando análises.

O estudo de Nguyen-Phuoc, Currie e Young (2015) ratifica a importância do transporte público, apresentando um novo método que pode ser utilizado para estimar o alívio dos congestionamentos associado ao transporte público urbano. Para calcular o impacto este impacto, os autores consideraram, em um cenário hipotético, que uma proporção de passageiros de transporte público urbano mudará para o automóvel se o serviço cessar. Como resultado, o nível de congestionamento na rede de rodovias aumentaria devido ao aumento no número de viagens de carro.

Nguyen-Phuoc, Currie e Young (2015) utilizam a abordagem de Aftabuzzaman, a qual é adotada para estimar o alívio de congestionamento, contudo, ao contrário de pesquisas anteriores identificadas na revisão bibliográfica do estudo, os autores adotaram uma proporção variável e não uma proporção fixa de usuários de transporte público urbano que mudariam de carro quando o primeiro fosse removido.

Desta forma, os pesquisadores desenvolveram uma abordagem para estimar uma taxa variável de usuários de transporte público urbano que poderiam mudar para o motorizado individual, a partir de uma análise do comportamento da mudança de modo e das características de deslocamento dos usuários de transporte público em partes de Melbourne, Austrália, com o objetivo de fornecer uma avaliação mais precisa do alívio de congestionamentos com base na pesquisa de comportamento em viagens.

A aplicação da metodologia foi realizada em Melbourne, e as condições de congestionamento foram determinadas usando a matriz de viagem no horário de pico da manhã (07h00min – 09h00min). Para a mudança de modo, foram considerados

quatro fatores: a presença de *park and ride*³, viagens de longa distância por transporte público, disponibilidade de carro e carteira de habilitação.

Ao aplicar as diversas parcelas de mudança de modo ao carro, a análise do nível de congestionamento mostra que cerca de 2.000 (aumento de mais de 85%) trechos de rede adicionais ficariam muito congestionados devido à expansão no número de viagens de carro quando o transporte público é removido. O atraso total na rede também aumentaria em torno de 44%.

Segundo Nguyen-Phuoc, Currie e Young (2015), sua pesquisa faz parte de um projeto mais amplo que explora como avaliar os impactos do transporte público urbano nos congestionamentos, citando que uma gama de oportunidades está sendo explorada para melhorar as abordagens metodológicas.

Os autores afirmam que existem muitas métricas usadas para identificar trechos congestionados e que seu estudo usou um limiar de relação v/c (como abordado em 2.7.2) para determinar o número de trechos congestionados. No entanto, em alguns casos, esse índice não pode expressar totalmente o nível de congestionamento nas condições de "parada e saída". Nesta situação, o congestionamento de tráfego pode ser realmente sério, mas a relação v/c permanece baixa. Assim, encontrar a abordagem de medição de congestionamento mais adequada para estimar os impactos do TP pode ser mais explorada.

Por fim, o principal ponto da pesquisa de Nguyen-Phuoc, Currie e Young (2015) encontra-se em demonstrar que as parcelas de mudança de modo de transporte quando o transporte público cessa, variam não de maneira fixa, como apontam estudos anteriores, mas sim de maneira distinta entre áreas com características de tráfego diferentes.

O trabalho de Cats, West e Eliasson (2016) tem a maior relação com a pesquisa aqui apresentada. Os autores ressaltam a diminuição dos congestionamentos e

³ De acordo com Marques (2017), uma medida relacionada à política de estacionamento que difundiu-se em décadas passadas, principalmente no contexto dos subúrbios norte-americanos e europeus, são os bolsões de estacionamento integrado, também conhecidos como *park-and-ride*, equipamentos que permitem ao usuário de transporte individual estacionar seu veículo próximo a uma estação ou área de embarque de transporte público e posteriormente utilizar este sistema até seu destino final.

aumento de capacidades como maiores motivações para os investimentos em transporte público, além de ratificar o desconforto causado pelos congestionamentos em relação à diminuição da confiabilidade dos serviços.

Os autores citam os modelos de atribuição de trânsito (em inglês *Traffic assignment models* - TAM), os quais são utilizados para prever a distribuição de passageiros em uma determinada rede e desempenham um papel crítico na avaliação dos benefícios de extensões de rede alternativas como parte da avaliação do projeto.

De acordo com Cats, West e Eliasson (2016), em muitas cidades, a capacidade insuficiente é percebida como o problema mais sério no sistema de transporte público, resultando em aglomeração, falta de confiabilidade e longos tempos de espera. Porém, metodologias de avaliação para projetos destinados a incrementar a capacidade são relativamente menos desenvolvidas do que métodos que visam reduzir o tempo de viagem. Os autores afirmam que negligenciar os benefícios de alívio de congestionamento resulta em uma subestimação do benefício total de um investimento.

O método apresentado busca simular a dinâmica do transporte público observando o progresso dos veículos entre paradas em uma simulação mesoscópica utilizando um modelo chamado BusMezzo, e, de maneira geral, permite replicar como os congestionamentos evoluem e como podem influenciar nos tempos de viagem.

Conforme Cats, West e Eliasson (2016), a representação dinâmica e desagregada da oferta e demanda de transporte público no modelo BusMezzo modela explicitamente as fontes subjacentes de congestionamento, como incerteza de oferta, e restrições de capacidade do veículo. Segundo os autores, isso permite que o modelo replique como o congestionamento evolui e determina o desempenho do sistema, influenciando, por fim, os componentes do tempo de viagem dos passageiros.

A aplicação da modelagem desenvolvida por Cats, West e Eliasson (2016) foi realizada por meio de um estudo de caso de uma extensão de linha de metrô em Estocolmo, Suécia. A extensão da linha é parcialmente motivada pelos altos níveis de congestionamento experimentados pelos passageiros que usam o corredor de ônibus existente.

Segundo os autores, nos períodos de pico, o congestionamento resulta em aglomerações no interior dos veículos, baixa confiabilidade do serviço e, em alguns casos, recusa de embarque. O estudo de caso analisa os efeitos do congestionamento com e sem a extensão da linha do metrô para avaliar os benefícios atribuídos ao alívio do congestionamento.

As saídas do modelo são incluídas em uma análise de custo-benefício, avaliando três componentes de tempo de viagem relacionadas a efeitos de congestionamento: aumento do tempo de espera devido a recusa de embarque, desconforto causado pela aglomeração a bordo e maior tempo, tanto na espera quanto no veículo, devido ao serviço irregular.

Os autores concluem que falhas na previsão e representação dos efeitos de congestionamentos de maneira dinâmica sobre o transporte público podem subestimar os benefícios de projetos baseados no aumento de capacidade, ao invés de reduzir os tempos de viagem e aumentar as frequências de atendimento. Segundo os autores, a metodologia facilita avaliações e pode subsidiar a tomada de decisões por parte de formuladores de políticas de investimento no transporte público.

Apesar do estudo de caso ter sido desenvolvido para a extensão de uma linha de metrô, tipo de transporte não considerado no presente estudo, a abordagem e a utilização do BusMezzo apresentadas por Cats, West e Eliasson (2016) contribui para esta pesquisa, principalmente ao se tratar da dinâmica de congestionamentos, ao ponto que avaliações como as realizadas também podem ser utilizadas para avaliar redes de transporte público operado por ônibus,

Pitka *et al.* (2017) estudaram a propagação de perturbações no *headway* nos serviços de TPUO, apontando para a necessidade de avaliação de diversos parâmetros para fornecer uma perspectiva abrangente sobre o problema.

De acordo com Pitka *et al.* (2017), a qualidade do serviço e a estabilidade do sistema de transporte público de passageiros dependem, entre outros fatores, do grau de uniformidade do *headway*, ou seja, o intervalo entre a passagem de dois veículos consecutivos de uma linha por um determinado ponto, como definido em 2.4.4. Em sistemas que não possuem estratégias para gerenciar disparidades no *headway*, surgem distúrbios nos padrões de deslocamento do veículo (PITKA *et al.* 2017).

Para os autores, a inconsistência de avanço reduz a qualidade do serviço oferecido ao usuário em termos de aumento do tempo médio de espera do passageiro e conforto do passageiro no veículo e citam, ainda, que a qualidade inadequada do serviço pode levar os usuários a mudar o modo de viagem, resultando no declínio da utilização do transporte público.

Pitka *et al.* (2017) utilizam-se de um modelo determinístico seguindo uma série de premissas:

- a) o tempo de funcionamento do veículo entre paradas adjacentes é uniforme;
- b) o tempo necessário para abrir e fechar portas é constante e não significativo em relação ao tempo de permanência;
- c) a operação de embarque e desembarque ocorre simultaneamente;
- d) o número de passageiros que entram nos veículos não é limitado;
- e) o *headway* não excede 15 minutos;
- f) a variabilidade na acumulação de passageiros nas paradas ao longo da linha é constante.
- g) os veículos que seguem a mesma linha não se sobrepõem.

No modelo de Pitka *et al.* (2017), a propagação do distúrbio de *headway* é representada por paradas ao longo da linha e pela posição de programação do veículo. Segundo os autores, o ponto em que a perturbação do *headway* ocorre (parada/partida) é observado em relação a um ponto de referência, o qual é definido como a parada em que o veículo que causou o *headway* primário foi localizado.

Pitka *et al.* (2017) concluem que no TPUO, o comprimento da linha e o número de paradas contribuem proporcionalmente para as discrepâncias ao longo das viagens, mas que o sistema é mais sensível ao, denominado pelo estudo, parâmetro β (razão entre a intensidade de acumulação de passageiros e a intensidade de embarques) do que ao número de paradas ao longo da rota.

De acordo com os autores, distúrbios de *headway* aumentam cumulativamente a partir de cada parada consecutiva ao longo da linha. Consequentemente, um número maior de paradas aumenta o risco de perturbação cumulativa que pode resultar em um estado descontrolado do sistema. Os parâmetros definidos pelo

modelo e os resultados obtidos pelas análises confirmam que é possível mitigar os problemas de perturbação do intervalo durante a fase de projeto do sistema de transporte (PITKA *et al.* 2017).

Abdullah e Pradana (2017) pesquisaram sobre o transporte público em Serang, na província de Banten, Indonésia, visando examinar as condições do sistema e estimar indicadores de qualidade a partir de identificação dos problemas, revisão bibliográfica e coleta de dados. Antes de coletar os dados e informações, o estudo primeiro identificou os problemas de pesquisa, os quais foram construídos com base nos problemas enfrentados na cidade de Serang e na leitura de literatura relevante publicada na Indonésia.

Depois de fazer a revisão da literatura, Abdullah e Pradana (2017) realizaram uma pesquisa preliminar por meio de observação pessoal e entrevista com o escritório de Transporte na cidade de Serang, no qual foram coletados dados secundários publicados, principalmente quanto às características da rota, características do veículo e gerenciamento do tráfego. Os dados primários foram coletados com os passageiros e os motoristas do transporte público, incluindo, por exemplo, velocidade, *headway*, tempo e frequência de viagem do transporte público.

O estudo avalia individualmente cada rota da cidade, destacando os aspectos positivos e negativos das operações das 10 linhas identificadas no sistema de Serang e, como resultados, Abdullah e Pradana (2017) concluem a respeito da necessidade de melhoria na qualificação padrão do sistema de transporte público.

As melhorias citadas pelos autores consistem em seis dimensões: normas de segurança, velocidade, infraestruturas, conforto, tarifas razoáveis e a disponibilidade dos veículos para garantir a prestação dos serviços de transporte público, concluindo que ainda há muito a ser feito pelo governo e outras partes interessadas a fim de melhorar o sistema de transporte público na cidade de Serang, em particular, e na Indonésia de maneira geral.

No último estudo analisado, Duraku, Atasanova e Krstanoski (2017) apresentam uma pesquisa que buscou concluir uma avaliação geral em relação à qualidade dos serviços de transporte público na zona urbana da cidade de Prishtina, Kosovo, com base na matriz origem-destino das viagens de transporte público, além

de determinar os principais fatores na falta de eficiência do transporte público, fornecidos por meio de pesquisa de campo, indicando sua relevância e realizando recomendações apropriadas para o estabelecimento de um sistema eficaz.

Segundo Duraku, Atasanova e Krstanoski (2017), para ter tráfego adequado na zona urbana de Prishtina, é necessário estabelecer um transporte público funcional de passageiros para ser integrado ao sistema de informações inteligente, de forma a reduzir o número de veículos particulares e reduzir a demanda de estacionamento,

Em sua pesquisa, os autores utilizam o simulador de tráfego Visum para realizar análises e projeções do sistema de transporte público. A metodologia consiste na obtenção de matrizes origem-destino da região nos horários de pico, com posterior processamento de dados nas simulações modelando a situação existente e propondo um cenário com outros indicadores, concluindo a favor da variante proposta em cenários futuros a partir de redesenho das linhas como solução correta no caso estudado.

Duraku, Atasanova e Krstanoski (2017) citam que é crucial especificar medidas e estratégias a serem consideradas para tornar o transporte público mais atraente e funcional, de modo que os usuários de veículos particulares no futuro se tornem usuários regulares do transporte público. Os autores afirmam também que todos os setores de serviços em geral, bem como o setor de transporte público, enfrentam dificuldades para atender às solicitações dos clientes e isso pode ser considerado uma questão muito complexa mas que, no entanto, é necessário que os transportes públicos permitam a todas as categorias de passageiros um transporte público eficiente e de qualidade.

O estudo apresenta que a recuperação do transporte público na zona urbana de Prishtina requer atenção especial, organização adequada e estrutura sólida, afirmando que o aumento das tarifas deve ser coberto pela prestação de serviços de qualidade. Ao fazer a reorganização do transporte público, devem ser levados em conta os requisitos de passageiros e as capacidades de infraestrutura para obter serviços mais eficazes para todos os assentamentos em condições iguais e unificadas.

Destaca-se deste estudo a utilização da simulação no apoio a análises e conclusões acerca de determinados cenários de operação do transporte público por ônibus.

3.4 CONCLUSÃO

Ao avaliar a revisão realizada, notou-se escassez de estudos que contemplem diretamente a relação entre os congestionamentos e o transporte público por ônibus quanto ao dimensionamento de suas frotas e análises das operações, o que reitera a importância dessa pesquisa, destacando-se que apenas um estudo encontrado na revisão tem origem brasileira. Entretanto, avaliou-se que os poucos estudos identificados nos últimos 10 anos, apresentam contribuições para o desenvolvimento do método aqui proposto, listadas a seguir acompanhadas dos principais autores identificados que as corroboram:

- i. Análises de tempos de viagem e pontualidade – estudos dentro dessa abordagem podem buscar formas de medir a qualidade do serviço a partir desses e outros parâmetros (CAROSI et. al, 2015; SOBOTA; ZOCHOWSKA, 2008);
- ii. Formação e utilização de dados e séries históricas relativas às operações de transporte público – a partir dos estudos da revisão pode-se identificar a necessidade de entender tendências relativas tanto ao comportamento do tráfego quanto do próprio TPUO e registrar essas informações para, inclusive, projetar cenários futuros (LADEIRA, 2014);
- iii. Possibilidade de identificação de problemas com antecedência – percebeu-se que os estudos mostram uma preocupação com o futuro das operações, o que reforça a necessidade de elaborar medidas preventivas (CATS; WEST; ELIASSON, 2016; PITKA et. al. 2017; NGUYEN-PHUOC; CURRIE; YOUNG, 2015); e
- iv. Acompanhamentos em tempo real ou por meio de simulações – a revisão concentrou-se no uso desses tipos de tecnologias como ferramentas de diagnóstico e prognóstico para o transporte público (SOBOTA; ZOCHOWSKA, 2008; CATS; WEST; ELIASSON, 2016).

Portanto, a revisão referida mostra que estudos que relacionem congestionamentos com o TPUO ainda são, de fato, férteis, e podem apresentar,

inclusive, métodos relativamente simples, mas com potencial contribuição para as avaliações do tema aqui proposto.

4 O MÉTODO DESENVOLVIDO

Neste capítulo são descritos os procedimentos metodológicos congruentes com o objetivo geral desse trabalho. Em um primeiro momento se revisitará o problema com o estabelecimento de uma hipótese a ser avaliada, e, posteriormente, serão apresentadas as fases e dados necessários para a aplicação do método, primeiramente em linhas gerais, e depois de maneira detalhada.

4.1 INTRODUÇÃO

Inicialmente, convém lembrar que o problema da pesquisa está atrelado aos congestionamentos em vias urbanas e de que maneira se dão seus efeitos sobre o transporte público de passageiros por ônibus (TPUO).

A hipótese aqui assumida considera que o aumento dos congestionamentos afeta diretamente os tempos de viagem do TPUO, levando a acréscimos nos tempos de ciclo e, conseqüentemente, a uma necessidade de ampliação na oferta de ônibus.

Este cenário descrito pode implicar em problemas de desempenho de linhas em termos de aumento no tempo de deslocamentos de passageiros, podendo, inclusive, levar à uma redução no número de usuários do sistema.

Os objetivos do método são:

- i. Desenvolver um índice de congestionamento em itinerários de determinada linha de TPUO;
- ii. Relacionar tempos de viagem com os índices de congestionamento;
- iii. Realizar avaliações de sistemas de TPUO baseado na relação obtida entre tempos de viagem e índices de congestionamento.

4.2 O MÉTODO MAEC-TP

Definidos o problema, hipótese e objetivos, apresenta-se o método para avaliação, produto dessa pesquisa, denominado MAEC-TP, sigla para Método de Avaliação dos Efeitos dos Congestionamentos no Transporte Público.

4.2.1 Apresentação do Método

O MAEC-TP trata-se de um método que realiza uma avaliação das operações para um sistema de TPUO frente a ocorrência de congestionamentos, podendo ser aplicado para todos os dias da semana, em todas as semanas, para todos os meses do ano, a depender do objeto de estudo, recursos, tempo, tecnologias e dados disponíveis pelo usuário.

Estas definições também dependem do grau de conhecimento do usuário sobre a região e sobre o comportamento da linha analisada, podendo o MAEC-TP ser aplicado para um determinado dia da semana ao longo de um determinado mês, em casos onde as análises possam ser direcionadas para uma época específica do ano.

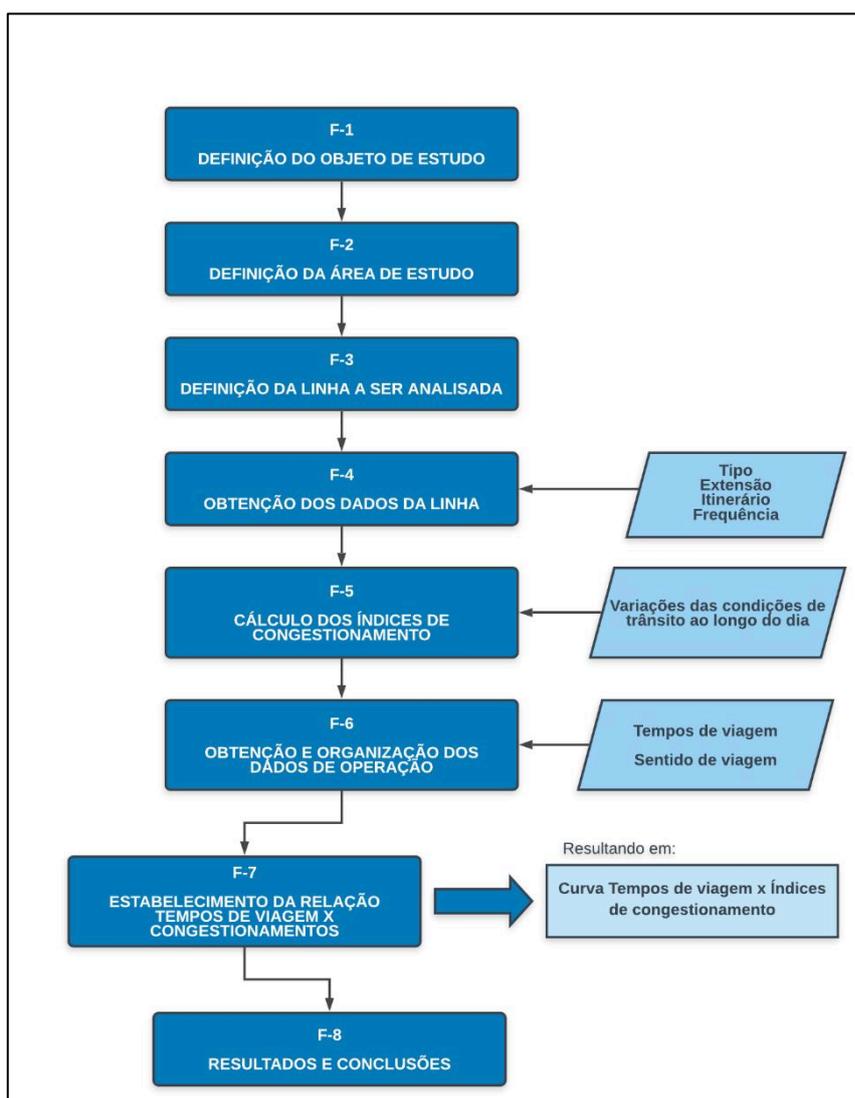
No Quadro 5, as fases são relacionadas, podendo-se notar que são constituídas de passos coordenados, e que são relacionadas entre si de maneira ordenada, ou seja, para a execução de uma fase, pode ser necessária a conclusão de outra anterior. Tal relação pode ser observada no fluxograma da Figura 19, enquanto o detalhamento de cada uma é apresentado no próximo subitem.

Quadro 5 - Fases do MAEC-TP

Fase	Denominação
F-1	Definição do objeto de estudo
F-2	Definição da área de estudo
F-3	Definição da linha a ser analisada
F-4	Obtenção dos dados da linha
F-5	Cálculo dos índices de congestionamento
F-6	Obtenção e organização dos dados de operação
F-7	Estabelecimento da relação tempos de viagem x congestionamento
F-8	Resultados e Conclusões

Fonte: Elaboração própria.

Figura 19 - Fluxograma de etapas do MAEC-TP



Fonte: Elaboração própria.

Ressalta-se, por fim, que o método foi desenvolvido para realizar análises de uma linha ou um conjunto destas, desde que as avaliações sejam feitas individualmente, uma vez que cada linha apresenta características diferentes em termos de frequência e, principalmente, traçado.

4.2.2 Detalhamento das Fases do MAEC-TP

Em complemento às informações apresentadas no fluxograma da Figura 19, descreve-se, nessa subseção, cada fase do MAEC-TP de maneira detalhada.

4.2.2.1 F-1 Definição do objeto de estudo

A primeira fase do MAEC-TP consiste na definição do objeto de estudo para qual o método será utilizado. Ou seja, nessa etapa, define-se para qual tipo de análise se destinarão os resultados obtidos ao final da fase F-7. Nesse sentido, a fase F-1 pode, inclusive, realizar algum questionamento, o qual deve ser respondido ao final dos processos do MAEC-TP.

Esses objetos podem referir-se a avaliações de uso de faixa exclusiva ou implantação de sistemas BRT, verificações de cenários de congestionamento e seus efeitos sobre determinada variável como frota, tempos de viagem, velocidade operacional, entre outros exemplos.

4.2.2.2 F-2 Definição da área de estudo

Definido o objeto de estudo para o qual se destinarão as análises do MAEC-TP, procede-se para a definição da área de estudo a qual o método será aplicado. Essa definição deve-se referir a uma região, município, distrito ou bairro e um determinado sistema de TPUO.

4.2.2.3 F-3 Definição da linha a ser analisada

A terceira fase do método proposto trata-se da definição, dentro da área de estudo, de uma linha para análise, em cujo itinerário se deseje avaliar as operações da linha frente à formação recorrente de congestionamentos. É importante que se verifique, nessa etapa, a disponibilidade de dados da linha analisada, conforme se abordará na Fase F-4.

4.2.2.4 F-4 Obtenção dos dados da linha

Essa fase consiste, primeiramente, na coleta dos dados referentes ao tipo, extensão e itinerário da linha determinada em F-3. Para este fim, podem ser utilizados mapas disponibilizados pelo órgão/empresa operadora da linha analisada ou, alternativamente, mapas e plataformas de planejamento de viagens ou ferramentas/aplicativos relacionados ao TPUO.

O objetivo dessa etapa é classificar a linha e apresentar seu itinerário no contexto geográfico da cidade, podendo identificar locais com alta concentração de pessoas e trechos com maior ocorrência de congestionamentos.

Nessa fase, também, deve ser obtida tabela horária da linha para todos os dias da semana, incluindo sábados e domingos, a fim de identificar frequências e horários de saída ao longo do dia e permitir a identificação do comportamento da linha a partir da concentração do número de saídas, ou seja, se essas ocorrem em maior intensidade aos finais de semana ou em dias típicos, entre segunda-feira e sexta-feira, fator que tem a função de nortear a escolha do dia, ou dias da semana para os quais se desenvolverá a aplicação do método.

4.2.2.5 F-5 Cálculo dos índices de congestionamento

Na Fase F-5, o MAEC-TP busca identificar a variação de congestionamentos ao longo da operação diária pelo itinerário da linha em análise.

Para um determinado dia da semana escolhido, recomenda-se que a análise seja realizada em todas as semanas de um mês determinado, para o qual se deseje calcular os índices de congestionamento, a fim de obter valores médios e identificar possíveis discrepâncias. A obtenção de dados em apenas uma semana do mês pode coincidir com condições extraordinárias de trânsito que não refletem as condições típicas e podem reduzir a qualidade da análise.

Neste sentido, a Fase F-5 consiste, inicialmente, nas seguintes etapas:

- i. Seccionamento do itinerário em trechos;
- ii. Definição de parâmetro para medir a intensidade dos congestionamentos;

O seccionamento de trechos pode ser feito baseado em sua homogeneidade, presença de acessos e saídas, interseções, ou mesmo por distância quando o itinerário apresenta características semelhantes em toda sua extensão. A quantidade de trechos fica a critério da precisão desejada e da disponibilidade temporal e de recursos do utilizador do método.

Para definir a intensidade dos congestionamentos, pode-se recorrer aos conceitos de densidade ou velocidades em determinada seção, podendo ser utilizadas

pesquisas de campo, monitoramento via câmeras, ou mesmo ferramentas de previsão de tempos de viagem ou condições de tráfego. Os congestionamentos podem ser classificados como nulo, parcial, pleno e severo, em uma escala crescente de intensidade, a qual deve apresentar-se como uma variável quantitativa.

Definidas as etapas preliminares, segue-se com os processos necessários para o cálculo dos índices de congestionamento.

Sejam n trechos ao longo do itinerário da linha analisada, com comprimento q , é necessário definir a intensidade dos congestionamentos, denominada INT . Defina-se também a variável quilometragem total do itinerário Q dada por sentido de operação. Dessa forma, para os comprimentos de trechos e extensão total por sentido, têm-se:

Seja a extensão do itinerário no sentido 1 dado por Q_1 e, no sentido 2, dado por Q_2 , os trechos são definidos pelos índices correspondentes ao trecho e sentido, onde o sentido 1, com seu itinerário total e trechos é demonstrado pela Equação 16 e o sentido 2 é apresentado na Equação 17:

$$Q_1 = q_{1,1} + q_{2,1} + \dots + q_{n,1} \quad (16)$$

$$Q_2 = q_{1,2} + q_{2,2} + \dots + q_{n,2} \quad (17)$$

Essas variáveis de congestionamento devem, preferencialmente, ser obtidas para todo o dia de operação, em t intervalos de tempo, resultando em t valores de INT em cada um dos n trechos.

Deve-se frisar que t depende da precisão buscada e/ou das metodologias aplicadas e seus custos e tempos para execução, ou seja, as medições de congestionamento podem ser feitas a cada 10 minutos, 15 minutos, 30 minutos, ou mesmo algumas horas, sendo o nível de precisão quanto às variações nas condições de tráfego inversamente proporcional ao intervalo de tempo das medições.

Contudo, recomenda-se que os intervalos de tempo para as observações de congestionamento sejam minimamente compatíveis com as frequências da linha analisada, em termos de número de saídas a cada hora. Ou seja, é sugerido que cada intervalo de tempo dividido para analisar os congestionamentos, possua, ao menos, um horário de saída da linha analisada.

Isto é, para uma linha com uma média de saídas a cada 20 minutos, o intervalo de medições de congestionamento recomendado é de, no mínimo, 20 ou 30 minutos, para que, depois, os tempos de viagem relativos a cada saída possam ser confrontados com os índices de congestionamento em cada faixa horária.

Também deve-se indicar que, no caso de mais de uma classificação de congestionamento presente em determinado trecho, deve ser considerada a condição com maior extensão dentro do trecho e, quando não possível, classificar o trecho pela situação mais crítica ou subdividi-lo.

Dessa maneira, em cada horário e sentido, a linha receberá pontuações relativas à variável *INT* em cada trecho. Posteriormente, é calculado o Índice de Congestionamento por horário (*t*) e sentido (1 ou 2), dado por $I_{\text{congest}}(\text{horário}, \text{sentido})$. Esses valores variam de 0 até o valor máximo de *INT* definido para caracterizar um congestionamento severo. O cálculo para I_{congest} em cada horário, para *n* trechos, no sentido 1 é apresentado na Equação 18 e, analogamente, na Equação 19 para o sentido 2.

$$I_{\text{congest}}(t,1) = \frac{\sum_{i=1}^n INT_i \cdot q_i}{Q_1} \quad (\text{adimensional}) \times (\text{km})/(\text{km}) = \text{adimensional} \quad (18)$$

$$I_{\text{congest}}(t,2) = \frac{\sum_{i=1}^n INT_i \cdot q_i}{Q_2} \quad (\text{adimensional}) \times (\text{km})/(\text{km}) = \text{adimensional} \quad (19)$$

Ou seja, para obter o Índice de Congestionamento em uma determinada faixa horária e sentido, calcula-se o somatório da multiplicação de *INT* pela extensão de cada trecho e divide-se esse resultado pela extensão total do itinerário no sentido em questão, remetendo a um cálculo de média ponderada.

Depois, o I_{congest} de cada horário, definido por $I_{\text{congest}1}$, $I_{\text{congest}2}$... $I_{\text{congest}t}$ é obtido da soma dos índices de ambos os sentidos.

A tabulação para obtenção dos dados descritos pode ser verificada no Quadro 6.

Quadro 6 - Tabulação para cálculo do Índice de congestionamento

Trecho	Extensão do trecho Sentido 1	Extensão do trecho Sentido 2	Intervalo 1 Sentido 1	Intervalo 1 Sentido 2	Intervalo 2 Sentido 1	Intervalo 2 Sentido 2	...	Intervalo t Sentido 1	Intervalo t Sentido 2
1	q _{1,1}	q _{1,2}	INT _{1,1}	INT _{1,2}	INT _{2,1}	INT _{2,2}	...	INT _{t,1}	INT _{t,2}
2	q _{2,1}	q _{2,2}	INT _{1,2,1}	INT _{1,2,2}	INT _{2,2,1}	INT _{2,2,2}	...	INT _{t,2,1}	INT _{t,2,2}
...
n	q _{n,1}	q _{n,2}	INT _{1,n,1}	INT _{1,n,2}	INT _{2,n,1}	INT _{2,n,2}	...	INT _{t,n,1}	INT _{t,n,2}
Extensões totais	Q1	Q2	l _{congest 1,1}	l _{congest 1,2}	l _{congest 2,1}	l _{congest 2,2}	...	l _{congest n,1}	l _{congest n,2}
l_{congest}			l_{congest 1}		l_{congest 2}		...	l_{congest t}	

Fonte: Elaboração própria.

Assim, cada intervalo do dia verificado na análise descrita terá um valor de $l_{congest}$ correspondente, e que será utilizado na fase F-7.

4.2.2.6 F-6 Obtenção e organização dos dados de operação

Os dados de operação, em relação aos tempos de viagem, são definidos no Quadro 7. Esses dados referem-se, preferencialmente, a todo o período de operação nos dias designados e devem, quando possível, ser coletados para todas as semanas dos meses definidos para análise.

Quadro 7 - Dados de operação - F-6

Dados de operação da linha analisada
Horário de saída do terminal A
Horário de chegada ao terminal B ou ponto de retorno
Horário de saída do terminal B ou ponto de retorno
Horário de chegada ao terminal A

Fonte: Elaboração própria.

O intuito dessa etapa é obter e organizar os dados descritos. Esse processo depende da disponibilidade de dados do sistema de TPUO ao qual o método é aplicado, mas também podem ser obtidos por meio de pesquisa de campo, como viagens monitoradas ao longo do dia ou em horários específicos compatíveis com a obtenção dos dados de congestionamentos.

Os dados descritos no Quadro 7 são utilizados para determinar os tempos de viagem. Recomenda-se que os dados de tempo sejam organizados em ordem cronológica, para posterior análise temporal dentro de um dia de operação.

4.2.2.7 F-7 Estabelecimento da relação tempos de viagem x congestionamento

Após a obtenção dos índices de congestionamentos e dados de operação da linha analisada para os dias e meses designados, procede-se para o estudo das relações entre congestionamentos e tempos de viagem, sendo esta fase dividida em duas etapas.

A primeira etapa refere-se ao cálculo dos tempos de viagem da linha, por sentido, ao longo do período de dados obtidos, resultantes das diferenças entre os horários de saída e chegada dos veículos, conforme o Quadro 7.

Após calculados todos os tempos de viagem, deve ser realizado tratamento estatístico relativo à identificação e exclusão de *outliers*, dados estes que podem ser, no caso de valores exageradamente altos, frutos de eventos atípicos na viagem, como quebra de veículos, acidentes na rota, vésperas de feriados ou mesmo erros de registro dependendo da forma de monitoramento da frota.

No caso de valores notadamente baixos, esses podem se referir a erros de registro, ou mesmo condições atipicamente positivas para o tráfego dos ônibus.

Após o tratamento estatístico citado e possível limpeza da base de tempos de viagem calculados, realiza-se o cálculo das médias desses valores ao longo do mês para cada horário de saída, por sentido, obtendo os tempos de viagem médios definidos por Tvs (tempo de viagem por sentido), referentes aos sentidos 1 e 2 em t horários.

$$Tvs_{1,1}, Tvs_{1,2}, \dots, Tvs_{1,t} \text{ e } Tvs_{2,1}, Tvs_{2,2}, \dots, Tvs_{2,t}$$

A segunda etapa consiste em relacionar os tempos de viagem médios com os índices de congestionamentos calculados anteriormente, sendo este o principal produto do MAEC-TP.

Primeiramente, deve-se identificar as saídas da linha analisada em cada um dos intervalos determinados em F-5. No caso de mais de uma saída dentro do mesmo intervalo, deve-se considerar o valor médio entre essas. Depois, as saídas dentro de cada intervalo, para cada sentido, devem ser somadas. Assim, para cada intervalo, será relacionado um índice de congestionamento, relativo a todo o itinerário da linha

nos dois sentidos, ao tempo total gasto para realizar as viagens nos dois sentidos de operação.

Deve-se destacar que a soma dos tempos de viagem por sentido, dentro de cada intervalo de tempo definido, não representa, necessariamente, o tempo de ciclo da linha para aquele horário. Isso se deve ao fato de a intensidade dos congestionamentos ser avaliada por intervalos de tempo possivelmente curtos, e ao calcular o tempo de ciclo, as viagens podem ser alocadas em correspondências de índice de congestionamentos muito distantes do horário em que foram alocados, descaracterizando a análise buscada.

Como o intuito dessa etapa do método é avaliar os efeitos dos congestionamentos nos tempos de deslocamento dos ônibus, percebeu-se que avaliar a soma dos tempos de viagem para saídas nas duas extremidades da linha na mesma faixa horária representa simultaneamente tais efeitos na linha nos dois sentidos e, qualquer perturbação no sentido 1 ou sentido 2, acarretará mudanças no tempo de ciclo e, conseqüentemente, no sistema como um todo.

Assim, a relação entre congestionamentos e tempos de viagem pode ser calculada a partir da tabulação de dados apresentada Quadro 8.

Quadro 8 - Relação Tempos de viagem x Índices de congestionamento

INTERVALOS	TEMPOS MÉDIOS DE VIAGEM - SENTIDO 1 ($Tvs_{1,t}$)	TEMPOS MÉDIOS DE VIAGEM - SENTIDO 2 ($Tvs_{2,t}$)	TEMPOS MÉDIOS TOTAIS DE VIAGEM (Tvm)	$I_{congest}$
1	$Tvs_{1,1}$	$Tvs_{2,1}$	$Tvs_{1,1} + Tvs_{2,1}$	$I_{congest 1}$
2	$Tvs_{1,2}$	$Tvs_{2,2}$	$Tvs_{1,2} + Tvs_{2,2}$	$I_{congest 2}$
3	$Tvs_{1,3}$	$Tvs_{2,3}$	$Tvs_{1,3} + Tvs_{2,3}$	$I_{congest 3}$
...
t	$Tvs_{1,t}$	$Tvs_{2,t}$	$Tvs_{1,t} + Tvs_{2,t}$	$I_{congest t}$

Fonte: Elaboração própria.

Finalmente, sejam os tempos totais de deslocamento denominados Tvm , os resultados obtidos no Quadro 8 possibilitam estabelecer a seguinte relação:

$$Tvm = f(I_{congest})$$

Assim, deve ser verificada a correlação entre as variáveis e, posteriormente, realizar o ajuste de uma curva para descrever a relação, onde, para o dia, mês e linha analisada, verifique-se a ocorrência de congestionamentos intensos e seu impacto sobre os tempos de viagem.

4.2.2.7 F-8 Resultados e Conclusões

Na última etapa do MAEC-TP, utiliza-se a relação entre congestionamentos e os tempos de viagem, estabelecida na fase F-7, para realizar as análises relativas ao objeto de estudo definido em F-1.

Posteriormente, são apresentados os resultados que devem, quando aplicável, responder às perguntas realizadas quando da definição do objeto de estudo, apresentando, por fim, conclusões acerca das análises desenvolvidas.

5 DEMONSTRAÇÃO DA APLICABILIDADE DO MAEC-TP

5.1 DEFINIÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO

Inicialmente, convém citar que o MAEC-TP aborda um problema que pode ser observado em diversas áreas urbanas, podendo ser utilizado para análises em variadas cidades.

Conforme apresentado em 4.2.2.1, a primeira fase do MAEC-TP consiste em definir um objeto para o qual o estabelecimento da relação entre congestionamentos e uma linha de TPUO analisada será aplicado. Dessa forma, optou-se por demonstrar a aplicabilidade do método para um estudo de faixa exclusiva para ônibus e sua operação em relação ao dimensionamento de frota.

De maneira geral, aumentos nos tempos de viagem causam aumentos no tempo de ciclo, principal variável no dimensionamento de frotas, dada uma determinada frequência. Tais incrementos podem culminar no aumento da frota necessária para operação, o que leva a maiores custos.

Maiores custos com a operação do sistema podem resultar em maiores tarifas, chegando à ponta do sistema, o usuário. Logo, maiores tarifas podem desestimular o uso do TPUO, causando decréscimos na demanda e possíveis novos aumentos de tarifa e novas perdas de demanda, como visto no Capítulo 2, tornando o TPUO pouco competitivo em relação a alternativas de deslocamento.

Diante disso, foram estudados possíveis efeitos de ações de priorização do transporte público coletivo frente ao dimensionamento de frotas, investigando a hipótese de que com a implantação de faixas exclusivas em determinados trechos de um itinerário, mais do que ganhos em velocidade e tempos de viagem, pode haver reduções no número de veículos da frota operacional.

Portanto, o Capítulo 5 é pautado em estabelecer uma área de estudo, uma linha a ser analisada, obtenção dos dados necessários às análises descritas no Capítulo 4, resultando em uma curva que expresse os tempos de viagem da linha analisada em função dos índices de congestionamento calculados para que, ao final, seja avaliado o cenário atual e um cenário hipotético com faixas exclusivas a fim de responder a

seguinte questão: com a implantação de faixas exclusivas, quais são os possíveis ganhos em termos de tempo de viagem, dimensionamento de frota, e velocidade operacional?

5.2 DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

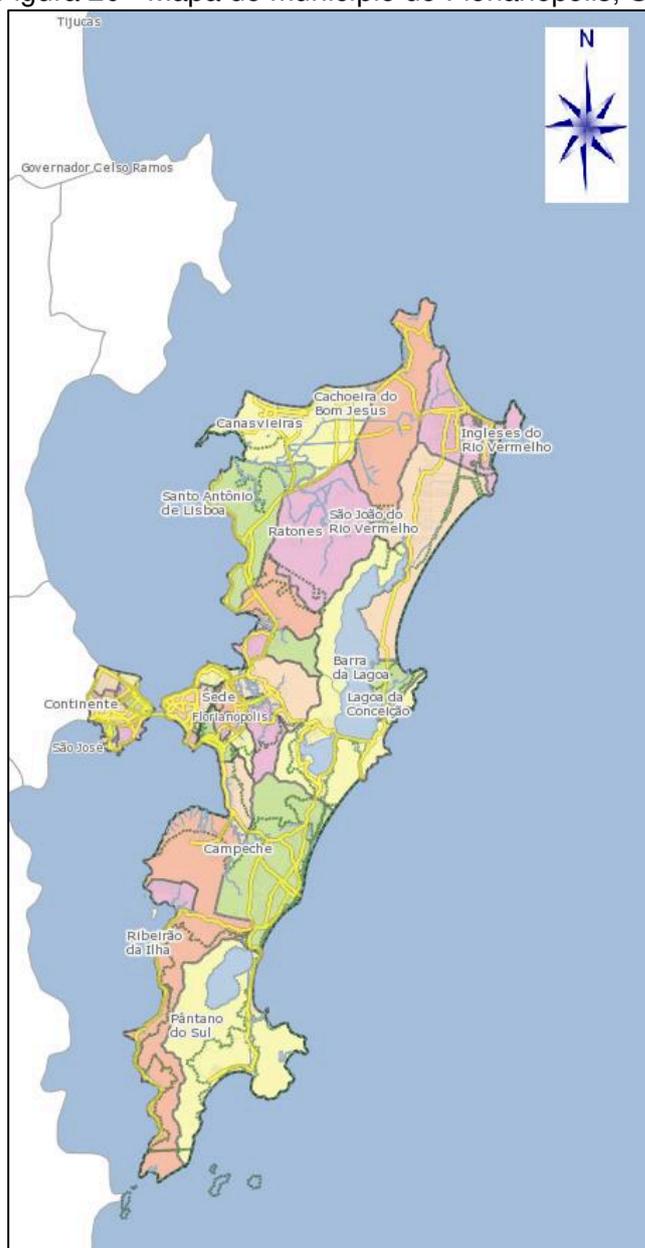
Para aplicação do MAEC-TP, escolheu-se a cidade de Florianópolis, SC, onde se observa corriqueiramente a ocorrência de congestionamentos, nos quais são incluídos os veículos do TPUO.

5.2.1 Aspectos gerais do município de Florianópolis

De acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2019), referentes a dezembro de 2019, o município de Florianópolis, capital do Estado de Santa Catarina, possui uma população estimada em 500.973 habitantes em uma área de 674,844 km², resultando em uma densidade demográfica de 742,35 habitantes/km, sendo sede da Região Metropolitana de Florianópolis com população estimada de 1.189.947 habitantes.

A Figura 20 apresenta mapa de Florianópolis com identificação de seus distritos. A cidade possui uma porção continental e a maioria do seu território e população habitante corresponde à Ilha de Santa Catarina, sendo a ligação principal entre ilha e continente realizada pelas pontes Colombo Salles e Pedro Ivo Campos, além da ponte Hercílio Luiz, reinaugurada em janeiro de 2020, recebendo, até então, a operação de algumas linhas de ônibus e a circulação de ciclistas, pedestres e veículos oficiais autorizados.

Figura 20 - Mapa do município de Florianópolis, SC

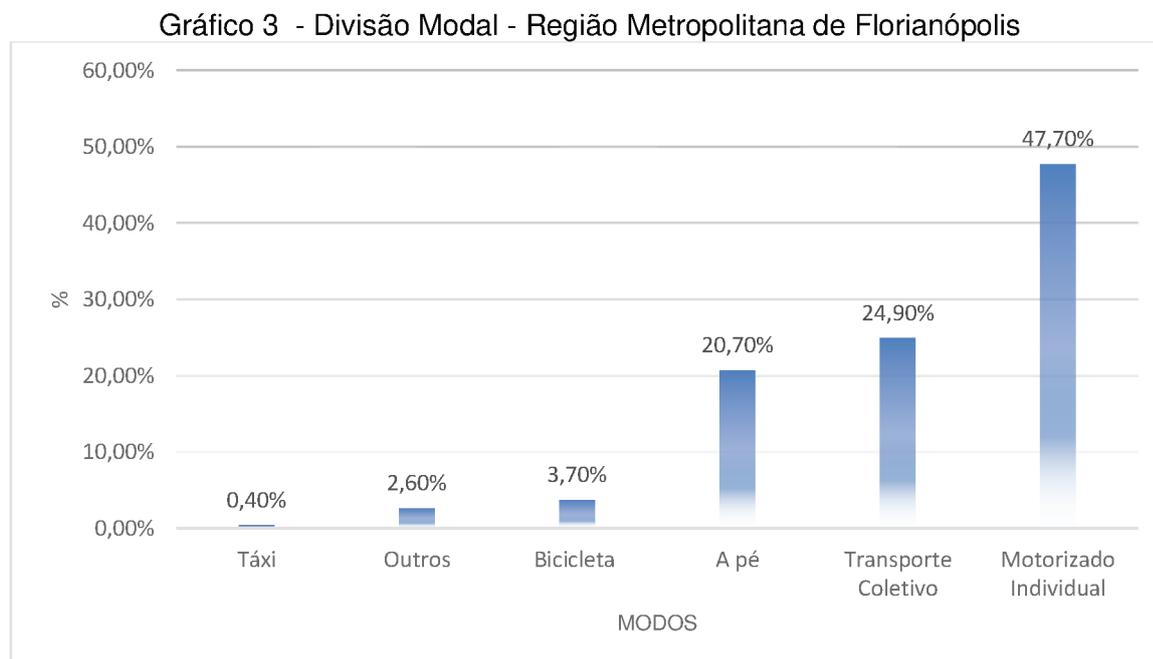


Fonte: Florianópolis (2019).

Em relação à mobilidade, dados referentes a julho de 2018 do Departamento Estadual de Trânsito de Santa Catarina – DETRAN-SC (2018), apontam para uma frota de 226.852 automóveis e 45.853 motocicletas.

O Plano de Mobilidade Urbana Sustentável da Grande Florianópolis – PLAMUS, por meio de Pesquisa de Origem e Destino realizada em 2014, identificou um volume de 1.790.700 viagens diárias, com uma divisão modal que apresenta 47,7% das viagens realizadas por veículo motorizado individual, 24,9% por transporte coletivo, 20,7% a pé, 3,7% por bicicleta, 2,6% por outros modos e 0,4% por táxis,

conforme mostra o Gráfico 3, no qual nota-se a significativa preferência pelo uso do transporte motorizado individual.

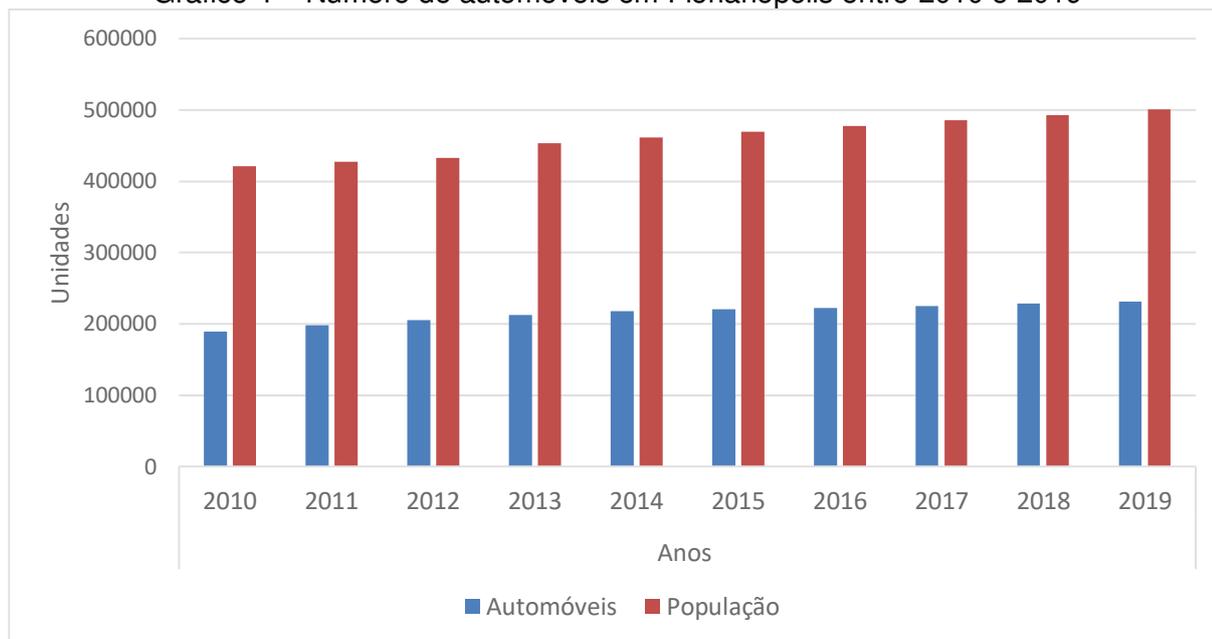


Fonte: Elaboração própria. Dados: PLAMUS (2014).

O Gráfico 4 apresenta a evolução do número de automóveis (DETRAN-SC, 2020). e da população (IBGE, 2019) apenas para o município de Florianópolis, entre os anos de 2010 e 2019. No primeiro ano, o município continha registro de 189. 008 veículos e, para o ano de 2019, este montante chega a 231.683 automóveis, representando um aumento de 22,58% no período verificado (DETRAN-SC, 2020).

Já a população, apresentava, em 2010, um número de 421.240 habitantes e, em 2019, o IBGE estimou uma população de 500.973 habitantes, representando um incremento de 18,93% no período. Verifica-se, dessa forma, taxas de crescimento semelhantes em sua ordem de grandeza entre a população e o número de automóveis nos últimos dez anos, porém, apontando um crescimento maior do número de automóveis.

Gráfico 4 – Número de automóveis em Florianópolis entre 2010 e 2019



Fonte: Elaboração própria. Dados: DETRAN-SC (2020) e IBGE (2019).

5.2.2 TPUO Florianópolis

Em setembro de 2013, a Prefeitura Municipal de Florianópolis (PMF) promoveu o lançamento de edital de licitação do TPUO no município, determinando a operação deste sistema por uma única concessionária (CONSÓRCIO FÊNIX, 2019).

Partindo disso, as empresas Canasvieiras, Emflotur, Estrela, Insular e Transol formaram o Consórcio Fênix (CF) e apresentaram proposta conjunta, sendo essa homologada como vencedora do processo licitatório, assumindo os compromissos do sistema a partir de abril de 2014, iniciando as operações em novembro do mesmo ano, segundo informações do site do Consórcio.

O sistema é constituído por 202 linhas divididas conforme o Quadro 9 e seis terminais de integração:

- a) TICAN – Terminal de Integração de Canasvieiras.
- b) TICEN – Terminal de Integração do Centro.
- c) TILAG – Terminal de Integração da Lagoa da Conceição.
- d) TIRIO – Terminal de Integração do Rio Tavares.
- e) TISAN – Terminal de Integração de Santo Antônio de Lisboa
- f) TITRI – Terminal de Integração da Trindade.

Quadro 9 - Linhas do sistema de TPUO - Florianópolis

Linhas do sistema de TPUO - Florianópolis	
Tipo de linha	Número de linhas
Alimentadoras TICAN	24
Alimentadoras TICEN	46
Alimentadoras TILAG	4
Alimentadoras TIRIO	15
Alimentadoras TISAN	7
Alimentadoras TITRI	25
Executivas	25
Inter-regionais	29
Troncais (Inter terminais)	27
Total	202

Fonte: Elaboração própria. Dados: Consórcio Fênix (2019).

5.3 DEFINIÇÃO DA LINHA A SER ANALISADA

Com o intuito de definir uma linha para aplicação do método, foi realizado um levantamento básico de informações de dados relativos às frequências, horários previstos de saída e itinerários do sistema de TPUO de Florianópolis verificando, inclusive, linhas com passagem por trechos com observação recorrente de congestionamentos.

Assim, optou-se pela aplicação do MAEC-TP na Linha 320 (TILAG-TICEN via Beira Mar), na qual TILAG corresponde ao Terminal Integração da Lagoa da Conceição e TICEN consiste na sigla do Terminal de Integração do Centro, enquanto Beira Mar remete à Avenida Beira Mar Norte, correspondente às avenidas Jornalista Rubens de Arruda Ramos e Governador Irineu Bornhausen, uma das principais avenidas do município.

5.4 OBTENÇÃO DOS DADOS DA LINHA

Segundo informações do Consórcio Fênix, a linha é do tipo Troncal, ou seja, de acordo com a definição de Ferraz e Torres (2004), realiza o transporte de uma região à outra em um corredor que apresenta grande concentração de demanda.

Observa-se que a Linha 320 apresenta essa característica, pois além de possuir itinerário que compreende alta concentração de passageiros, realiza a ligação entre diferentes regiões (Centro e Lagoa da Conceição) a partir de viagens entre ambos os terminais de integração.

O itinerário possui 17 paradas entre os Terminais no sentido TILAG-TICEN e 23 paradas no sentido TICEN-TILAG, além de parada no TITRI – Terminal Integração Trindade, em ambos os sentidos.

A Linha 320 possui extensão de 16,7 km no sentido TILAG-TICEN e 15,9 km no sentido TICEN-TILAG, totalizando 32,6 km e suas rotas podem ser verificadas na Figura 21. Nota-se que além da Avenida Beira Mar Norte, as rotas contemplam o atendimento à Avenida Professor Henrique da Silva Fontes (continuação da Avenida Beira Mar Norte), Avenida Paulo Fontes, Avenida Madre Benvenuta e Rodovia Admar Gonzaga (SC-404), importantes vias do município.

Figura 21 - Rotas da Linha 320 (TILAG-TICEN via Beira Mar)



Fonte: Adaptado de Consórcio Fênix (2019).

Posteriormente, foram coletados os horários de saída de ônibus da linha analisada. Tais horários foram obtidos no site do Consórcio Fênix, conforme o Quadro 10, Quadro 11, Quadro 12 e Quadro 13.

Quadro 10 - Horários de saída - TICEN - Linha 320 (dias úteis)

Dias Úteis - Saída TICEN				
06:18	06:50	07:16	07:40	08:02
08:15	08:35	09:11	09:39	10:10
10:15	10:40	11:05	11:30	11:42
11:55	12:15	12:36	13:00	13:06
13:25	13:36	13:55	14:08	14:40
15:10	15:35	16:00	16:15	16:30
16:45	16:55	17:21	17:50	18:16
18:32	18:44	19:00	19:09	19:23
19:49	20:08	20:30	20:48	21:25
22:05	22:10	22:40		

Fonte: Consórcio Fênix (2019).

Quadro 11 - Horários de saída - TILAG - Linha 320 (dias úteis)

Dias Úteis - Saída TILAG				
06:15	06:38	06:57	07:05	07:27
07:38	07:50	08:00	08:25	08:48
09:10	09:23	09:55	10:22	10:54
11:24	11:50	12:14	12:35	12:53
13:02	13:27	13:35	13:50	14:20
14:33	14:51	15:00	15:23	15:33
15:56	16:21	16:47	17:05	17:17
17:43	18:21	18:37	19:07	19:37
19:55	20:11	20:48	21:28	22:00

Fonte: Consórcio Fênix (2019).

Quadro 12 - Horários de saída - Linha 320 (sábados)

Sábados - Saída TICEN				
08:45	09:25	10:15	11:05	12:28
13:05	13:52	14:36	15:24	16:12
17:00	18:05	18:32	19:55	20:53
22:00	22:16	23:00		
Sábados - Saída TILAG				
08:05	09:35	10:14	10:55	11:50
13:15	13:50	14:38	15:26	16:14
17:02	17:50	19:15	20:08	21:14
22:20				

Fonte: Consórcio Fênix (2019).

Quadro 13 - Horários de saída - Linha 320 (domingos e feriados)

Domingos e Feriados - Saída TICEN				
09:30	11:30	13:30	14:35	15:30
16:35	17:35	18:35	19:35	20:35
21:30	22:30	23:20		
Domingos e Feriados - Saída TILAG				
10:20	12:20	14:20	15:20	16:19
17:28	18:15	19:20	20:24	21:20
22:19				

Fonte: Consórcio Fênix (2019).

Com essas informações disponíveis, definiu-se a quarta-feira como dia escolhido para aplicação do MAEC-TP. Essa escolha foi baseada na função exercida pela Linha 320, que liga duas regiões distintas do município, com uma frequência média de aproximadamente 3 saídas por hora, por sentido.

Também se verificou que a linha apresenta um maior número de saídas do TILAG pela manhã, sendo 10 saídas entre às 06h00min e 09h00min, enquanto que do TICEN são 10 saídas entre 18h00min e 21h00min, apresentando um comportamento típico de um deslocamento pendular ao longo do dia, frequentemente observado em viagens motivadas a estudo e, principalmente, trabalho, ocorrências predominantemente em dias típicos de semana como uma quarta-feira.

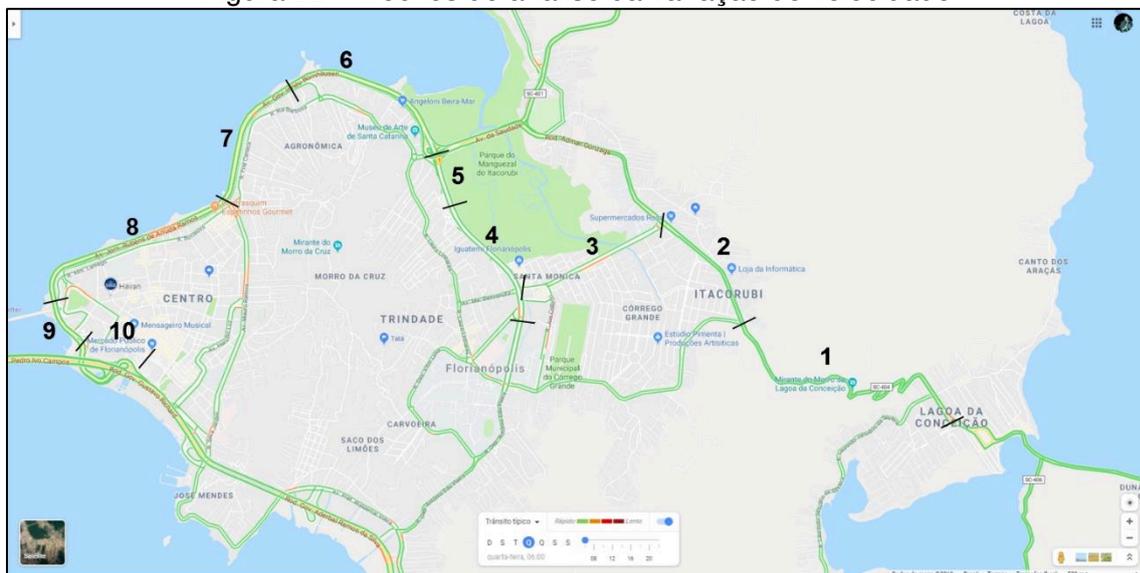
5.5 CÁLCULO DOS ÍNDICES DE CONGESTIONAMENTO

Obtidas as informações básicas do sistema e da Linha 320, procedeu-se com coleta de dados acerca de informações específicas sobre a ocorrência de congestionamentos em Florianópolis em relação ao itinerário da linha analisada e cuja metodologia empregada é descrita a seguir.

Inicialmente, a rota foi dividida em trechos. O critério utilizado para esses seccionamentos foi a homogeneidade de trechos no sistema viário que não apresentassem acessos ou saídas que pudessem ter grande impacto no fluxo das vias pelas quais os veículos do TPUO se deslocam, ou seja, acessos à marginais e interseções com vias de grande fluxo foram os principais limitadores dos trechos.

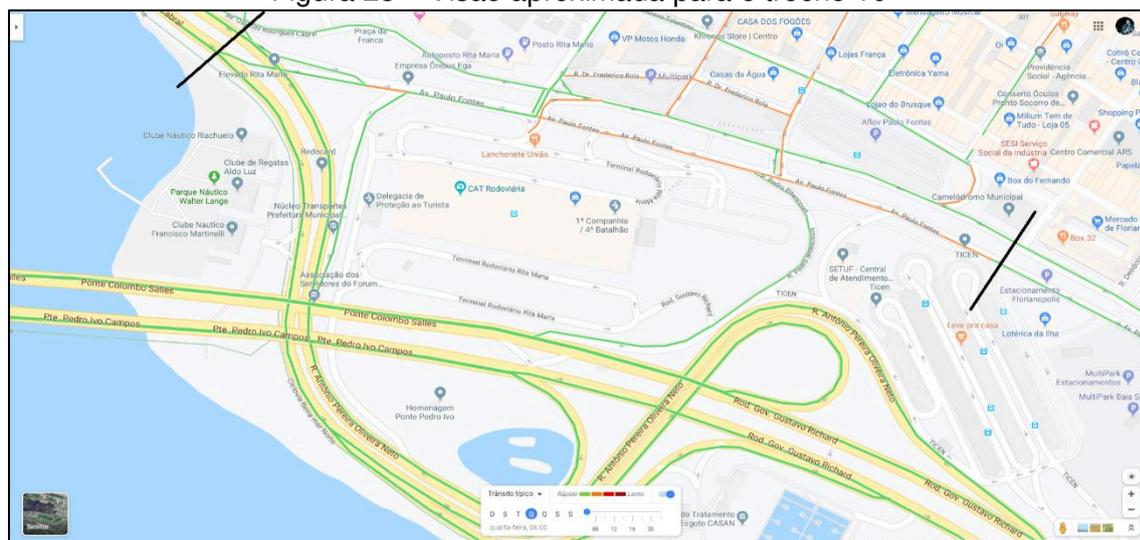
Os trechos alocados podem ser verificados na Figura 22 e, na Figura 23, pode ser verificado o trecho 10 especialmente, pois sua configuração dificulta a visualização das condições de trânsito nas capturas de tela do cenário completo da Figura 22. Além disso, o Quadro 14 apresenta as informações gerais com os limitadores de cada trecho e seu comprimento.

Figura 22 - Trechos de análise da variação de velocidade



Fonte: Adaptado de *Google Maps* (2019).

Figura 23 – Visão aproximada para o trecho 10



Fonte: Adaptado de Google Maps (2019).

Quadro 14 – Trechos de análise de variação de trânsito – Linha 320

Ordem	Extremidade 1	Extremidade 2	Comprimento
1	TILAG	Rod. Admar Gonzaga (acesso R. Vera Linhares de Andrade)	3500 m
2	Rod. Admar Gonzaga (acesso R. Vera Linhares de Andrade)	Av. Madre Benvenuta	1300 m
3 ⁴	Av. Madre Benvenuta	Av. Prof. Henrique da Silva Fontes/ R. Prof. Maria Flória Pausewang	1600 m/2100 m
4 ⁵	Av. Prof. Henrique da Silva Fontes/Acesso R. Prof. Maria Flória Pausewang	TITRI	1200 m/1400 m
5	TITRI	Av. da Saudade	900 m
6 ⁶	Av. da Saudade	Acesso R. Dr. Albert Sabin	1900 m
7	Acesso R. Dr. Albert Sabin	Acesso Av. Mauro Ramos	1400 m
8	Acesso Av. Mauro Ramos	Av. Osvaldo Rodrigues Cabral	1600 m
9	Av. Osvaldo Rodrigues Cabral	Av. Paulo Fontes/ Elevado Francisco Dias Velho	1400 m / 1200m
10 ⁷	Av. Paulo Fontes /Elevado Francisco Dias Velho	TICEN	700 m / 900m

Fonte: Elaboração própria.

⁴ O trecho 3, para o sentido TILAG-TICEN inicia-se no acesso à Av. Madre Benvenuta e termina no acesso à Av. Prof. Henrique da Silva Fontes. Já no sentido TICEN-TILAG, inicia-se na saída da R. Prof. Maria Flória Pausewang e tem seu fim na interseção entre a Av. Madre Benvenuta e a Rod. Admar Gonzaga.

⁵ O trecho 4, para o sentido TILAG-TICEN inicia-se no acesso à Av. Prof. Henrique da Silva Fontes e termina no TITRI. No caso do sentido TICEN-TILAG, inicia-se no TITRI e termina na saída da R. Prof. Maria Flória Pausewang em seu retorno para a Av. Prof. Henrique da Silva Fontes em direção à R. Byron Barcellos.

⁶ Nos trechos 6, 7 e 8, no sentido TICEN-TILAG, todo o itinerário é realizado pelas vias marginais, onde encontram-se os pontos de parada. No trecho 6 corresponde à Rua Paschoal Apóstolo Pitsica e, em parte do Trecho 7, à Rua Cmte. Constantino Nicolau Spyrides.

⁷ O trecho 10, no sentido TILAG-TICEN inicia-se na Av. Paulo Fontes e vai até o TICEN e, no sentido contrário, tem início no TICEN, com saída para a R. Antônio Pereira Oliveira Neto em direção ao Elevado Francisco Dias Velho, com término no acesso à Av. Osvaldo Rodrigues Cabral.

Depois, foram buscados dados que permitissem realizar estimativa de congestionamentos no itinerário da Linha 320. Para isso, utilizou-se o *Google Maps*, ferramenta online que permite verificar as condições de trânsito em tempo real, além de traçar rotas de viagens e mostrar itinerários e horários de transporte público coletivo.

De acordo com Barth (2009), a partir da ferramenta de localização por GPS ativada em smartphones que possuam o *Google Maps*, o telefone envia dados anônimos ao *Google*, indicando a velocidade de deslocamento. Esses valores combinados entre diversos usuários permitem obter as projeções de tráfego para cálculo de tempos de viagem, bem como as velocidades em cada trecho e, quanto mais usuários, maior a precisão da plataforma. Este processo é chamado pelo autor de *crowdsourcing*⁸.

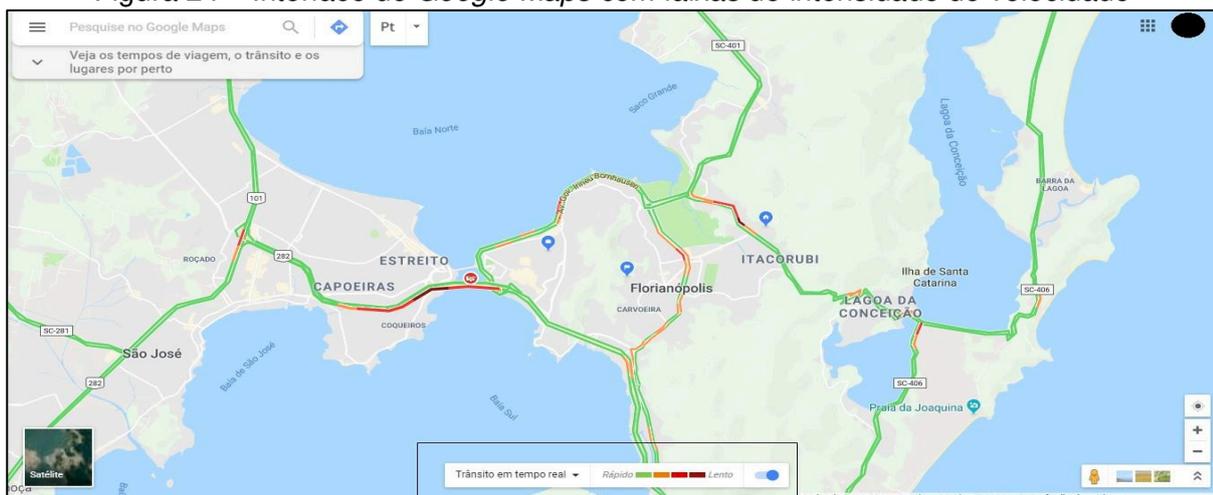
Brindle (2014) afirma que a partir de 2013, com a compra do aplicativo *Waze*⁹, o *Google Maps* passou a contar com o elemento humano em suas estimativas, a partir do caráter colaborativo do primeiro, no qual os usuários podem reportar acidentes, congestionamentos, veículos parados na pista, entre outros.

O *Google Maps* trabalha com faixas de velocidade do tráfego, representando-as por meio de quatro cores distintas: verde, laranja, vermelho e marrom, onde verde representa as melhores condições, ou seja, maiores velocidades, e marrom demonstra trechos com intensa lentidão, como pode-se verificar na Figura 24.

⁸ Crowdsourcing em tradução livre pode ser entendido como o abastecimento ou obtenção (*sourcing*) de dados a partir de serviços utilizados por um grande número de pessoas (*crowd*) pagos, ou não, geralmente via internet.

⁹ O *Waze* é um aplicativo semelhante ao *Google Maps*, cujo principal objetivo é a estimativa de tempos de viagem, porém, com caráter colaborativo, no qual usuários podem alertar acidentes, obras, veículos com defeito parados na pista, melhores rotas, problemas no mapa, entre outros. Além disso, ao passar por um evento reportado, usuários são perguntados se o mesmo ainda está ocorrendo, para fins de atualização na plataforma.

Figura 24 – Interface do *Google Maps* com faixas de intensidade de velocidade



Fonte: Adaptado de Google Maps (2019).

Além das funções descritas, o *Google Maps* também dispõe da possibilidade de verificação das condições de tráfego ao longo do dia, denominado pela ferramenta como “Trânsito típico”, que varia de domingo a sábado, das 06h00min às 22h00min. Contudo, deve-se citar que os dados são acumulados, ou seja, representam as condições típicas de tráfego até o momento em que se consulta a ferramenta, não havendo a possibilidade de se averiguar um mês específico passado, mas sim a condição atual baseada nos dados acumulados.

Mesmo com a limitação citada, para a aplicação do método proposto e fins didáticos de demonstração nesse trabalho, a função “Trânsito típico” demonstrou-se como a mais simples, efetiva e menos custosa para determinação das intensidades de congestionamento ao longo do dia.

Ressalta-se que o parâmetro velocidade para medir a intensidade de congestionamentos corrobora com as teorias de fluxo de tráfego, apresentadas no Capítulo 2, onde identifica-se, pelos diagramas de Greenshields, que menores velocidades se relacionam com densidades maiores e espaçamentos menores entre veículos, caracterizando condições de congestionamento, assim como situações de maior liberdade para escolha de velocidades remetem a condições de fluxo livre.

Dessa forma, foram obtidas as variações ao longo de todo o período disponível pelo *Google Maps* para o trânsito típico das quartas-feiras, com dados acumulados até setembro de 2019. O processo se deu pela execução de capturas de telas da

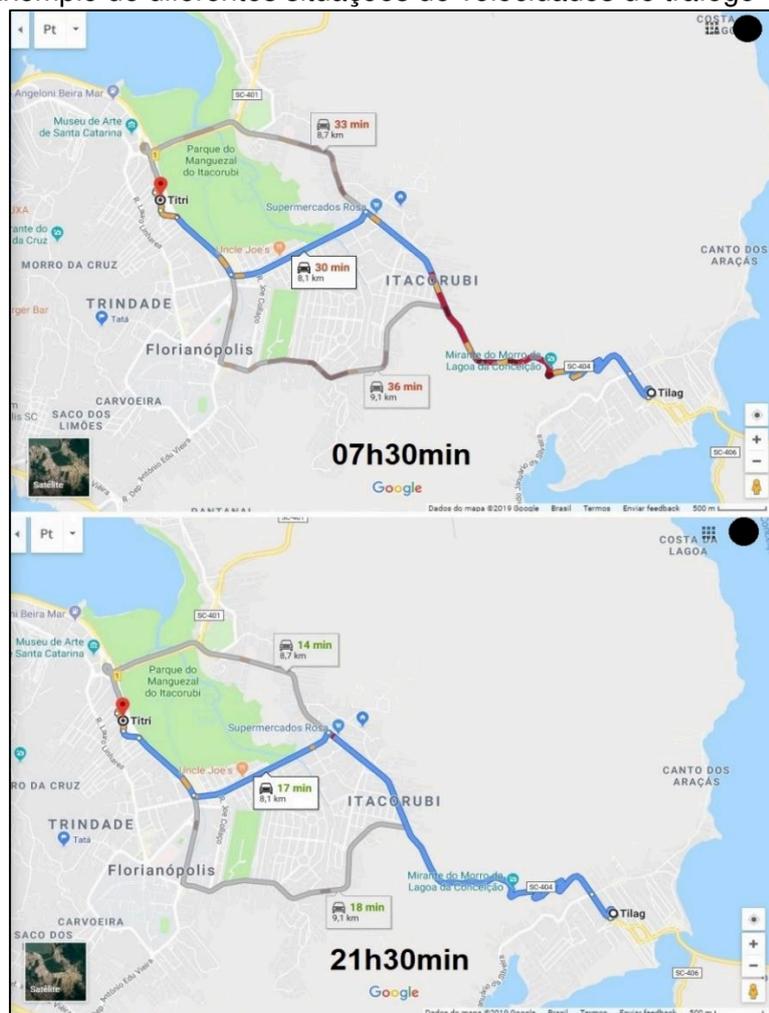
plataforma a cada 30 minutos, resultando em 33 imagens do sistema viário pelo qual a Linha 320 se desloca.

O objetivo desses dados é permitir estabelecer, baseado nas condições de trânsito apresentadas, as variações ao longo do dia e calcular os índices de congestionamentos para cada trecho.

Conforme já citado, para identificar as diferentes intensidades de congestionamentos nos trajetos realizados pela Linha 320, foram realizadas observações no *Google Maps*, relativas às quartas-feiras, por meio das variações típicas de velocidades do tráfego entre 06h00min e 22h00min, totalizando 33 capturas de tela, contemplando diferentes cores das vias conforme as condições de tráfego iam se alterando.

Para exemplificar as diferentes situações ao longo do dia, a Figura 25 apresenta o trecho TILAG-TITRI às 07h30min e às 21h30min, onde observa-se, visualmente, que no primeiro horário, as condições de velocidade de tráfego são significativamente piores que no segundo. Todas as capturas de tela são apresentadas no APÊNDICE A.

Figura 25 – Exemplo de diferentes situações de velocidades de tráfego – *Google Maps*



Fonte: Elaboração própria. Dados: *Google Maps* (2019).

Foi necessário, ainda, buscar a correspondência das cores apresentadas no *Google Maps* com as velocidades medidas e, depois, considerar uma velocidade para calcular um peso para cada cor. O Quadro 15 apresenta, na segunda coluna, os valores correspondentes às cores e, na terceira, indica os valores considerados.

No caso dos extremos, verde e marrom, o valor considerado foi o máximo de 80 km/h e o mínimo de 0 km/h, respectivamente, enquanto que para a cor laranja o valor considerado foi a média entre 40 e 80, resultando em 60 km/h e, por fim, para o vermelho, o valor obtido foi a média entre 0 e 40, ou seja, 20 km/h.

Quadro 15 - Faixas de velocidade para cada cor - *Google Maps*¹⁰

Cor	Faixa de Velocidade (km/h)	Valor considerado
Verde	80 - acima	80
Laranja	40 - 80	60
Vermelho	0 - 40	20
Marrom	0	0

Fonte: Elaboração própria. Dados: Techwalla (2019).

A partir desses valores, elaborou-se um sistema de pontuação simples, denominado de “grau de impedimento”, ou seja, quanto cada cor representa na diminuição de velocidade.

Conforme a classificação adotada para a intensidade de congestionamentos definido em 4.2.2.5, as cores verde, laranja, vermelho e marrom representam, respectivamente, condições de congestionamento nulo, parcial, pleno e severo.

Dessa forma, para a cor verde, com velocidade considerada máxima, atribuiu-se o peso de 0, enquanto a cor marrom, com velocidade considerada mínima, o peso atribuído foi de 1. Considerou-se que na melhor situação, cor verde, a velocidade de tráfego é livre, ao contrário da pior situação, cor marrom, que representa velocidade tendendo a zero.

Em relação às cores intermediárias, considerou a proporção de cada valor de velocidade considerado no Quadro 15 em relação ao valor máximo de 80 km/h, ou seja, a velocidade média de 60 km/h representa 75% da velocidade máxima e, com isso, seu grau de impedimento resulta em 0,25. Analogamente, a velocidade média de 20 km/h caracteriza 25% da velocidade máxima e, assim, seu grau de impedimento é de 0,75. O resumo da pontuação descrita é apresentado na Figura 26.

¹⁰ Os valores considerados foram assim tratados, uma vez que a Linha 320 possui, em sua rota, vias com velocidade máxima permitida em 80 km/h. Para casos em que as velocidades máximas estabelecidas sejam menores, podem ser observados e considerados outros valores para o cálculo dos graus de impedimento intermediários, uma vez que os valores limítrofes poderão ser sempre considerados 0 e 1, não se esperando, contudo, que os valores de 0,25 e 0,75 sofram grandes alterações, devido a proporcionalidade esperada no sistema de cores do *Google Maps*.

Figura 26 – Pontuação de graus de impedimento - *Google Maps*

Graus de impedimento			
0	0,25	0,75	1

Fonte: Elaboração própria.

A partir deste sistema, para cada horário analisado, a cada 30 minutos, foi realizada uma observação visual visando à identificação da cor predominante em cada um dos 10 trechos determinados para essa análise, por sentido. Dessa forma, para cada par de trecho e horário, uma pontuação foi designada, resultando em 10 pontuações por horário.

Utilizando a Equação 13, cada pontuação atribuída a um trecho e horário foi multiplicada pelo comprimento, em quilômetros, do trecho respectivo de acordo com o Quadro 14 e este produto fora dividido pela extensão total do sentido de operação, obtendo-se o $I_{congest}$ para um desses. Posteriormente, cada $I_{congest}$, para cada intervalo, foi somado, resultando no $I_{congest}$ respectivo. Cabe citar que as Equações 17 e 18 estão embutidas na planilha de cálculo para obtenção dos $I_{congest}$.

A Figura 27 (entre 06h00min e 11h30min), Figura 28 (entre 12h00min e 17h30min) e Figura 29 (entre 18h00min e 22h00min) demonstram o processo, com as pontuações representadas pelas cores conforme a Figura 26, e os cálculos de $I_{congest}$ por horário e por sentido.

Deve-se citar que, como o maior grau de impedimento, relativo a um congestionamento severo, tem o valor de 1, esse é o valor máximo de $I_{congest}$, por sentido. Para os dois sentidos em uma mesma faixa horária, evidentemente, o valor de $I_{congest}$ pode corresponder no máximo a 2.

Posteriormente, também foram identificados os trechos mais congestionados a partir da soma das pontuações de todos os horários, que consistiram nos trechos, em ordem, 7, 6 e 8 com as pontuações de 16,5, 10 e 9,25, respectivamente, em uma escala que, pela quantidade de trechos, varia de 0 a 20.

Figura 27 - Pontuação por horário, trecho e sentido - análise de pico (06h00min-11h30min)

TRECHO	06:00:00 - SAÍDA TICEN	06:00:00 - SAÍDA TILAG	06:30:00 - SAÍDA TICEN	06:30:00 - SAÍDA TILAG	07:00:00 - SAÍDA TICEN	07:00:00 - SAÍDA TILAG
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
Icngest (1,2)	0,0000	0,0113	0,0113	0,0000	0,0113	0,0000
Icngest		0,0113		0,0113		0,0677
TRECHO	07:30:00 - SAÍDA TICEN	07:30:00 - SAÍDA TILAG	08:00:00 - SAÍDA TICEN	08:00:00 - SAÍDA TILAG	08:30:00 - SAÍDA TICEN	08:30:00 - SAÍDA TILAG
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
Icngest (1,2)	0,0448	0,2242	0,0417	0,2548	0,0000	0,1113
Icngest		0,2689		0,2965		0,1113
TRECHO	09:00:00 - SAÍDA TICEN	09:00:00 - SAÍDA TILAG	09:30:00 - SAÍDA TICEN	09:30:00 - SAÍDA TILAG	10:00:00 - SAÍDA TICEN	10:00:00 - SAÍDA TILAG
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
Icngest (1,2)	0,0000	0,0597	0,0000	0,0597	0,0571	0,0597
Icngest		0,0597		0,0597		0,1168
TRECHO	10:30:00 - SAÍDA TICEN	10:30:00 - SAÍDA TILAG	11:00:00 - SAÍDA TICEN	11:00:00 - SAÍDA TILAG	11:30:00 - SAÍDA TICEN	11:30:00 - SAÍDA TILAG
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
Icngest (1,2)	0,0247	0,0597	0,0216	0,0597	0,0216	0,0597
Icngest		0,0844		0,0813		0,0813

Fonte: Elaboração própria.

Figura 28 - Pontuação por horário, trecho e sentido - análise de pico (12h00min-17h30min)

TRECHO	12:00:00 - SAÍDA TICEN	12:00:00 - SAÍDA TILAG	12:30:00 - SAÍDA TICEN	12:30:00 - SAÍDA TILAG	13:00:00 - SAÍDA TICEN	13:00:00 - SAÍDA TILAG
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
Icongest (1,2)	0,0741	0,1065	0,0664	0,3065	0,1204	0,2581
Icongest	0,1805		0,3728		0,3784	
TRECHO	13:30:00 - SAÍDA TICEN	13:30:00 - SAÍDA TILAG	14:00:00 - SAÍDA TICEN	14:00:00 - SAÍDA TILAG	14:30:00 - SAÍDA TICEN	14:30:00 - SAÍDA TILAG
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
Icongest (1,2)	0,1204	0,4323	0,1003	0,2984	0,0679	0,1968
Icongest	0,5526		0,3987		0,2647	
TRECHO	15:00:00 - SAÍDA TICEN	15:00:00 - SAÍDA TILAG	15:30:00 - SAÍDA TICEN	15:30:00 - SAÍDA TILAG	16:00:00 - SAÍDA TICEN	16:00:00 - SAÍDA TILAG
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
Icongest (1,2)	0,0216	0,1968	0,0000	0,1355	0,0000	0,1355
Icongest	0,2184		0,1355		0,1355	
TRECHO	16:30:00 - SAÍDA TICEN	16:30:00 - SAÍDA TILAG	17:00:00 - SAÍDA TICEN	17:00:00 - SAÍDA TILAG	17:30:00 - SAÍDA TICEN	17:30:00 - SAÍDA TILAG
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
Icongest (1,2)	0,0664	0,1355	0,1497	0,1984	0,2531	0,3452
Icongest	0,2018		0,3481		0,5982	

Fonte: Elaboração própria.

Figura 29 - Pontuação por horário, trecho e sentido - análise de pico (18h00min-22h00min)

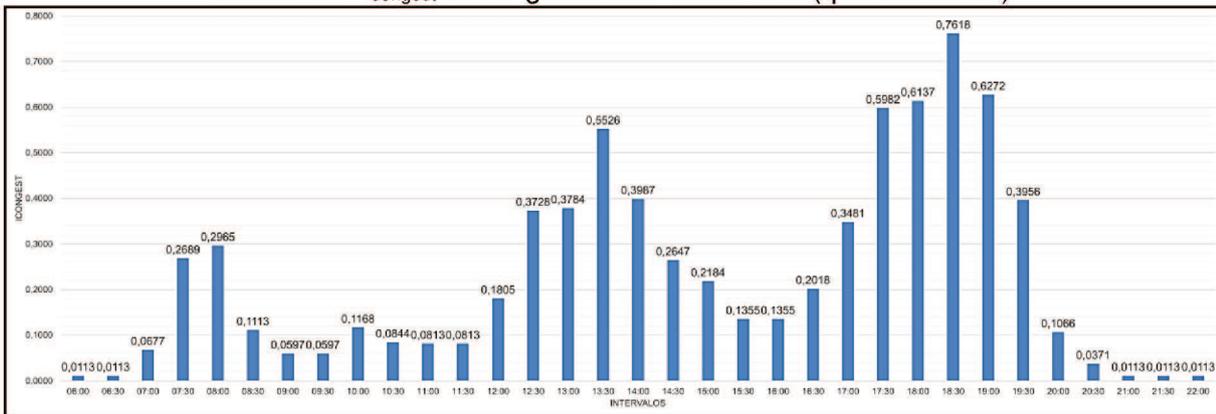
TRECHO	18:00:00 - SAÍDA TICEN	18:00:00 - SAÍDA TILAG	18:30:00 - SAÍDA TICEN	18:30:00 - SAÍDA TILAG	19:00:00 - SAÍDA TICEN	19:00:00 - SAÍDA TILAG
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
Icongest (1,2)	0,2685	0,3452	0,4167	0,3452	0,3272	0,3000
Icongest	0,6137		0,7618		0,6272	
TRECHO	19:30:00 - SAÍDA TICEN	19:30:00 - SAÍDA TILAG	20:00:00 - SAÍDA TICEN	20:00:00 - SAÍDA TILAG	20:30:00 - SAÍDA TICEN	20:30:00 - SAÍDA TILAG
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
Icongest (1,2)	0,2037	0,1919	0,0324	0,0742	0,0000	0,0371
Icongest	0,3956		0,1066		0,0371	
TRECHO	21:00:00 - SAÍDA TICEN	21:00:00 - SAÍDA TILAG	21:30:00 - SAÍDA TICEN	21:30:00 - SAÍDA TILAG	22:00:00 - SAÍDA TICEN	22:00:00 - SAÍDA TILAG
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
Icongest (1,2)	0,0000	0,0113	0,0000	0,0113	0,0000	0,0113
Icongest	0,0113		0,0113		0,0113	

Fonte: Elaboração própria.

O resultado da análise de índices é apresentado no Gráfico 5, que identifica o período crítico entre 18h00 e 19h00 para as quartas-feiras típicas no itinerário da Linha 320. O maior índice de congestionamento ocorre às 18h30min, com $I_{congest}$ de 0,7263, situação demonstrada na Figura 30.

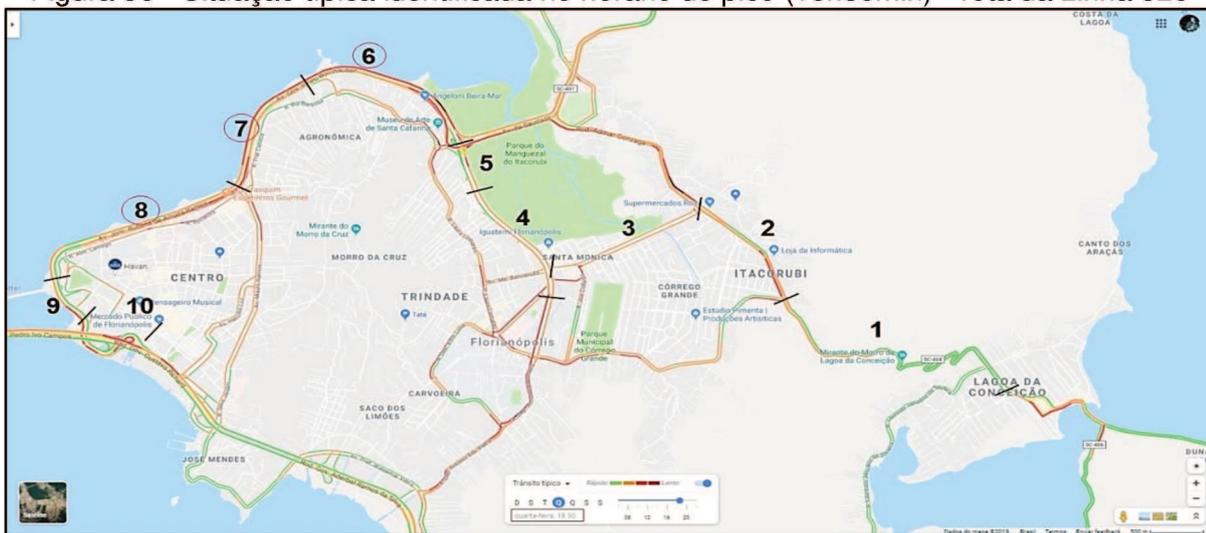
A Figura 31 apresenta visão aproximada dos trechos 6,7 e 8 no horário de pico identificado, e a Figura 32 mostra o detalhe para o trecho 10 que, como citado, não pode ser visualizado nas imagens do cenário completo.

Gráfico 5 – $I_{congest}$ ao longo do dia - Linha 320 (quartas-feiras)



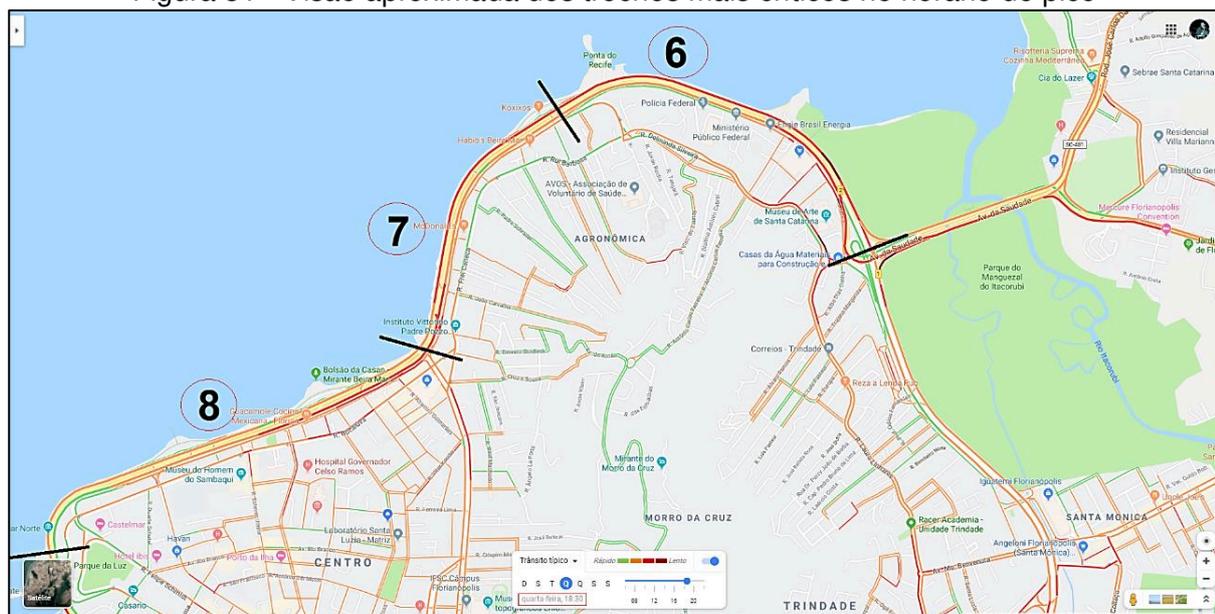
Fonte: Elaboração própria.

Figura 30 - Situação típica identificada no horário de pico (18h30min) - rota da Linha 320



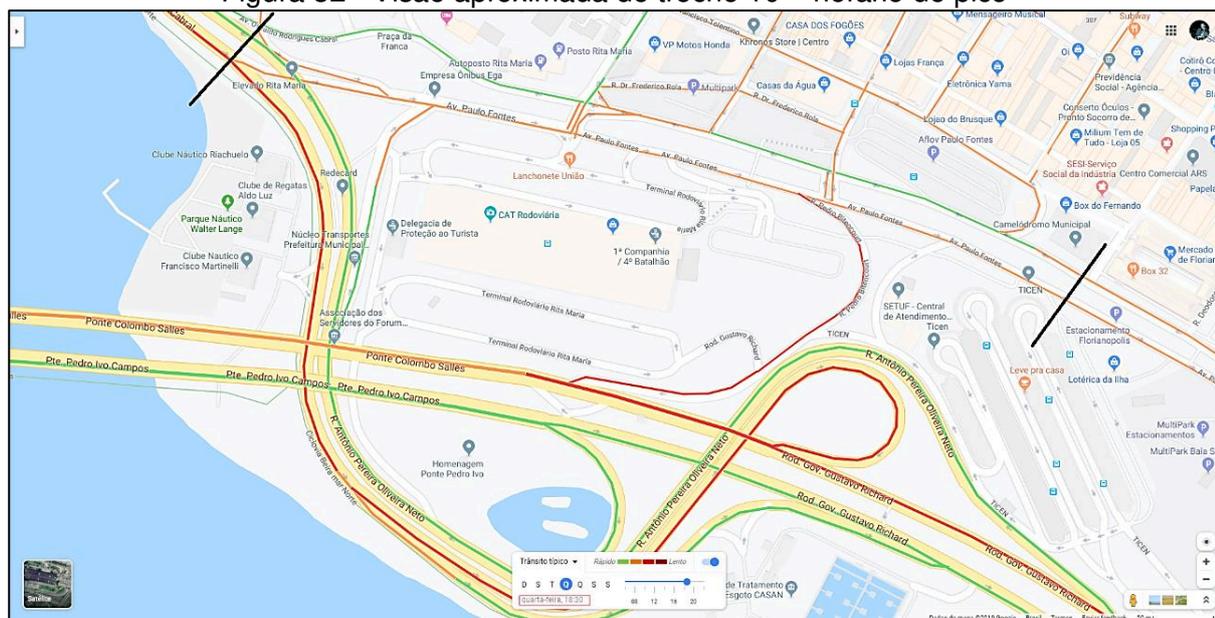
Fonte: Elaboração própria. Dados: Google Maps (2019).

Figura 31 - Visão aproximada dos trechos mais críticos no horário de pico



Fonte: Elaboração própria. Dados: Google Maps (2019).

Figura 32 - Visão aproximada do trecho 10 – horário de pico



Fonte: Elaboração própria. Dados: Google Maps (2019).

5.6 OBTENÇÃO E ORGANIZAÇÃO DOS DADOS DE OPERAÇÃO

5.6.1 Solicitação e recebimento dos dados

Para obtenção dos dados de tempos de viagem da Linha 320, esses foram solicitados, por meio de ofício (APÊNDICE B), à WPLEX, empresa que fornece soluções de monitoramento de frota e viagens para o Consórcio Fênix. Após autorização do CF, os dados foram cedidos em forma de planilha do Microsoft Excel.

A planilha citada forneceu os seguintes dados:

- a) Código de identificação de veículos;
- b) Data;
- c) Horário registrado;
- d) Sigla da Linha (320);
- e) Sentido;
- f) Terminal.

A Figura 33 apresenta parte da planilha referida, na forma a qual foi recebida pela empresa cedente. Os dados cedidos contemplam registros entre 01/01/2017 e 28/04/2019, distribuídos em seis colunas e 147.489 linhas. Até a data de obtenção dos dados, esses representavam o total de dados disponíveis para a Linha 320 no sistema de monitoramento, visto que este foi iniciado no ano de 2017, segundo informou a WPLEX.

Figura 33 – Parte da planilha de dados cedida

VEÍCULO	DATA	HORARIO	SIGLA	SENTIDO	TERMINAL
222	29/05/2018	17:01:58	320	2	TICEN
222	29/05/2018	17:17:15	320	2	TITRI
222	29/05/2018	17:42:38	320	2	TILAG
222	29/05/2018	17:50:53	320	1	TILAG
222	29/05/2018	18:11:25	320	1	TITRI
222	29/05/2018	18:25:10	320	1	TICEN

Fonte: WPLEX/Consórcio Fênix (2019).

Na Figura 33, e em toda a planilha de dados, o sentido 1 trata-se das viagens realizadas com origem no TILAG, passagem pelo TITRI, e destino no TICEN. Já o

sentido 2 remete ao trajeto inverso: origem no TICEN, passagem pelo TITRI e destino no TILAG. Esta nomenclatura será utilizada a partir deste momento para se referir aos sentidos de viagem da Linha 320.

5.6.2 Seleção e organização dos dados operacionais

Conforme definido, esta demonstração de aplicabilidade do MAEC-TP foi realizada para as quartas-feiras típicas. Além disso, os índices de congestionamento foram calculados para as quartas-feiras de setembro de 2019 e, naturalmente, o ideal seria a utilização de dados de operação do mesmo período.

Entretanto, como verificou-se em 5.6.1, os dados operacionais disponíveis cedidos na época referem-se, no máximo, até abril de 2019 e, dessa forma, na falta dos dados de operação de setembro de 2019, utilizaram-se os dados referentes a abril de 2019.

Essa escolha foi pautada no fato de o mês de abril, assim como o mês de setembro, se tratar de um mês fora das festas de fim de ano e do movimento intenso de verão observado em Florianópolis. Além disso, esses meses não contemplam férias escolares, apresentando um possível comportamento típico em relação a meses como dezembro e janeiro que podem apresentar condições muito desfavoráveis de tráfego, ou julho, mês de férias escolares que pode apresentar tempos de viagem abaixo do praticado no restante do ano.

Assim, dentro da base de dados recebida, foram selecionados apenas os dados de operação referentes às quartas feiras do mês de abril de 2019, relativos aos dias: 03/04/2019, 10/04/2019, 17/04/2019 e 24/04/2019.

Dessa forma, para cada dia e sentido de viagem, os dados foram agrupados em ordem cronológica dentro da operação diária da Linha 320, conforme os horários de saída, concluindo a fase 6 de aplicação do método. Essa organização foi utilizada para o cálculo dos tempos de viagem, assunto abordado na próxima seção.

5.7 ESTABELECIMENTO DA RELAÇÃO ENTRE TEMPOS DE VIAGEM E CONGESTIONAMENTO

Nesta seção, serão demonstrados os processos relativos à fase F-7 do MAEC-TP, a iniciar pela etapa de cálculo dos tempos de viagem necessários e, posteriormente, pelo estabelecimento da relação entre esses dados e os índices de congestionamentos previamente calculados.

5.7.1 Cálculo dos tempos de viagem

A partir da organização de dados realizada na fase anterior, utilizou-se o *Microsoft Excel* para calcular os tempos de viagem ao longo da operação de cada uma das quartas-feiras de abril de 2019, por sentido de operação.

Logo, foram utilizadas planilhas como as do Quadro 16, que demonstra uma parte dos cálculos de tempos de viagem para o sentido 2, no dia 03/04/2019. Os tempos de viagem são calculados pela diferença entre o horário de chegada no terminal de destino e o horário de saída do terminal de origem.

No Quadro 16, por exemplo, para a saída prevista às 06h18min, o tempo de viagem é dado pela diferença entre 06h52min45s (chegada no TILAG) e 06h19min29s (saída do TICEN), resultando em 33min16s de viagem. As planilhas completas para todos os cálculos realizados são apresentadas no APÊNDICE C.

Quadro 16 - Planilha de cálculo de tempos de viagem da Linha 320

SAÍDA TICEN	DATA	HORÁRIO	SENTIDO	TERMINAL	TEMPOS DE VIAGEM
06:18	03/04/2019	06:19:29	2	TICEN	
	03/04/2019	06:32:20	2	TITRI	
	03/04/2019	06:52:45	2	TILAG	00:33:16
06:50	03/04/2019	06:53:45	2	TICEN	
	03/04/2019	07:06:50	2	TITRI	
	03/04/2019	07:31:04	2	TILAG	00:37:19
07:16	03/04/2019	07:20:19	2	TICEN	
	03/04/2019	07:34:28	2	TITRI	
	03/04/2019	07:56:28	2	TILAG	00:36:09
07:40	03/04/2019	07:41:20	2	TICEN	
	03/04/2019	07:55:11	2	TITRI	
	03/04/2019	08:16:47	2	TILAG	00:35:27
08:02	03/04/2019	08:03:46	2	TICEN	
	03/04/2019	08:19:51	2	TITRI	
	03/04/2019	08:41:48	2	TILAG	00:38:02
08:15	03/04/2019	08:20:02	2	TICEN	
	03/04/2019	08:32:12	2	TITRI	
	03/04/2019	08:52:41	2	TILAG	00:32:39
08:35	03/04/2019	08:40:09	2	TICEN	
	03/04/2019	08:54:26	2	TITRI	
	03/04/2019	09:15:31	2	TILAG	00:35:22
09:11	03/04/2019	09:12:23	2	TICEN	
	03/04/2019	09:25:32	2	TITRI	
	03/04/2019	09:46:41	2	TILAG	00:34:18
09:39	03/04/2019	09:41:51	2	TICEN	
	03/04/2019	09:56:04	2	TITRI	
	03/04/2019	10:17:43	2	TILAG	00:35:52
10:10	03/04/2019	10:12:03	2	TICEN	
	03/04/2019	10:26:53	2	TITRI	
	03/04/2019	10:45:58	2	TILAG	00:33:55

Fonte: Elaboração própria.

Em alguns casos, notou-se a ausência de alguns dados, mas, de maneira geral, os dados apresentaram-se completos. Também foram identificados alguns *outliers*. Como a amostra de apenas quatro dias dificulta uma análise estatística mais robusta, utilizou-se o seguinte critério: para viagens com variação superior a 20 minutos, acima ou abaixo, em relação à média dos demais valores encontrados, o dado foi descartado para não comprometer a análise.

Descartados os valores discrepantes, realizou-se o cálculo de todos os tempos médios de viagem para cada horário e sentido. Os cálculos, por sentido, são

apresentados no APÊNDICE D. Depois, conforme indica o método, os valores foram agrupados por intervalo, gerando nova planilha, como ilustra o Quadro 17.

Cada intervalo corresponde a um determinado número de saídas, podendo haver mais de uma na mesma faixa horária. No Quadro 17, por exemplo, no intervalo destacado entre 07h00min e 07h29min, existem duas saídas do TILAG, às 07h05min e às 07h27min e, neste caso, o valor considerado para o intervalo é a média dos tempos de viagem para estas duas saídas, respectivamente 43min37s e 56min40s, resultando em um tempo médio de 50min08s.

Quadro 17 - Tempos de viagem agrupados por intervalo

SAÍDA TILAG	TEMPOS MÉDIOS DE VIAGEM - médias (Abril) - SAÍDAS TILAG	SAÍDA TICEN	TEMPOS MÉDIOS DE VIAGEM - médias (Abril) - SAÍDAS TICEN	INTERVALOS	SENTIDO 1 - TILAG-TICEN	SENTIDO 2 - TICEN - TILAG	TEMPO TOTAL DE DESLOCAMENTO Tvm
06:15	00:30:50	06:18	00:35:08	06:00 - 06:29	00:30:50	00:35:08	1:05:58
06:38	00:34:36	06:50	00:38:29	06:30 - 06:59	00:35:35	00:38:29	1:14:03
06:57	00:36:33	07:16	00:38:28	07:00 - 07:29	00:50:08	00:38:28	1:28:36
07:05	00:43:37	07:40	00:35:43	07:30 - 07:59	00:50:24	00:35:43	1:26:07
07:27	00:56:40	08:02	00:39:16	08:00 - 08:29	00:42:50	00:37:45	1:20:35
07:38	00:50:36	08:15	00:36:15	08:30 - 08:59	00:37:34	00:34:56	1:12:29
07:50	00:50:11	08:35	00:34:56	09:00 - 09:29	00:35:27	00:34:27	1:09:54
08:00	00:47:03	09:11	00:34:27	09:30 - 09:59	00:35:18	00:35:37	1:10:55
08:25	00:38:36	09:39	00:35:37	10:00 - 10:29	00:33:21	00:35:22	1:08:43
08:48	00:37:34	10:10	00:36:12	10:30 - 10:59	00:35:20	00:33:23	1:08:42
09:10	00:36:33	10:15	00:34:32	11:00 - 11:29	00:35:32	00:33:15	1:08:47
09:23	00:34:22	10:40	00:33:23	11:30 - 11:59	00:40:24	00:40:07	1:20:30
09:55	00:35:18	11:05	00:33:15	12:00 - 12:29	00:39:28	00:40:25	1:19:53
10:22	00:33:21	11:30	00:37:16	12:30 - 12:59	00:42:35	00:42:00	1:24:35
10:54	00:35:20	11:42	00:40:24	13:00 - 13:29	00:44:23	00:39:41	1:24:04
11:24	00:35:32	11:55	00:42:40	13:30 - 13:59	00:40:05	00:38:06	1:18:11
11:50	00:40:24	12:15	00:40:25	14:00 - 14:29	00:43:03	-	0:43:03
12:14	00:39:28	12:36	00:42:00	14:30 - 14:59	00:41:44	00:34:26	1:16:10
12:35	00:40:18	13:00	00:38:53	15:00 - 15:29	00:41:30	00:34:03	1:15:33
12:53	00:44:52	13:06	00:39:29	15:30 - 15:59	00:43:37	00:37:49	1:21:26
13:02	00:43:50	13:25	00:40:43	16:00 - 16:29	00:42:45	00:40:23	1:23:08
13:27	00:44:55	13:36	00:39:50	16:30 - 16:59	00:43:15	00:40:15	1:23:30
13:35	00:41:55	13:55	00:36:22	17:00 - 17:29	00:54:06	00:44:46	1:38:51
13:50	00:38:15	14:40	00:34:26	17:30 - 17:59	00:43:47	00:51:48	1:35:35
14:20	00:43:03	15:10	00:34:03	18:00 - 18:29	00:51:38	00:51:37	1:43:15
14:33	00:43:44	15:35	00:37:49	18:30 - 18:59	00:48:55	00:56:28	1:45:24
14:51	00:39:44	16:00	00:39:53	19:00 - 19:29	00:39:17	00:55:26	1:34:43
15:00	00:38:23	16:15	00:40:53	19:30 - 19:59	00:38:01	00:47:35	1:25:36
15:23	00:44:36	16:30	00:41:04	20:00 - 20:29	00:35:09	00:37:06	1:12:15
15:33	00:42:35	16:45	00:38:52	20:30 - 20:59	00:32:32	00:35:11	1:07:43
15:56	00:44:38	16:55	00:40:48	21:00 - 21:29	00:32:47	00:34:27	1:07:15
16:21	00:42:45	17:21	00:44:46	21:30 - 21:59	-	-	-
16:47	00:43:15	17:50	00:51:48	22:00 - 22:29	00:32:44	00:33:42	1:06:26
17:05	00:49:33	18:16	00:51:37				
17:17	00:58:39	18:32	01:00:06				
17:43	00:43:47	18:44	00:52:51				
18:21	00:51:38	19:00	00:47:56				
18:37	00:48:55	19:09	00:58:55				
19:07	00:39:17	19:23	00:51:57				
19:37	00:38:32	19:49	00:47:35				
19:55	00:37:29	20:08	00:37:06				
20:11	00:35:09	20:30	00:34:27				
20:48	00:32:32	20:48	00:35:54				
21:28	00:32:47	21:25	00:34:27				
22:00	00:32:44	22:05	00:33:42				
		22:10	00:34:39				
		22:40	00:31:38				

Fonte: Elaboração própria.

Cita-se, por fim, que para o intervalo entre 14h00min e 14h29min, não há saída registrada no sentido 2 e para o intervalo entre 21h30 e 21h59min, não há saídas em

nenhum dos terminais. Por esse motivo, esses intervalos não foram considerados nas análises posteriores e estão destacados na cor vermelha no Quadro 17.

5.7.2 Cálculo da relação $I_{congest}$ x T_{vm}

Como observado no Quadro 17, após os cálculos dos tempos de viagem médios, por sentido, obtém-se sua soma, designada T_{vm} . Depois, esses valores são confrontados com os índices de congestionamento previamente calculados, gerando a planilha demonstrada no Quadro 18.

Pode-se notar que o maior T_{vm} corresponde ao intervalo entre 18h30min e 18h59min, coincidindo com o máximo $I_{congest}$, calculado em 0,7263, enquanto os três menores valores de T_{vm} representam os últimos horários registrados, entre 21h00min e 21h29min e entre 22h00min e 22h29min, além do intervalo compreendido das 06h00min às 06h29min, todos correspondendo ao menor $I_{congest}$, calculado em 0,0113.

Quadro 18 - Tvm x Icongest – valores observados

Intervalos	Icongest	Tvm	Tvm (decimal)
06:00 - 06:29	0,01129	01:05:58	1,0994
06:30 - 06:59	0,01129	01:14:03	1,2342
07:00 - 07:29	0,06774	01:28:36	1,4767
07:30 - 07:59	0,26895	01:26:07	1,4352
08:00 - 08:29	0,29651	01:20:35	1,3431
08:30 - 08:59	0,11129	01:12:29	1,2081
09:00 - 09:29	0,05968	01:09:54	1,1651
09:30 - 09:59	0,05968	01:10:55	1,1819
10:00 - 10:29	0,11678	01:08:43	1,1453
10:30 - 10:59	0,08437	01:08:42	1,1451
11:00 - 11:29	0,08128	01:08:47	1,1463
11:30 - 11:59	0,08128	01:20:30	1,3418
12:00 - 12:29	0,18053	01:19:53	1,3314
12:30 - 12:59	0,37281	01:24:35	1,4097
13:00 - 13:29	0,37843	01:24:04	1,4011
13:30 - 13:59	0,55263	01:18:11	1,3029
14:30 - 14:59	0,26468	01:16:10	1,2693
15:00 - 15:29	0,21838	01:15:33	1,2590
15:30 - 15:59	0,13548	01:21:26	1,3572
16:00 - 16:29	0,13548	01:23:08	1,3854
16:30 - 16:59	0,20184	01:23:30	1,3916
17:00 - 17:29	0,34808	01:38:51	1,6476
17:30 - 17:59	0,59825	01:35:35	1,5931
18:00 - 18:29	0,61368	01:43:15	1,7209
18:30 - 18:59	0,76183	01:45:24	1,7566
19:00 - 19:29	0,62716	01:34:43	1,5788
19:30 - 19:59	0,39564	01:25:36	1,4266
20:00 - 20:29	0,10660	01:12:15	1,2041
20:30 - 20:59	0,03710	01:07:43	1,1285
21:00 - 21:29	0,01129	01:07:15	1,1207
22:00 - 22:29	0,01129	01:06:26	1,1072

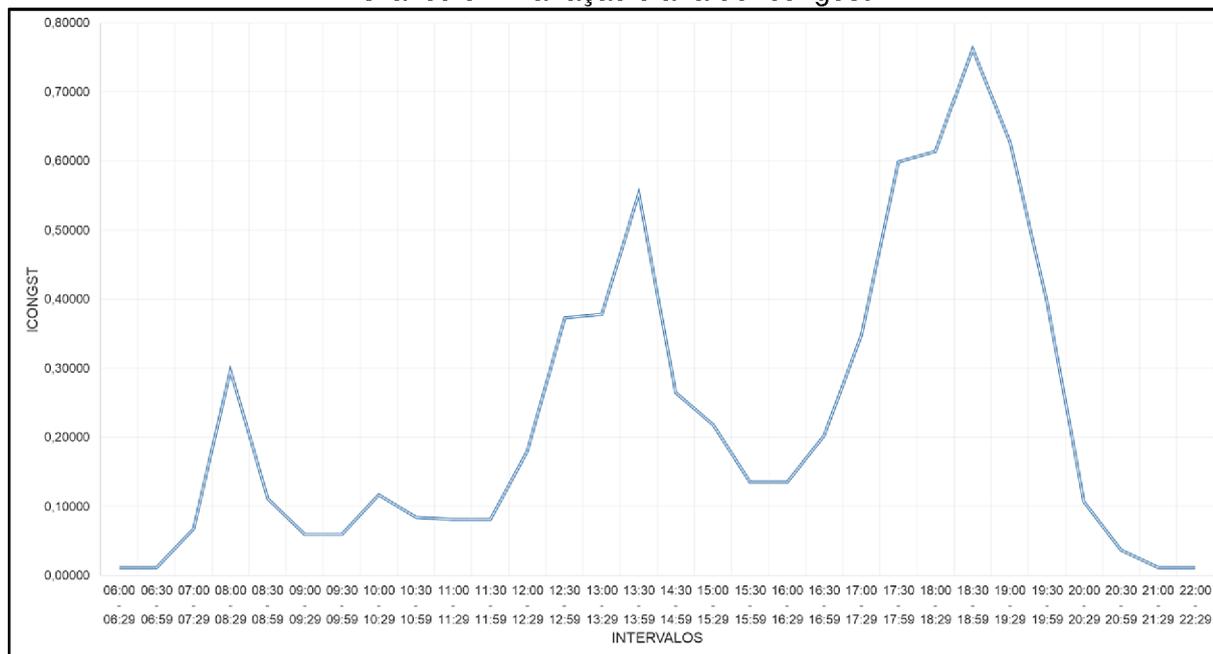
Fonte: Elaboração própria.

Para visualizar as variações ao longo do dia, foram gerados o Gráfico 6 e o Gráfico 7, os quais podem ser comparados, percebendo-se um comportamento semelhante para I_{congest} e Tvm, principalmente em relação aos picos matutinos, vespertinos e noturnos. Nota-se, contudo, que as variações de I_{congest} são mais bruscas ao longo do dia.

Também verificou-se que a distribuição do Tvm entre os deslocamentos saindo do TILAG e do TICEN varia entre 42% e 58%, com a maior proporção variando ao longo do dia em relação às saídas de ambos os terminais. Ou seja, em determinados

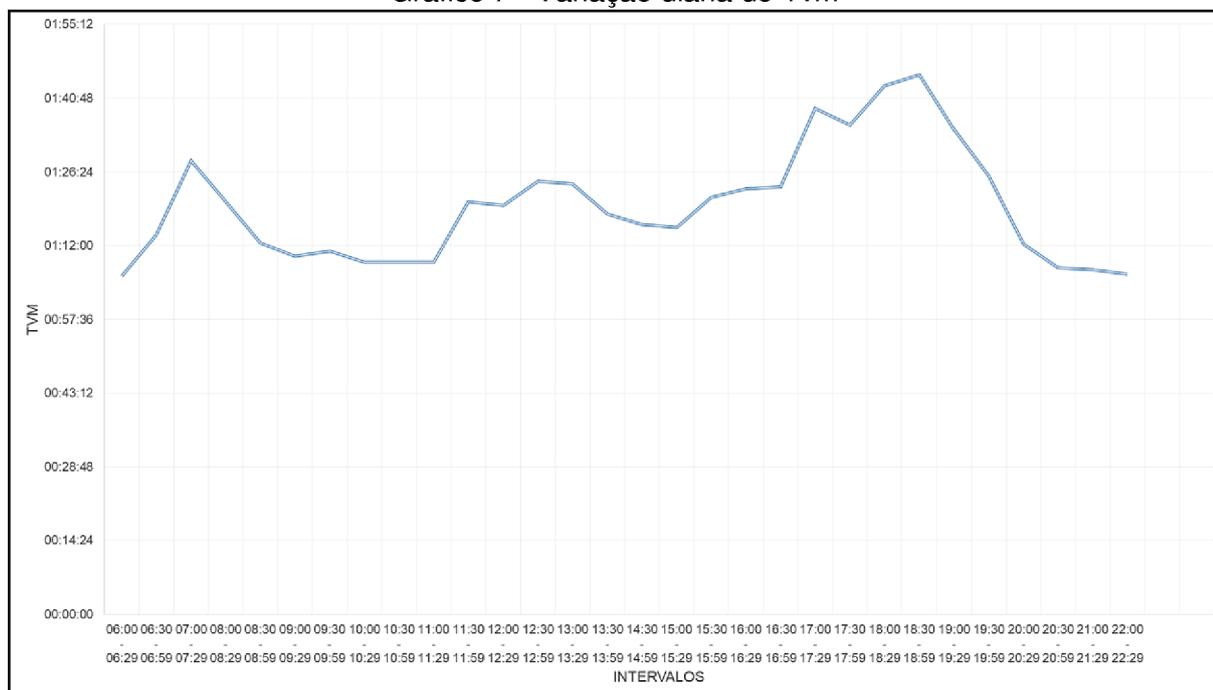
horários, as viagens originadas no TICEN levam maiores tempos para serem realizadas do que as com origem no TILAG e, em outros períodos, ocorre a situação contrária.

Gráfico 6 - Variação diária do Icongst



Fonte: Elaboração própria.

Gráfico 7 - Variação diária do Tvm



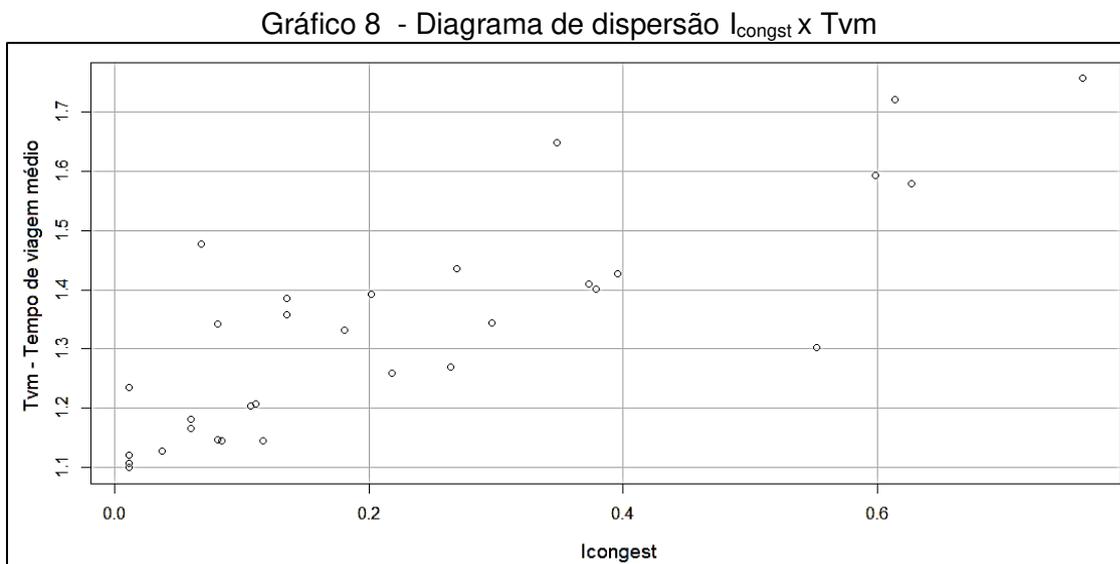
Fonte: Elaboração própria.

A partir dos dados apresentados, procedeu-se com a construção de um modelo estatístico de regressão linear que pudesse quantificar os efeitos de I_{congest} sobre T_{vm} , onde I_{congest} é dada como variável X (independente) e T_{vm} apresenta-se como variável Y (resposta).

A partir desse ponto, optou-se por utilizar, nas análises a seguir, o software R, que se trata de uma linguagem e ambiente de programação para estatística e gráficos, fornecendo uma ampla variedade de modelos estatísticos (modelagem linear e não linear, testes estatísticos clássicos, entre outras ferramentas).

O R é formado por um programa básico (R-Gui) e pacotes com procedimentos adicionais, sendo gratuito e com código livre, voltado para a comunidade acadêmica. Todas as telas do software, contemplando cada uma das análises que serão aqui apresentadas, são encontradas no APÊNDICE E

Inicialmente, verificou-se a relação entre as variáveis pelo diagrama de dispersão ilustrado no Gráfico 8, onde é possível verificar, de maneira visual, certa relação de crescimento em T_{vm} ao passo em que os índices de congestionamento aumentam.



Fonte: Elaboração própria.

Dessa forma, pelo software R, obteve-se a reta de regressão dada pela Equação 20:

$$\hat{y} = 1,16688 + 0,71383x \quad (20)$$

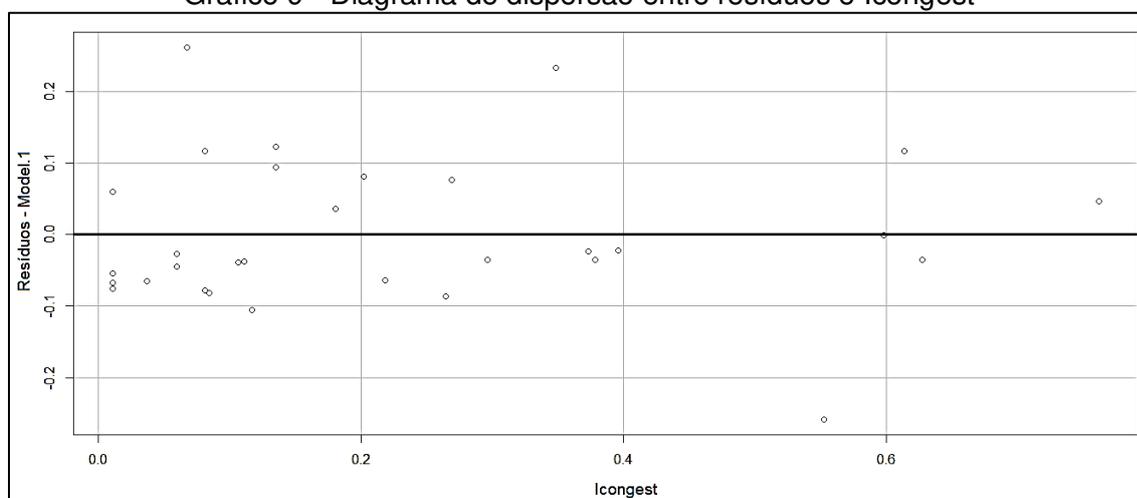
Depois, a fim de avaliar o ajuste em relação às variações de \hat{y} em função das variações de x , foi calculado o coeficiente de determinação R^2 , retornando um valor de 0,6824 demonstrando que aproximadamente 70% das variações de T_{vm} podem ser explicadas por $I_{congest}$.

Posteriormente, iniciou-se o processo de verificação da validade estatística do modelo, conforme apresentado em 2.8.

A suposição 1 é cumprida ao ponto em que as observações foram feitas de maneira independente, sem dependências das anteriores. Já a suposição 2, é satisfeita a partir da análise do diagrama de dispersão apresentado no Gráfico 8, que indica uma relação razoavelmente linear de causa e efeito entre as variáveis.

Partindo para as demais suposições, realizou-se análise de resíduos em volta da reta de regressão obtida. O Gráfico 9 apresenta diagrama de dispersão entre a variável x e os resíduos, o qual mostra a distribuição dos valores ao longo da reta de regressão.

Gráfico 9 - Diagrama de dispersão entre resíduos e $I_{congest}$



Fonte: Elaboração própria.

Graficamente, não foi possível garantir a validade do modelo, sendo necessária a realização de testes estatísticos a fim de verificar se as suposições do modelo foram respeitadas.

Assim, para a suposição 3, foi realizado o teste de hipóteses de Breusch-Pagan, a partir do seguinte teste de hipóteses com análise do p-valor para nível de significância de 5% ($\alpha=0,05$):

H0 – variância constante dos resíduos: $p > \alpha$

H1 – variância não constante dos resíduos: $p \leq \alpha$

O teste retornou um p-valor de 0,5294, maior que α , concluindo-se que os resíduos têm comportamento homocedástico.

No caso da suposição 4, foi realizado o teste de normalidade de Shapiro-Wilk, com as seguintes hipóteses e mesmo nível de significância do teste anterior:

H0 – distribuição normal dos resíduos: $p > \alpha$

H1 – distribuição normal dos resíduos: $p \leq \alpha$

O teste retornou um p-valor de 0,02925, menor que α , concluindo-se que os resíduos apresentam uma distribuição diferente da normal, não satisfazendo a última suposição para validação estatística do modelo.

Assim, foi necessário realizar um ajuste do modelo para buscar satisfazer as suposições enunciadas, optando-se por realizar uma transformação das variáveis I_{congest} e T_{vm} , respectivamente X e Y , para as variáveis X' e Y' , onde:

$$X' = \sqrt{X} \text{ e } Y' = \sqrt{Y} \quad (21)$$

Os valores transformados encontram-se no Quadro 19.

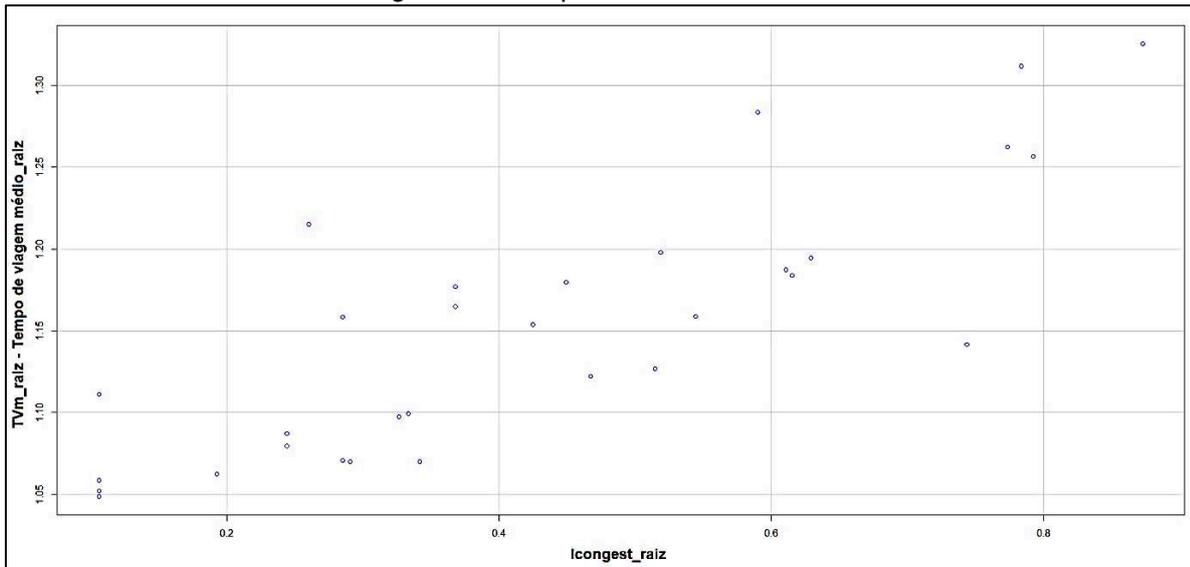
Quadro 19 - Tvm x Icongest – valores transformados

Intervalos	(Icongest) $\frac{1}{2}$	(Tvm_{total} - decimal) $\frac{1}{2}$
06:00 - 06:29	0,10626	1,0485
06:30 - 06:59	0,10626	1,1110
07:00 - 07:29	0,26027	1,2152
07:30 - 07:59	0,51860	1,1980
08:00 - 08:29	0,54452	1,1589
08:30 - 08:59	0,33360	1,0991
09:00 - 09:29	0,24429	1,0794
09:30 - 09:59	0,24429	1,0871
10:00 - 10:29	0,34173	1,0702
10:30 - 10:59	0,29046	1,0701
11:00 - 11:29	0,28510	1,0706
11:30 - 11:59	0,28510	1,1584
12:00 - 12:29	0,42488	1,1539
12:30 - 12:59	0,61058	1,1873
13:00 - 13:29	0,61517	1,1837
13:30 - 13:59	0,74339	1,1415
14:30 - 14:59	0,51447	1,1266
15:00 - 15:29	0,46731	1,1221
15:30 - 15:59	0,36808	1,1650
16:00 - 16:29	0,36808	1,1770
16:30 - 16:59	0,44927	1,1796
17:00 - 17:29	0,58998	1,2836
17:30 - 17:59	0,77346	1,2622
18:00 - 18:29	0,78338	1,3118
18:30 - 18:59	0,87283	1,3254
19:00 - 19:29	0,79193	1,2565
19:30 - 19:59	0,62900	1,1944
20:00 - 20:29	0,32650	1,0973
20:30 - 20:59	0,19261	1,0623
21:00 - 21:29	0,10626	1,0586
22:00 - 22:29	0,10626	1,0522

Fonte: Elaboração própria.

A partir destes valores ajustados, repetiu-se o processo realizado para os valores observados originais, iniciando-se com o diagrama de dispersão mostrado no Gráfico 10.

Gráfico 10 - Diagrama de dispersão das variáveis transformadas



Fonte: Elaboração própria.

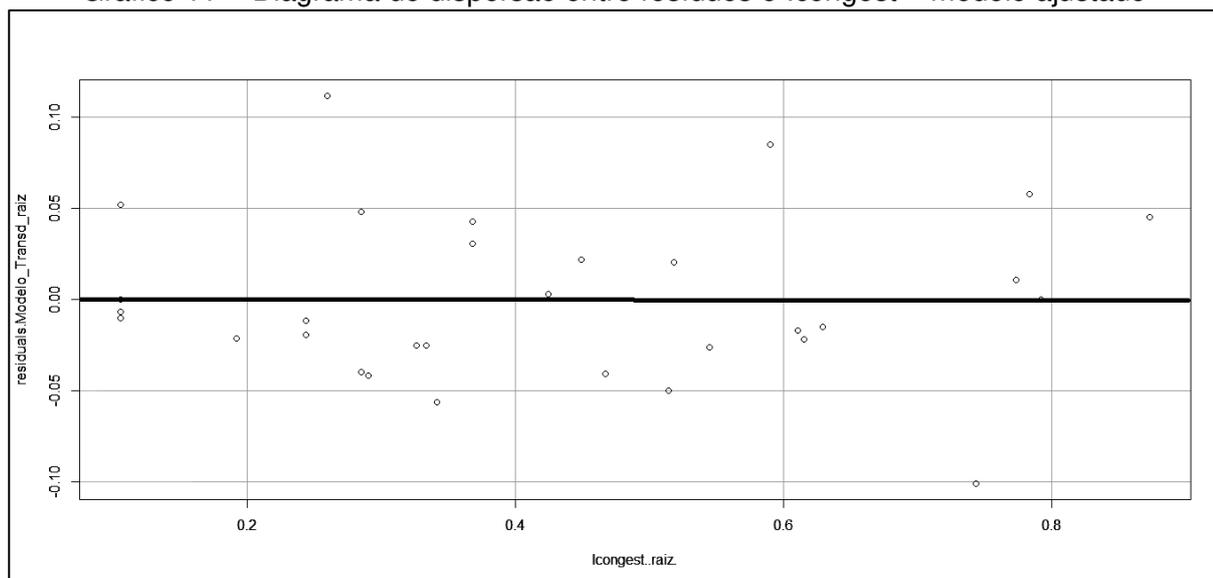
O novo coeficiente de Pearson retornou um valor de $r = 0,8241$, correspondendo à uma correlação forte e positiva entre as variáveis. Depois, foi gerado o novo MRLS, apresentado na Equação 22, com $R^2 = 0,6791$.

$$y = 1,02816 + 0,28845X \quad (22)$$

Novamente, assumindo a satisfação das suposições 1 e 2 para validação estatística do modelo, seguiu-se para análise dos resíduos, primeiramente, pela análise do diagrama de dispersão entre a variável X' e os resíduos, como mostra o Gráfico 11.

No modelo original, os resíduos aparentavam seguir uma forma levemente afunilada, diminuindo as variações ao passo em que X aumentava, mesmo que de forma sutil. Já para o modelo ajustado, os resíduos demonstram um comportamento aleatório em torno da reta de regressão, o que foi verificado numericamente a partir da aplicação dos testes para variância e normalidade.

Gráfico 11 - Diagrama de dispersão entre resíduos e lcongest – modelo ajustado



Fonte: Elaboração própria.

Assim, realizou-se novamente o teste de Breusch-Pagan para um nível de significância $\alpha = 0,05$:

H0 – variância constante dos resíduos: $p > \alpha$

H1 – variância não constante dos resíduos: $p \leq \alpha$

O teste retornou um p-valor de 0,4466, maior que α , concluindo-se positivamente a respeito da homocedasticidade dos resíduos.

Depois, foi realizado o teste de normalidade de Shapiro-Wilk:

H0 – distribuição normal dos resíduos: $p > \alpha$

H1 – distribuição normal dos resíduos: $p \leq \alpha$

O teste retornou um p-valor de 0,5124, maior que α , concluindo-se que os resíduos apresentam uma distribuição normal, verificando todas as suposições para validação estatística do modelo. Assim, no Quadro 20, apresentam-se os valores ajustados pela Equação 21, já retornados para as unidades originais.

Quadro 20 - Valores ajustados pelo MRLS

Icongost	Tvm - valores ajustados
0,01129	01:07:16
0,01129	01:07:16
0,06774	01:13:02
0,26895	01:23:14
0,29651	01:24:17
0,11129	01:15:51
0,05968	01:12:25
0,05968	01:12:25
0,11678	01:16:10
0,08437	01:14:11
0,08128	01:13:59
0,08128	01:13:59
0,18053	01:19:27
0,37281	01:27:01
0,37843	01:27:13
0,55263	01:32:39
0,26468	01:23:03
0,21838	01:21:09
0,13548	01:17:12
0,13548	01:17:12
0,20184	01:20:25
0,34808	01:26:10
0,59825	01:33:56
0,61368	01:34:22
0,76183	01:38:18
0,62716	01:34:44
0,39564	01:27:47
0,10660	01:15:35
0,03710	01:10:28
0,01129	01:07:16
0,01129	01:07:16

Fonte: Elaboração própria.

5.8 RESULTADOS E CONCLUSÕES

5.8.1 Avaliação de uso de faixas exclusivas

Como descrito em 5.1, o objeto de estudo dessa demonstração de aplicabilidade do MAEC-TP está na utilização relação dada pela Equação 22 na avaliação de possíveis efeitos de ações de priorização do transporte público coletivo frente aos tempos de viagem, dimensionamento de frotas, e velocidade operacional.

Portanto, apresenta-se, inicialmente, uma análise do cenário atual para a Linha 320, realizando o dimensionamento da frota considerando o período de pico da linha identificado anteriormente. Depois, foi elaborado um cenário alternativo, com utilização de faixas exclusivas e diminuição dos índices de congestionamento, a fim de avaliar a quantidade de frota necessária e, posteriormente, comparar os cenários.

Para tal, foi utilizado diagrama de marcha, uma vez que possibilita uma visualização mais clara da operação, além de maior precisão, uma vez que se verificou que os tempos de ciclo não são constantes, dificultando, ou mesmo, impossibilitando o cálculo da frota pela Equação 3 ou suas variações, referentes ao Método do Tempo de Ciclo.

5.8.1 Cenário atual

No cenário atual, o pico da linha foi identificado entre 18h00min e 19h00min, como já apresentado. Dessa forma, realizou-se o dimensionamento de frota, no período compreendido entre as saídas das 17h50min e das 19h23min com origem no TICEN, uma vez que se identificou, previamente, que esses horários são complementares no ciclo da linha, ou seja, a viagem que se inicia no TICEN no primeiro horário, irá ter seu final, ou seja, retorno ao terminal de origem, em horário próximo à nova saída às 19h23min.

Assim, a partir dos dados reais obtidos da Linha 320, utilizou-se os valores médios de tempos de viagem de abril de 2019 no intervalo descrito. Também se considerou a média para os horários de saída praticados no mês referido, levando-se em consideração os atrasos. O Quadro 21 apresenta os dados utilizados:

Quadro 21 - Dados utilizados para dimensionamento de frotas - cenário atual

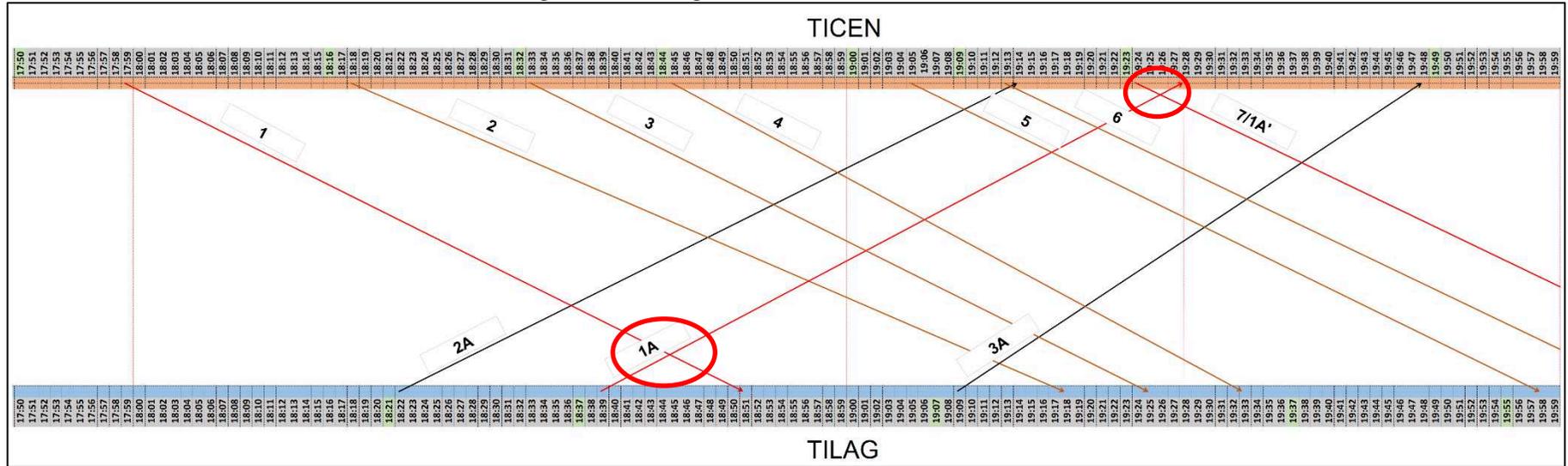
SAÍDA TICEN	HORÁRIO	SENTIDO	TERMINAL	TEMPOS DE VIAGEM	SAÍDA TILAG	HORÁRIO	SENTIDO	TERMINAL	TEMPOS DE VIAGEM
17:50	17:59:29	2	TICEN		18:21	18:22:57	1	TILAG	
	18:51:06	2	TILAG	00:51:37		19:14:35	1	TICEN	00:51:38
18:16	18:18:32	2	TICEN		18:37	18:39:08	1	TILAG	
	19:18:38	2	TILAG	01:00:06		19:28:04	1	TICEN	00:48:55
18:32	18:33:04	2	TICEN		19:07	19:09:10	1	TILAG	
	19:25:56	2	TILAG	00:52:51		19:48:27	1	TICEN	00:39:17
18:44	18:45:52	2	TICEN						
	19:33:48	2	TILAG	00:47:56					
19:00	19:05:09	2	TICEN						
	19:58:38	2	TILAG	00:53:28					
19:09	19:13:33	2	TICEN						
	20:07:02	2	TILAG	00:53:28					
19:23	19:24:38	2	TICEN						
	20:18:07	2	TILAG	00:53:28					

Fonte: Elaboração própria.

A partir dos dados apresentados, foi elaborado o diagrama de marcha relativo, que é ilustrado na Figura 34. Na parte superior constam as saídas do TICEN, enquanto a parte inferior contempla as saídas do TILAG.

As setas em cor marrom representam viagens no sentido TICEN-TILAG, e as setas da cor preta referem-se às viagens no sentido oposto. As setas vermelhas são as viagens que foram identificadas como limitadoras do período considerado, representando o início e o fim do ciclo. As numerações das viagens representam veículos distintos usados na operação da Linha 320.

Figura 34 - Diagrama de Marcha - cenário atual



Fonte: Elaboração própria.

Pelo diagrama de marcha apresentado, são necessários os seguintes veículos:

Saídas TICEN: 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 1A' (7). Nesse caso, o veículo 7 foi designado 1A', como é mostrado na Figura 34, pois caso o veículo que complementa a viagem com origem no TICEN às 17h50min chegasse ao TILAG antes da saída programada para 19h23min, poderia se utilizar o mesmo veículo, sendo necessário seis ônibus saindo do TICEN. Entretanto, o ciclo iniciado às 17h50min só é completo às 19h28min, atraso suficiente¹¹, para que o operador já incluísse um ônibus na programação, totalizando sete ônibus com saída do TICEN.

Saídas TILAG: 1A, 2A e 3A. Aqui, o veículo 1A, conforme destacado na Figura 34, representa o veículo utilizado para complementar a viagem, no sentido TILAG-TICEN, da viagem do veículo 1 que sai do TICEN. Dessa forma, são necessários três ônibus saindo do TILAG.

No total, para a operação atual, são precisos 10 ônibus. Esse valor corresponde ao mesmo número de saídas no intervalo analisado, ou seja, sete partidas do TICEN e três partidas do TILAG. Sendo assim, não é possível a reutilização de nenhum veículo na programação para o período de pico.

5.8.2 Cenário com faixas exclusivas

Foi idealizado um cenário para a Linha 320, considerando a existência de faixa exclusiva para ônibus nos trechos 6, 7 e 8 do itinerário, em ambos os sentidos, a fim de verificar possíveis ganhos em termos de tempos de viagem, velocidade e, possivelmente, no número de ônibus necessários para a operação.

Foi considerada que uma faixa exclusiva apresentaria um grau de impedimento nulo ao deslocamento dos ônibus, levando a um índice de congestionamento zero nos dois sentidos de tráfego. Os trechos descritos foram escolhidos por apresentarem maior intensidade de congestionamento ao longo do dia, como já apresentado.

¹¹ Em todos os dias de análise dos tempos de viagem pra abril/2019 foi verificado que o operador não reutiliza veículos atrasados na programação, não aplicando limites de tolerância, como citado em Coelho (1998) e operando o horário posterior com novo veículo. Verificou-se que os ônibus apenas são reutilizados, quando são, em casos de chegada antes do horário da próxima partida.

Dessa forma, para a faixa horária entre 17h30min e 19h29min, considerou-se o cenário apresentado na Figura 35, na qual destacam-se os trechos analisados¹², que apresentam a cor verde, correspondente ao uso de faixa exclusiva.

Figura 35 - Situação hipotética em faixa exclusiva para os trechos 6, 7 e 8



Fonte: Elaboração própria.

Substituindo os valores originais dos trechos analisados na planilha de cálculo do I_{congest} para o horário de pico, têm-se novos valores como mostra a Figura 36 que também apresenta o cenário original para comparação.

A partir dos novos valores de I_{congest} , foram calculados novos tempos médios de viagem (T_{vm}), como se apresenta no Quadro 22. É importante lembrar que o T_{vm} representa o tempo de viagem nos dois sentidos, em uma mesma determinada faixa horária.

Sendo assim, a parcela de viagem em cada sentido separado foi calculada considerando a mesma proporção identificada na operação atual, ou seja, no caso de partidas entre 17h30min e 17h59min, por exemplo, o T_{vm} real atual é de 01h35min35s, com 51min48s no sentido TICEN-TILAG e 43min47s no sentido TILAG-TICEN, correspondente a 54,2% e 45,8% do T_{vm} respectivamente.

¹² Alguns trechos relativos às vias marginais da Av. Beira Mar Norte não podem ser visualizados na Figura 37 com a cor verde pois a sua largura e a resolução da captura de tela não permitem destacá-los em relação à via principal que apresenta maior número de faixas e largura.

Figura 36 - Novos Icongest para a Linha 320 no período de pico

TRECHO	17:30:00 - SAÍDA TICEN	17:30:00 - SAÍDA TILAG	18:00:00 - SAÍDA TICEN	18:00:00 - SAÍDA TILAG	18:30:00 - SAÍDA TICEN	18:30:00 - SAÍDA TILAG	19:00:00 - SAÍDA TICEN	19:00:00 - SAÍDA TILAG
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
Icongest (1,2)	0,2531	0,3452	0,2685	0,3452	0,4167	0,3452	0,3272	0,3000
Icongest		0,5882		0,6137		0,7618		0,6272
Cenário atual								
TRECHO	17:30:00 - SAÍDA TICEN	17:30:00 - SAÍDA TILAG	18:00:00 - SAÍDA TICEN	18:00:00 - SAÍDA TILAG	18:30:00 - SAÍDA TICEN	18:30:00 - SAÍDA TILAG	19:00:00 - SAÍDA TICEN	19:00:00 - SAÍDA TILAG
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
Icongest (1,2)	0,2068	0,1597	0,1929	0,1597	0,2330	0,1597	0,1929	0,1145
Icongest		0,3665		0,3526		0,3927		0,3074
Cenário com faixa exclusiva								

Fonte: Elaboração própria.

Logo, após o cálculo dos novos Tvm, esses percentuais, que variam para cada faixa horária, foram aplicados, obtendo-se as parcelas correspondentes a cada sentido, consideração, esta, realizada para todas as faixas horárias.

Quadro 22 - Novos tempos médios de viagem – cenário com faixas exclusivas

Faixa horária	Icongest	Tvm	TICEN - TILAG	TILAG - TICEN
17:30 - 17:59	0,3665	01:26:48	00:47:03	00:39:45
18:00 - 18:29	0,3526	01:26:19	00:43:10	00:43:10
18:30 - 18:59	0,3927	01:27:41	00:47:00	00:40:41
19:00 - 19:29	0,3074	01:24:42	00:49:33	00:35:09

Fonte: Elaboração própria.

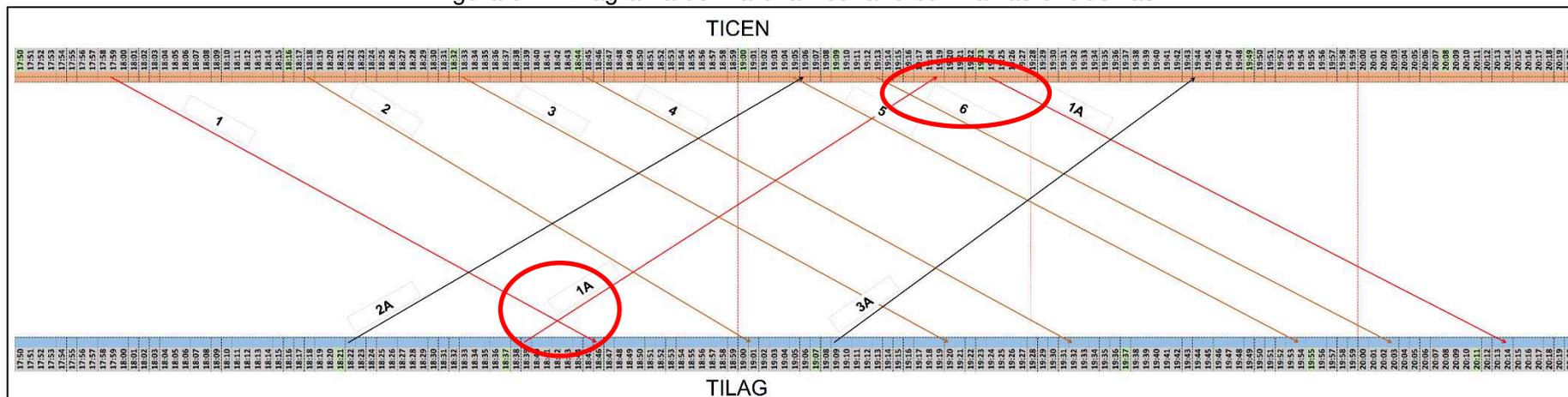
Com os novos tempos, as viagens foram realocadas no diagrama de marcha apresentado na Figura 37. Os atrasos em saídas, identificados no cenário atual com os dados reais, foram mantidos, para que a comparação fosse feita diretamente em relação apenas aos tempos de viagem entre terminais.

Analogamente à análise realizada para o cenário atual, identifica-se os veículos necessários para operação, agora, com faixas exclusivas hipotéticas em operação:

Saídas TICEN: 1, 2, 3, 4, 5, e 6. Nessa nova situação teórica, o ciclo iniciado às 17h50min é completo pelo veículo 1A às 19h19min, possibilitando a reutilização desse mesmo ônibus na partida das 19h23min, não sendo mais necessário um sétimo veículo saindo do TICEN. No total, a programação necessitaria de seis ônibus.

Saídas TILAG: 1A, 2A e 3A. Aqui, o veículo 1A, novamente representa o veículo utilizado para complementar a viagem, no sentido TILAG-TICEN, da viagem do veículo 1 que sai do TICEN. Assim, são necessários três ônibus saindo do TILAG.

Figura 37 - Diagrama de Marcha - cenário com faixas exclusivas



Fonte: Elaboração própria.

5.8.2 Conclusões

Após as análises apresentadas, verificou-se que, para a operação com faixa exclusiva, seriam necessários nove ônibus, concluindo-se pela possibilidade de diminuição de um ônibus na programação da Linha 320 no período de pico, dado pela diminuição significativa dos tempos de viagem.

Deve-se ressaltar que a presente aplicação do MAEC-TP considerou apenas uma linha e a possibilidade de redução da frota identificada pode refletir em diversas outras linhas que utilizam, em seus itinerários, os trechos analisados para implantação de faixa exclusiva. Como já citado, o sistema de TPUO de Florianópolis opera 202 linhas regulares e, dessa forma, poderia haver ganhos ainda maiores para o sistema a partir da diminuição de custos com frota.

Por fim, além da análise da frota apresentada frente à implantação hipotética de faixas exclusivas nos trechos 6, 7 e 8 da Linha 320, verificou-se a variação da velocidade média dos ônibus nos dois cenários, o que é demonstrado no Quadro 23.

Quadro 23 - Comparativo de velocidades médias: cenário atual x cenário com faixas exclusivas

Cenário atual			
Faixa horária	I _{congest}	T _{vm}	Velocidade média por faixa horária (km/h)
17:30 - 17:59	0,59824771	01:35:35	19,90
18:00 - 18:29	0,613679809	01:43:15	18,42
18:30 - 18:59	0,761827957	01:45:24	18,05
19:00 - 19:29	0,627160494	01:34:43	20,08
		Velocidade média no pico	19,11
Cenário com faixas exclusivas			
Faixa horária	I _{congest}	T _{vm}	Velocidade média por faixa horária (km/h)
17:30 - 17:59	0,3665	01:26:48	21,91
18:00 - 18:29	0,3526	01:26:19	22,03
18:30 - 18:59	0,3927	01:27:41	21,69
19:00 - 19:29	0,3074	01:24:42	22,46
		Velocidade média no pico	22,02

Fonte: Elaboração própria.

Observa-se, portanto, um incremento na velocidade praticada pelos veículos do TPUO, saindo de 19,11 km/h para 22,02 km/h no período de pico, representando um ganho de cerca 15,2%. Ainda, a mediana das velocidades, no cenário atual, para o período analisado, é de 19,16 km/h, enquanto, para o cenário simulado, é de 21,97 km/h, indicando um aumento de 14,7% no segundo cenário.

Nesse sentido, para efeitos de comparação, recorreu-se ao estudo de Arbex e Cunha (2016), os quais analisaram a evolução das medianas das velocidades em um conjunto de linhas da cidade de São Paulo que receberam a implantação de faixas exclusivas. Foram analisadas 240 linhas que tiveram pelo menos um trecho com essa alteração, no período entre agosto de 2013 e abril de 2015.

Os resultados apontaram que, para partidas entre as 18h e 19h, período mais crítico, as linhas com algum trecho de faixa exclusiva implantada obtiveram um aumento médio na mediana das velocidades de 9,13%, passando de 13,04 km/h para 14,23 km/h (ARBEX; CUNHA, 2016).

Como apresentado anteriormente na seção 5.7.2, a reta de regressão, dada pela Equação 19, mostra que as variações nos índices de congestionamento representam cerca de 70% das variações no Tvm. Dessa forma, os ganhos com a utilização de faixas exclusivas podem aumentar, ao passo que algumas variáveis podem apresentar melhor desempenho, como os tempos dispendidos nos pontos de parada para embarque e desembarque de passageiros.

Outra variável que pode apresentar melhorias trata-se da demanda. Ao ponto que a utilização de faixas exclusivas leva ao aumento da velocidade operacional e menores tempos de viagem, isso pode cativar e atrair maior número de usuários ao sistema e, possivelmente, acarretar na diminuição da utilização do automóvel e, conseqüentemente, em possíveis ganhos de velocidade em outros trechos não contemplados com o uso de faixa exclusiva.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

Este capítulo contempla, primeiramente, tópicos relacionados a possíveis outras aplicações do MAEC-TP, definindo outros objetos de estudos e obtendo outros resultados. Depois, são realizados comentários gerais sobre o desenvolvimento do trabalho e, por fim, apresentadas recomendações para trabalhos futuros.

6.1 OUTRAS APLICAÇÕES

Durante o desenvolvimento deste trabalho, verificou-se que o MAECT-TP pode ser explorado, ainda, em outras áreas e análises, brevemente descritas a seguir, sob dois aspectos principais: ações gerenciais e mobilidade urbana.

6.1.1 Ações gerenciais

Acredita-se que o método apresentado possa ser utilizado pelos órgãos públicos planejadores e empresas prestadoras dos serviços de TPUO, explorando a relação entre os índices de congestionamento e os tempos de viagem nas seguintes frentes:

- a. Pistas exclusivas para ônibus: o uso de pistas segregadas pode ser identificado como alternativa mitigadora de possíveis problemas encontrados na relação $I_{\text{congest}} \times T_{\text{vm}}$, correspondendo a, por exemplo, mudanças para sistema de BRT (*Bus Rapid Transit*).
- b. Análise de níveis do serviço do transporte público coletivo por ônibus: a relação determinada no método pode indicar horários onde os níveis do serviço podem estar insuficientes, podendo-se direcionar análises a estes horários a fim de verificar a qualidade do serviço nesse aspecto.
- c. Avaliação de melhorias nas linhas e itinerários: mudanças no sistema de TPUO frente aos efeitos do congestionamento, principalmente em relação à infraestrutura e itinerários, podem ser avaliadas quanto às suas melhorias, recalculando-se os parâmetros obtidos da relação $I_{\text{congest}} \times T_{\text{vm}}$.
- d. Revisão e otimização de tabelas horárias da linha analisada: a análise pode indicar que em determinados horários, a frequência pode ser diminuída e, em outros, pode ser necessário que seja aumentada,

baseado na intensidade dos congestionamentos e tempos de viagem. Contudo, nesse caso é importante que sejam avaliados, em conjunto, dados referentes à demanda de passageiros.

- e. Avaliações financeiras: o aumento nos tempos de viagem, de maneira geral, impacta nos tempos de ciclo, que influenciam o dimensionamento de frota e, conseqüentemente, os custos de operação e, por conseguinte, a tarifa, o que pode impactar na demanda de passageiros. Dessa forma, resultados da aplicação do MAEC-TP podem indicar a necessidade de avaliações de custo com a finalidade de identificar a viabilidade financeira da operação da linha analisada.

6.1.2 Mobilidade Urbana

Em relação ao índice de congestionamento obtido, algumas análises podem ser realizadas em relação a aspectos gerais relacionados à mobilidade urbana em um bairro, município ou região. Nesses casos, a relação com os tempos de viagem do TPUO fica implícita, mas os índices calculados podem ser direcionados a outros estudos e análises:

- a. Análises de circulação viária: índices de congestionamento altos podem alertar para a necessidade de mudanças na infraestrutura viária de determinada localidade, como mudanças de sentido, implantação de binários e outras intervenções.
- b. Análise de investimentos na malha viária: relativo à ampliação de capacidades ou abertura de novas vias.
- c. Estudos de níveis de acessibilidade em áreas ou bairros de uma cidade.
- d. Estudos de Mobilidade Urbana: índices de congestionamento podem subsidiar estudos em Planos de Mobilidade, em relação ao próprio sistema de TPUO, circulação viária de automóveis ou mesmo investimentos para incentivo da utilização de modos ativos (a pé e bicicletas) em regiões frequentemente congestionadas.

6.2 COMENTÁRIOS E CONSIDERAÇÕES

Destaca-se, primeiramente, que todos os objetivos propostos nessa dissertação foram alcançados. Foi possível revisar e entender conceitos importantes

a respeito do tema, relacionados ao transporte público coletivo operado por ônibus e aos congestionamentos em vias urbanas. Além disso, a partir da revisão sistemática de literatura, foi possível identificar a escassez de estudos que abordem o tema dessa pesquisa. Ainda assim, algumas das produções analisadas contribuíram com o desenvolvimento do método proposto nessa pesquisa.

O desenvolvimento deste trabalho passou por diversos momentos de mudanças nos métodos e resultados almejados, sempre buscando melhoria e maiores contribuições à presente área de pesquisa, sobretudo o transporte público urbano operado por ônibus.

Dessa forma, ao longo do processo, para realizar a aplicação do MAEC-TP, foram necessárias adaptações e simplificações, como as, anteriormente citadas, do *Google Maps* em relação aos dados de velocidades nas vias urbanas (trânsito típico) não serem apresentados por dia, semana, mês ou ano, mas sim, de maneira acumulada e o fato da disponibilidade de dados operacionais apenas até abril de 2019, porém, esses fatos não impediram a demonstração didática da aplicabilidade do MAEC-TP e, conseqüentemente, o cumprimento dos objetivos dessa dissertação.

O MAEC-TP se apresenta como a contribuição principal dessa dissertação para a área dos sistemas de transportes, uma vez que foi possível elaborar um conjunto de procedimentos que possibilitam a avaliação de operações do TPUO frente a congestionamentos em vias urbanas.

Foi demonstrado, por meio de um objeto de estudo voltado à implantação hipotética de faixas exclusivas, que é possível utilizar o método na previsão de efeitos, estimando ganhos em velocidade, tempos de viagem e diminuição da frota operacional. Também deve-se destacar a possibilidade de exploração do método em outras aplicações relacionadas a ações gerenciais e mobilidade urbana.

Deve-se ressaltar que a utilização do *Google Maps* remete a tecnologias digitais cada vez mais presentes no cotidiano e cujo uso pode ser incentivado e agregado às operações e avaliações de sistemas de transporte, utilizando-se de conceitos atuais e cada vez mais abordados e presentes na rotina dos centros urbanos, como a “Internet das Coisas” referente à interconexão entre objetos

conectados à internet e o conceito de “Big Data”, relativo a alta capacidade de processamento de grande quantidade de dados.

Com o avanço da tecnologia, o volume de informações é cada vez maior, e seu uso em estudos relacionados a sistemas de transporte possibilita, inclusive, a formação de grandes bancos de dados e monitoramento constante de condições de tráfego e tempos de viagem para sistemas de TPUO, por exemplo.

Acredita-se que o MAECT-TP possa incentivar o desenvolvimento de outros trabalhos, incluindo sua continuidade e aperfeiçoamento, uma vez que, como identificado, são poucas as produções brasileiras que abordam esse tipo de problema no TPUO causado pelo excesso de veículos em vias muitas vezes saturadas.

Além disso, destaca-se que a utilização do método desenvolvido nesse trabalho pode retornar resultados relativamente rápidos e com baixo custo, sendo composto por procedimentos pouco complexos, podendo se utilizar de tecnologias digitais simples e, quando necessário, pesquisas de campo reduzidas.

Vale lembrar que, como demonstrado no estudo de caso apresentado, a obtenção dos índices de congestionamentos foi realizada por meio do *Google Maps* e os tempos de viagem foram obtidos por meio de dados de monitoramento da operadora do TPUO de Florianópolis. Entretanto, para municípios sem esse tipo de monitoramento do sistema, é possível realizar viagens pontuais que possam informar dados suficientes em termos de tempos de viagem para a aplicação do MAEC-TP.

Também deve-se apontar que os processos para cálculo dos índices de congestionamento, principalmente, podem ser sistematizados, gerando softwares, aplicativos ou outros recursos digitais que facilitem a obtenção, leitura e análise de dados de congestionamento.

6.3 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros, a partir da presente dissertação, são apresentadas algumas recomendações:

- a) A primeira recomendação vai ao encontro das outras aplicações do método desenvolvido citadas na seção 6.1. Incentiva-se que outros pesquisadores da área realizem estudos relacionados a ações

- gerenciais e mobilidade urbana, utilizando-se, integral ou parcialmente do MAEC-TP, confirmando sua ampla e diversificada aplicabilidade e contribuindo para a área a partir da demonstração de novos resultados.
- b) Recomenda-se que, em pesquisas futuras, explore-se a relação entre o TPUO e outras variáveis, como demanda, ou tempos de parada, desenvolvendo um modelo de regressão múltipla que busque ampliar o conhecimento sobre as variações nos tempos de viagem, indicando variáveis críticas, balizando decisões para a melhoria das operações e aperfeiçoando o MAEC-TP.
 - c) Por fim, incita-se a realização de análises de sensibilidade para a curva determinada para descrever a relação entre tempos de viagem médios e índices de congestionamento, de modo a utilizá-la como ferramenta de prognóstico, impondo, por exemplo, aumentos nos índices de congestionamento e verificando qual o incremento causado nos tempos de viagem, realizando-se, posteriormente, dimensionamentos de frotas em cenários atuais e futuros, de modo a identificar possíveis aumentos de frota e custos para sistemas de TPUO, demonstrando, ainda, se possível, para qual índice de congestionamento não seria mais viável a compra ou realocação de novos ônibus para cumprir a programação de determinada linha.

Por fim, ressalta-se a importância de trabalhos acadêmicos dessa natureza que possam contribuir com seu campo, incentivando novos estudos, aplicações, tecnologias e, até mesmo, a formação de novos pesquisadores na área dos sistemas de transportes.

REFERÊNCIAS

ABDULLAH, R.; PRADANA, M. F. The analysis of public transportation system in Serang, Banten. **International Journal of Engineering and Technology**, v. 9, n. 2, p. 350-353, abr/mai, 2017.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15570**: Transporte – Especificações para fabricação de veículos de características urbanas para transporte coletivo de passageiros. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 14022**: Acessibilidade em veículos de características urbanas para o transporte coletivo de passageiros. Rio de Janeiro, 2011.

ANDRADE, G. R. de. **Capacidade e Relação Fluxo-Velocidade em Autoestradas e Rodovias de Pista Dupla Paulistas**. São Carlos, 154 p. Dissertação (Mestrado em Ciências – Planejamento e Operação de Sistemas de Transportes). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, 2012.

ANDRADE, K. R.; PAULA, V. A. de; MESQUITA, A. P.; VILLELA, P. A. Problemas relacionados aos pontos de parada do transporte público nas cidades de porte médio. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DA LARES, 4, 2004, Disponível em: <http://www.lares.org.br/SL4G_andrade.pdf>. Acesso em: 28 Mar. 2018.

ANNEMA, J. A.; DE JONG, M. The History of the Transport Future – Evaluating Dutch Transport Scenarios of the Past. **Transport Reviews**, v. 31, n. 3, p. 341-356, mai, 2011.

ANTP – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS. **Transporte Humano** - cidades com qualidade de vida. São Paulo, ANTP, 1997.

_____. **Relatório Comparativo 2003/2014** – Sistema de Informação da Mobilidade Urbana da ANTP. Julho, 2016.

_____. **Custos dos serviços de transporte público por ônibus**: método de cálculo. São Paulo: ANTP, 2017.

ARBEX, R. O; CUNHA, C. B. da. Avaliação das mudanças nas velocidades das linhas de ônibus na cidade de São Paulo após a implantação de faixas exclusivas através da análise de dados de GPS. **Transportes**, v. 24, n. 4, p. 21-31, 2016.

ARCHDAILY. Como projetar corredores de ônibus que melhorem a segurança viária (14/11/2015). Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/777037/como-projetar-corredores-de-onibus-que-melhem-a-seguranca-viaria-segundo-embarq>>. Acesso em: 07 jan. 2020.

BARBETTA, P. A.; REIS, M. M.; BORNIA, A. C. **Estatística**: para cursos de engenharia e informática. 3. ed., São Paulo: Atlas, 2010.

BARTH, D. The bright side of sitting in traffic: Crowdsourcing road congestion data. 25 de agosto de 2009. Disponível em: <<https://googleblog.blogspot.com/2009/08/bright-side-of-sitting-in-traffic.html>>. Acesso em 03 out. 2019.

BITTENCOURT, S. **Ponto de ônibus ‘sem teto’**. 2015. Disponível em: <<https://www.tribunapr.com.br/cacadores-de-noticias/campo-de-santana/ponto-de-onibus-sem-teto/>>. Acesso em: 16 dez. 2018.

BORGES, E. A mobilidade urbana centrada no uso do automóvel: um estudo do saco da cidade de Maringá – PR. **Percurso – NEMO**, v. 8, n. 2, p. 163-186, 2016.

BRASIL. Lei nº 12.857, de 3 de janeiro de 2012, Política Nacional de Mobilidade Urbana, Brasília, 2012.

BRINDLE, B. How does *Google Maps* predict traffic? 31 de outubro de 2014. HowStuffWorks.com. Disponível em: <<https://electronics.howstuffworks.com/how-does-google-maps-predict-traffic.htm>>. Acesso em 03 out. 2019.

CAROSI, S.; GUALANDI, S.; MALUCELLI, F.; TRESOLDI, E. Delay management in public Transportation: service regularity issues and crew re-scheduling. **Transportation Research Procedia**, v. 10, p. 483-492, 2015.

CARVALHO JUNIOR, C. V. de O.; BRUNI, A. L.; PAIXÃO, R. B.; OLIVEIRA FILHO, N. F. Uso da Margem de Contribuição em Controladoria Um estudo de caso em empresa de transporte urbano de passageiro. **Revista de Contabilidade do Mestrado em Ciências Contábeis da UERJ**, v.14, n.2, p. 2-17, 2009.

CASTILHO, R. A. de. **Análise e Simulação da Operação de Ônibus em Corredores Exclusivos**. Porto Alegre, 121p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção – Transportes). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes. Escola de Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1997.

CATS, O.; WEST, J.; ELIASSON, J. A dynamic stochastic model for evaluating congestion and crowding effects in transit systems. **Transportation Research Part B**, v. 89, p. 43-57, 2016.

CEDER, A.; WILSON, N. H. M. Bus Network Design. **Transportation Research Part B**, v. 20, n. 4, p. 331-344, 1986.

CHARNET R; FREIRE, C. A. de L.; CHARNET, E. M. R.; BONVINO, H. **Análise de Modelos de Regressão Linear**: com aplicações. 2. ed. Campinas: Editora da Unicamp, 2008.

COELHO, A. S. **Um modelo heurístico para distribuição e alocação de ônibus em linhas urbanas, com opção de análise dos resultados através de simulação**. Florianópolis, 157p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina, 1998.

CONSÓRCIO FÊNIX. **Horários e Itinerário Linha 320 TILAG-TICEN Via Beira Mar**. Disponível em: <<http://www.consorciofenix.com.br/horarios/tilag-ticen-via-beira-mar,320#mapa>>. Acesso em: 12 abr. 2019.

_____. **Quem somos**. Disponível em: <<http://www.consorciofenix.com.br/quem-somos>>. Acesso em: 12 abr. 2019.

CRUZ, J. A. **Modelo de Demanda Variável para a Determinação da Oferta de Transporte Coletivo por Ônibus**. Florianópolis, 208p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina, 1991.

DAHL, R. Heavy Traffic Ahead – Car Culture Accelerates. **Environmental Health Perspectives**, v. 113, n. 4, abr, 2015.

DETRAN/SC – DEPARTAMENTO ESTADUAL DE TRÂNSITO DE SANTA CATARINA. Estatística de veículos. Disponível em: <<http://consultas.detrannet.sc.gov.br/Estatistica/Veiculos/>>. Acesso em 18 mar. 2020.

DURAKU, R.; ATASANOVA, V.; KRSTANOSKI, N. Modelling and analysis public transport on urban zone of Prishtina as well as measures for its improvement. **International Journal of Civil Engineering and Technology**, v. 8, n. 10, p. 1763-1776, out, 2017.

FERRAZ, A. C. C. P.; TORRES, I. G. E. **Transporte Público Urbano**. 2. ed., São Carlos: RiMa, 2004.

FREITAS, L. H. W. de. **Análise e dimensionamento da oferta de transporte por ônibus – metodologia**. Companhia de Engenharia de Tráfego – CET (série Boletim Técnico da CET nº 35). São Paulo, 1985.

FLORIANÓPOLIS. Mapa de bairros do município. Geoprocessamento Corporativo – Prefeitura de Florianópolis. Disponível em: <http://geo.pmf.sc.gov.br/geo_fpolis/>. Acesso em: 30 set. 2019.

GALHARDI, E.; PACINI, P.; NEVES, I. V. **Conduzindo o Progresso – A história do Transporte e os 20 anos da NTU**. Brasília: Escritório de Histórias, 2007.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed., São Paulo: Atlas, 2002.

GOOGLE MAPS. **Ligação Ilha-Continente, Florianópolis**. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps>>. Acesso em: 05 jun. 2018.

HOEL, L. A.; GARBER, N. J.; SADEK, A. W. **Engenharia de Infraestrutura de Transportes** – uma integração multimodal. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **IBGE Cidades**. Florianópolis – Panorama. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/florianopolis/panorama>>. Acesso em 13 dez. 2019.

IPEA – INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **A Mobilidade Urbana no Brasil**. Infraestrutura Social e Urbana no Brasil – subsídios para uma agenda de

pesquisa e formulação de políticas públicas. Comunicação nº 94. Série: Eixos do Desenvolvimento Brasileiro. Brasília, 2011.

LADEIRA, M. C. M. **Regulação da Operação de Linhas de Transporte Público Urbano: Controle do Headway**. Porto Alegre, 129p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção – Sistemas de Transportes). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Escola de Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2014.

LIMA JUNIOR, O. F. **Qualidade em Serviços de Transportes**. Manual Técnico da Qualidade. Universidade de São Paulo: Ministério dos Transportes, 1994.

LINDAU, L. A.; PETZHOLD, G. S.; SILVA, C. A. M. da; FACCHINI, D. BRT e Corredores Prioritários para Ônibus: Panorama no Continente Americano. In: ANPET. 27. **Anais...** Belém, 2013.

LOGIT ENGENHARIA CONSULTIVA; STRATEGY&; MACHADO MEYER SENDACZ E OPICE ADVOGADOS. **Plano de Mobilidade Urbana Sustentável da Grande Florianópolis - PLAMUS** / Florianópolis: Logit Engenharia Consultiva – 2015.

LOMAX, T.; TURNER, S.; SHUNK, G.; LEVINSON, H. S.; PRATT, R. H.; BAY, P. N.; DOUGLAS, G. B. **Quantifying Congestion: User's Guide**. Report 398, Volume 2. Transportation Research Board, National Academy Press, Washington, DC, 1997.

LOUREIRO, S. A.; NOLETTA, A. P. R.; SANTOS, L. da S.; SANTOS JUNIOR, J. B. S.; LIMA JUNIOR, O. F. O uso do método de revisão sistemática da literatura em logística, transportes e cadeia de suprimentos. **Transportes**, v. 24, n. 1, p. 95-106, 2016.

MAIA, A. G. **Econometria: conceitos e aplicações**. 1. ed., São Paulo: Saint Paul, 2017.

MARQUES, R. Bolsões de estacionamento integrado: quando e como optar por esta política? **Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento – ITDP**, Rio de Janeiro, 30 nov. 2017. Disponível em: <<https://itdpbrasil.org/bolsoes-de-estacionamento-integrado-quando-e-como-optar-por-esta-politica/>>. Acesso em: 26 mar. 2020.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Política Nacional de Mobilidade Urbana Sustentável.** Cadernos MCidades – Mobilidade Urbana. Brasília, 2004.

NAPIERALA, H. **Um Modelo de Otimização de Redes Troncais de Transporte Público Urbano de Passageiros.** Cascavel: Edunioeste, 2010.

NGUYEN-PHUOC, D, Q.; CURRIE, G.; YOUNG, B. Public Transport Congestion Relief Measurement – A New Framework and Its Impacts. **Proceedings of the 37th Australasian Research Forum**, Sidney, Austrália, 2015.

NTU – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS EMPRESAS DE TRANSPORTES URBANOS. **Conduzindo o Progresso – A História do Transporte e os 20 anos da NTU.** Brasília: Escritório de Histórias, 2007.

_____. **Estudos de BRT no Brasil.** Caderno Técnico. Brasília: NTU, 2011.

_____. **Faixas exclusivas de ônibus urbanos.** Experiências de sucesso. Brasília: NTU, 2013.

_____. **Anuário NTU: 2016-2017.** Brasília: NTU, 2017a.

_____. **NTU 30 Anos.** Brasília: Isca Conteúdo e Projetos Culturais, 2017b.

OLIVEIRA, J. G. R. de. **A Importância do Sistema de Transporte Coletivo para o Desenvolvimento do Município de Campo Grande - MS.** Campo Grande, 112p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Local). Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Local. Universidade Católica Dom Bosco, 2003.

PAIVA, C. da S.; SOUZA, G. A.de; CARVALHO, A. C. N. Incentivos ao Transporte: Políticas Públicas, Leis e Subsídios para o Sistema de Transporte Público Coletivo e Mobilidade Urbana em Manaus/AM. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE QUESTÕES SOCIOAMBIENTAIS E SUSTENTABILIDADE NA AMAZÔNIA, 2, Manaus. **Anais...** Manaus, 2015.

PEREIRA, R. H. M.; SCHWANEN, T. **Tempo de deslocamento casa-trabalho no Brasil (1992-2009):** diferenças entre Regiões Metropolitanas, níveis de renda e sexo. Texto para discussão nº1813, Instituto de Pesquisa Aplicada (IPEA). Brasília, 2013.

PERO, V.; STEFANELLI, V. A questão da mobilidade urbana nas metrópoles brasileiras. **Revista de Economia Contemporânea**, v. 19, n. 3, p. 366-402, set-dez, 2015.

PILON, J. A. **Sistema de Informação ao Usuário do Transporte Coletivo por Ônibus na Cidade de Vitória - ES**. Ponta Grossa, 124p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção – Gestão Industrial). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2009.

PITKA, P.; SIMEUNOVIC, M.; TANACKOV, I.; SAVKOVIC, T. Deterministic model of headway disturbance propagation along an urban public transport line. **Technical Gazette**, v. 24, n. 4, p. 1147-1154, 2017.

QUADROS JUNIOR, H. R. de. **Entre o Ônibus e o Carro: A Questão da Prioridade do Transporte Público na Mobilidade Urbana Brasileira**. Florianópolis, 165p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, 2011.

RAO, A. M.; RAO, K. R. Measuring Urban Traffic Congestion – A Review. **International Journal for Traffic and Transport Engineering**, v. 2, n.4, p. 286-305, 2012.

REIS, J. G. M. dos; LIMA, J. de O.; MACHADO, S. T.; FORMIGONI, A. Bus Rapid Transit (BRT) como solução para o transporte público de passageiros na cidade de São Paulo. **Journal of Engineering and Technology Innovation**. São Paulo, v. 1, n.1, p. 83-98, set/dez, 2013.

ROESS, R. P.; PRASSAS, E. S.; McSHANE, W. R. **Traffic Engineering**. 4 ed, Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2011.

ROSA FILHO, D. de S. **Análise de Tipos de Ônibus Urbanos e Dimensionamento de Frotas**. Rio de Janeiro, 268p. Tese (Mestrado em Ciências – Engenharia de Transportes). Instituto Militar de Engenharia, 1986.

SÃO PAULO. Regras para circulação de táxi e autos particulares em faixas exclusivas e corredores (2016). Disponível em: <<https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/transportes/institucional/index.php?p=168072>>. Acesso em: 04 dez. 2019.

SCHWEITZER, L.; TAYLOR, B. D. Just pricing: the distributional effects of congestion pricing and sales taxes. **Transportation**, v. 35, n. 6, p. 797-812, mai, 2008.

SERMARINI, R. A. **Pressuposições da ANOVA**. Aula 05, e-disciplinas USP. 22 de setembro de 2016. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2059747/mod_resource/content/1/aula05.pdf>. Acesso em: 13 dez. 2019.

SILVA, E. L. da; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4. ed., Florianópolis: UFSC, 2005.

SILVEIRA, C. S. **Acessibilidade Espacial no Transporte Público Urbano: estudo de caso em Joinville - SC**. Florianópolis, 210p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Santa Catarina, 2012.

SILVEIRA, H. R. da; OLIVEIRA, M. J. F. de. A Simulação como Ferramenta de Auxílio ao Dimensionamento de Frotas para o Transporte Público Urbano. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA OPERACIONAL E LOGÍSTICA DA MARINHA, 7, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: p. 164-177, 2004.

SOBOTA, A.; ZOCHOWSKA, R. Model of urban public transport network for the analysis of punctuality. **Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering**, v. 28, n. 1, mai, 2008.

SONI, G.; KODALI, R. A critical analysis of supply chain management content in empirical research. **Business Process Management Journal**, v. 17, n. 2, p. 238-266, 2011.

TECHWALLA. What do the Road Colors in *Google Maps* Mean? Disponível em: <<https://www.techwalla.com/articles/what-do-the-road-colors-in-google-maps-mean>>. Acesso em 02 out. 2019.

TRB – TRANSPORTATION RESEARCH BOARD. **Highway Capacity Manual**. Washington, DC: National Research Council, 2000.

_____. **Highway Capacity Manual**. A Guide for Multimodal Mobility Analysis. 6. ed. Washington, DC: National Academies Of Sciences, Engineering, And Medicine, 2016. 4 v.

UNECE – UNITED NATIONS ECONOMIC COMMISSION FOR EUROPE. **Sustainable Urban Mobility and Public Transport in UNECE Capitals**. Nova York e Genebra, 155p. Transport Trends and Economics Series (WP.5). UNECE, 2015

VALENTE, A. M.; NOVAES, A. G.; PASSAGLIA, E.; VIEIRA, H. **Gerenciamento de Transporte e Frotas**. 2. ed. rev., São Paulo: Cengage Learning, 2008.

VASCONCELLOS, E. A. de; **Transporte e meio ambiente: conceitos e informações para análise de impactos**. São Paulo: Ed. do Autor, 2006.

VASCONCELLOS, E. A. de; MENDONÇA, A. Política Nacional de Transporte Público no Brasil: organização e implantação de corredores de ônibus. **Revista dos Transportes Públicos – ANTP**, ano 33, v. 126, p. 73-95, 2010.

VIEIRA, A. B. **Roteirização de Ônibus Urbano: Escolha de um Método para as Grandes Cidades Brasileiras**. São Carlos, 167p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes). Universidade de São Paulo, 1999.

VUCHIC, V.R. **Urban Transit: operations, planning and economics**. New Jersey, United States: John Wiley & Sons, Inc, 2005.

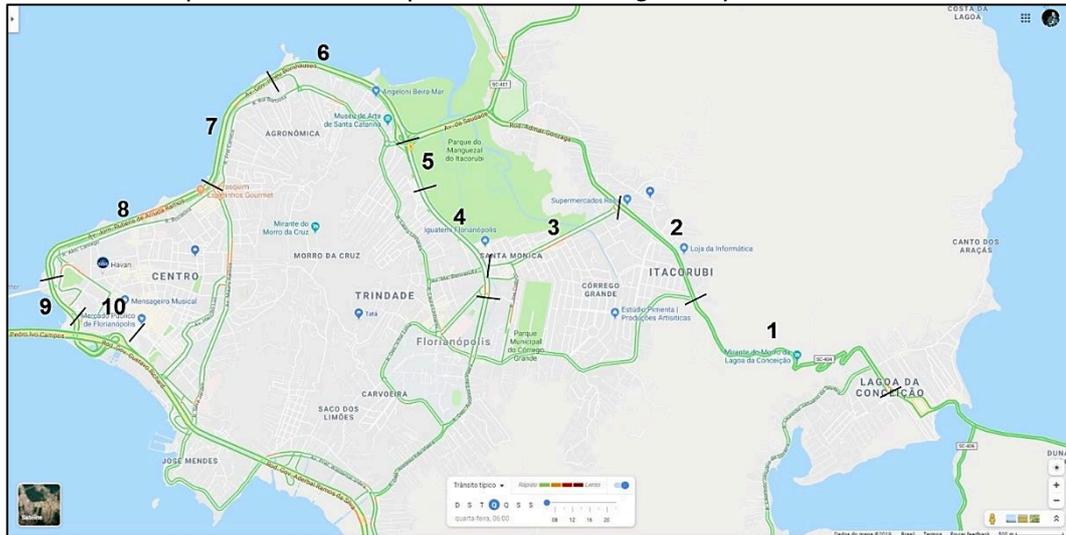
VUCHIC, V.R. **Urban Transit: systems and technology**. New Jersey, United States: John Wiley & Sons, Inc, 2007.

WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT – WBCSD. **Mobility 2030: Meeting the challenges to sustainability**. The Sustainable Mobility Project, Full Report 2004. WBCSD, 2004.

WORLD BANK. **Urban Transport**. Publicado em 06. Abr. 2015. Disponível em: <<http://www.worldbank.org/en/topic/transport/brief/urbantransport>>. Acesso em: 14 mar. 2017.

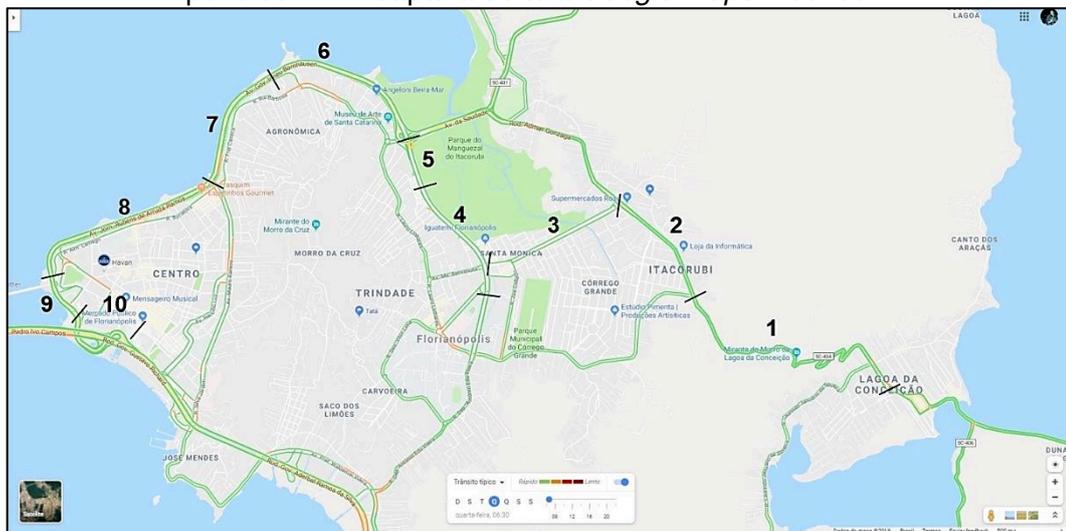
APÊNDICE A - Capturas de tela do Google Maps

Apêndice A-1 - Captura de tela *Google Maps* – 06h00min

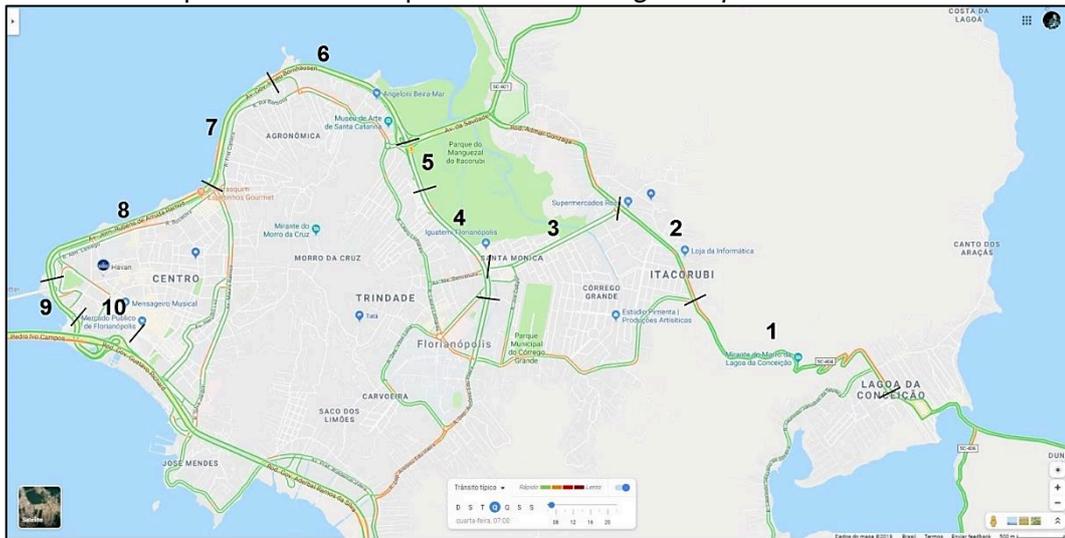


Fonte: Elaboração própria.

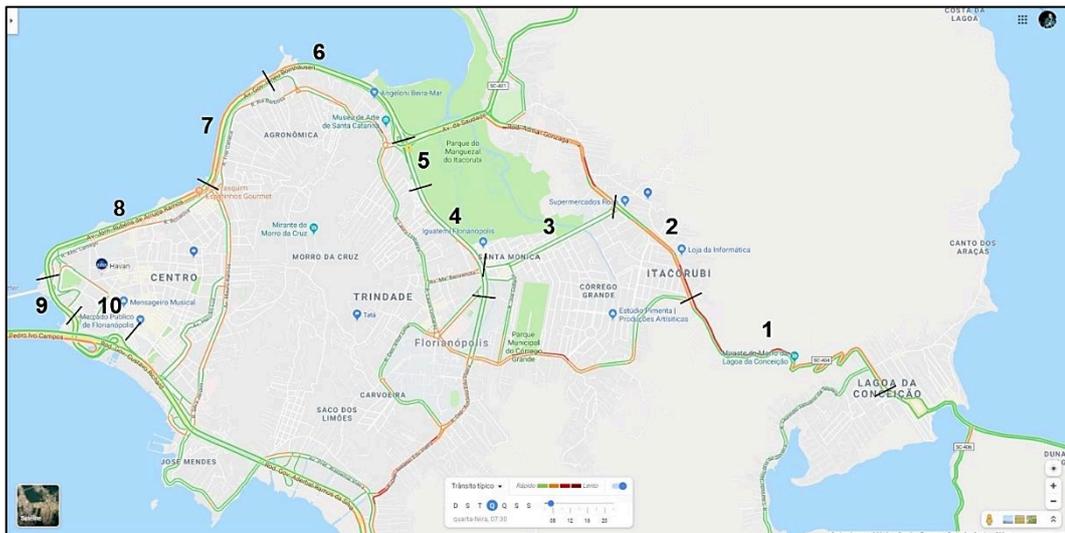
Apêndice A-2 - Captura de tela *Google Maps* – 06h30min



Fonte: Elaboração própria.

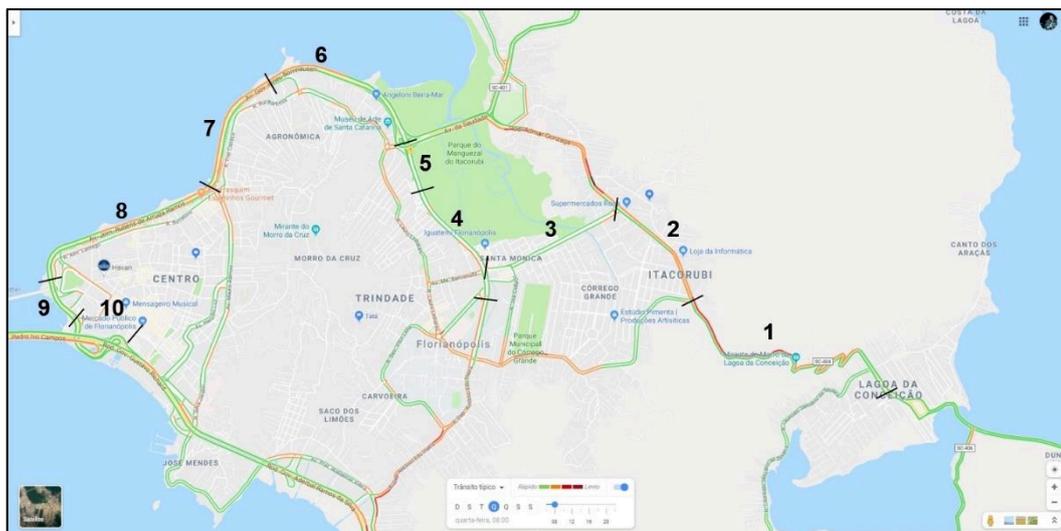
Apêndice A-3 - Captura de tela *Google Maps* – 07h00min

Fonte: Elaboração própria.

Apêndice A-4 - Captura de tela *Google Maps* – 07h30min

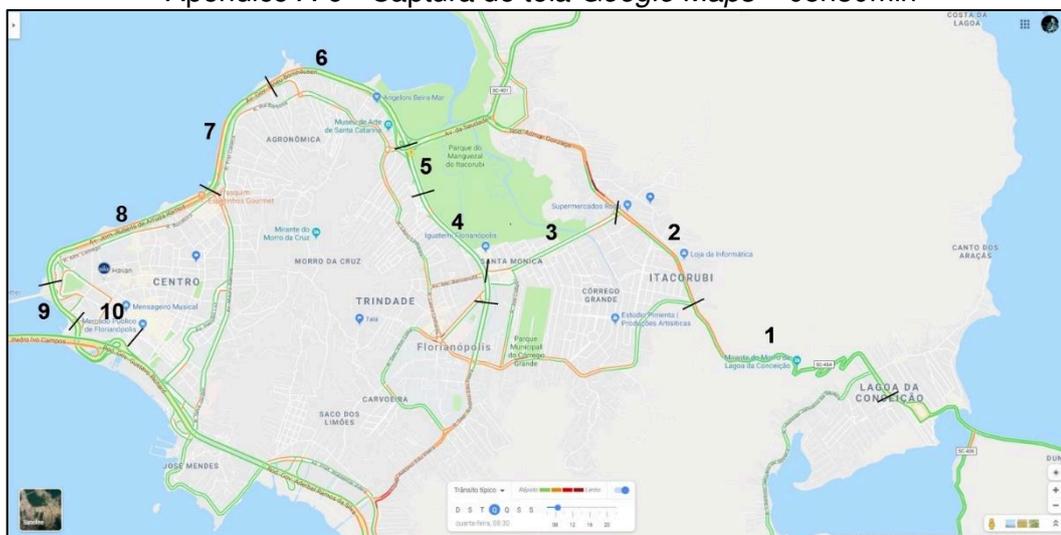
Fonte: Elaboração própria.

Apêndice A-5 - Captura de tela *Google Maps* – 08h00min



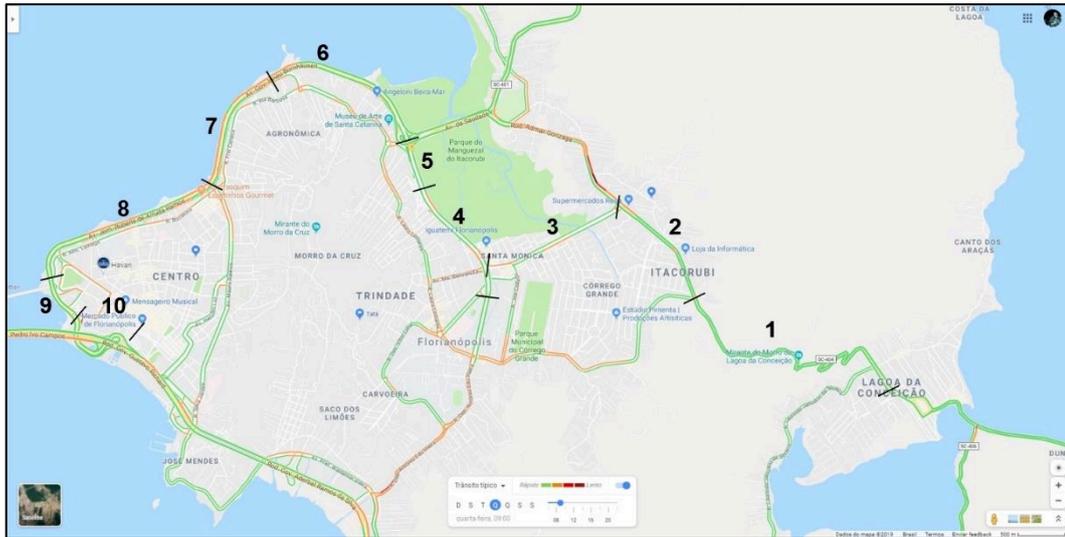
Fonte: Elaboração própria.

Apêndice A-6 - Captura de tela *Google Maps* – 08h30min



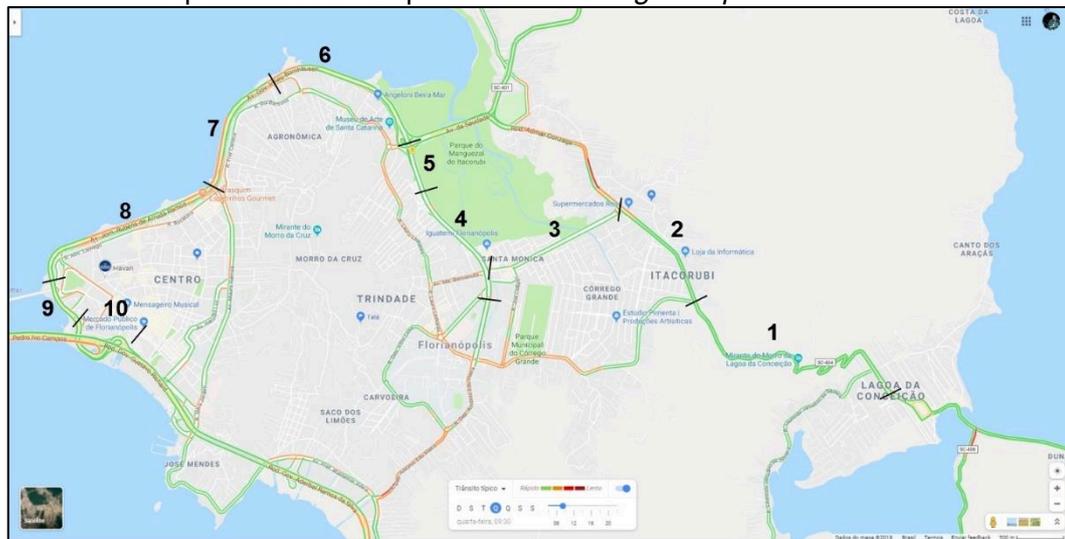
Fonte: Elaboração própria.

Apêndice A-7 - Captura de tela *Google Maps* – 09h00min

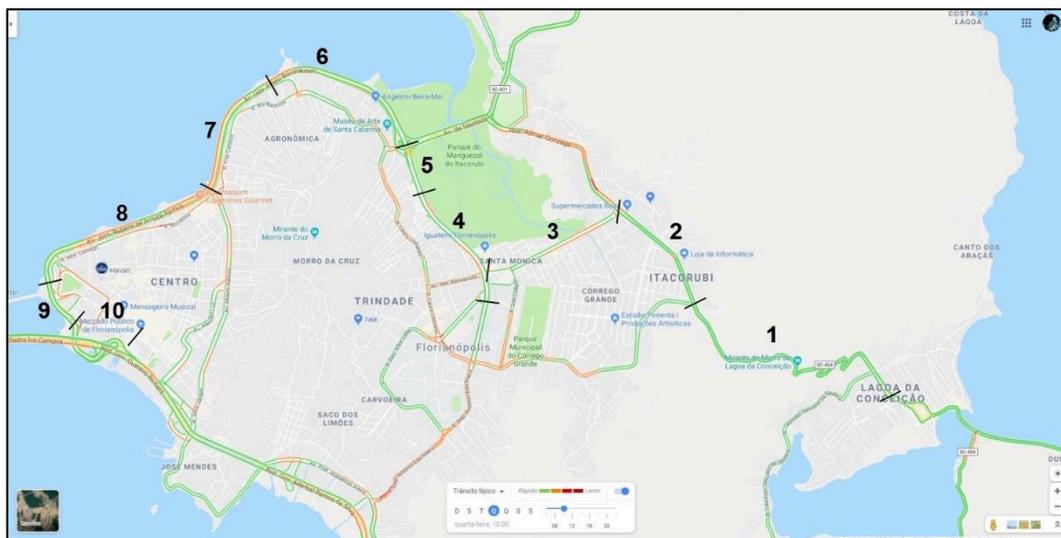


Fonte: Elaboração própria.

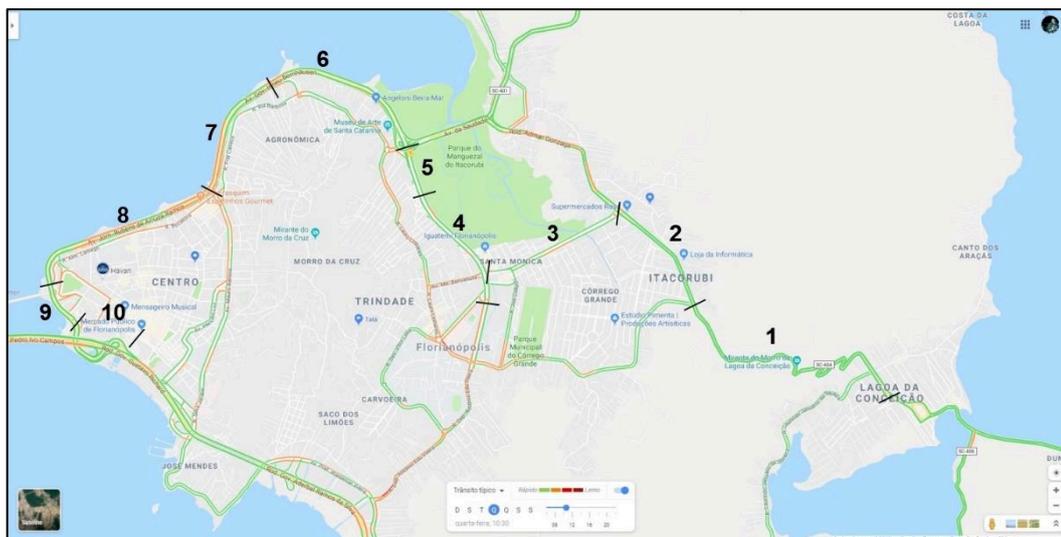
Apêndice A-8 - Captura de tela *Google Maps* – 09h30min



Fonte: Elaboração própria.

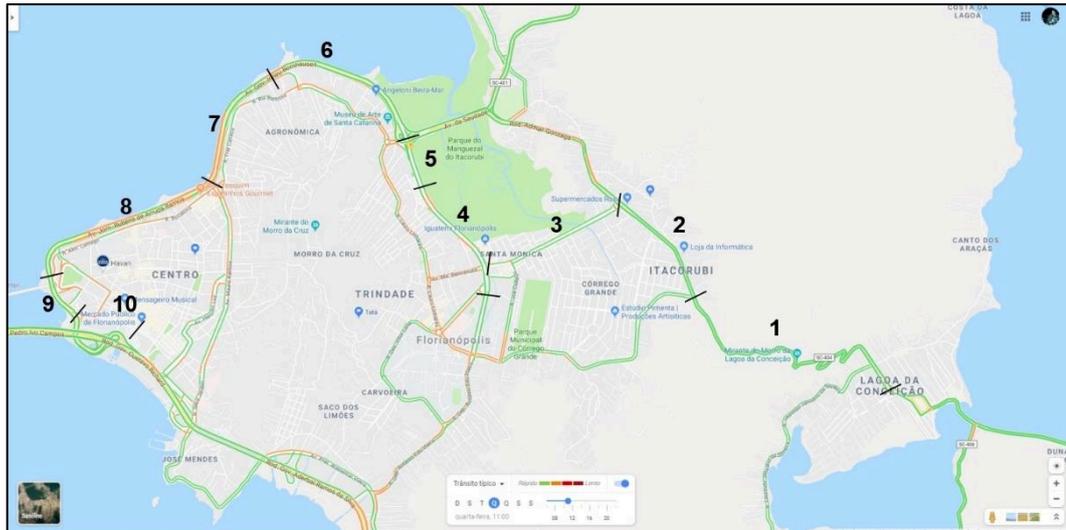
Apêndice A-9 - Captura de tela *Google Maps* – 10h00min

Fonte: Elaboração própria.

Apêndice A-10 - Captura de tela *Google Maps* – 10h30min

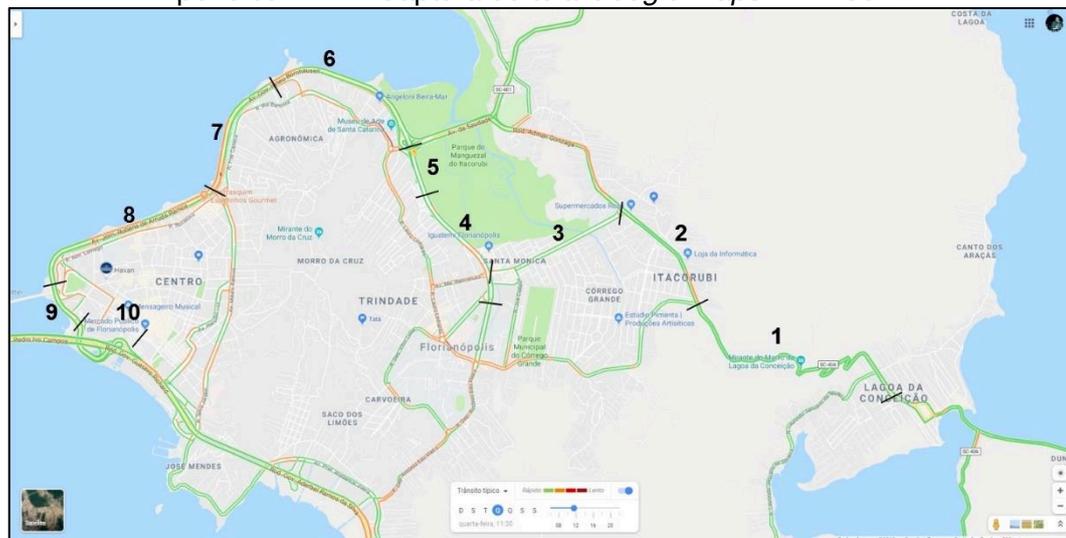
Fonte: Elaboração própria.

Apêndice A-11 - Captura de tela *Google Maps* – 11h00min

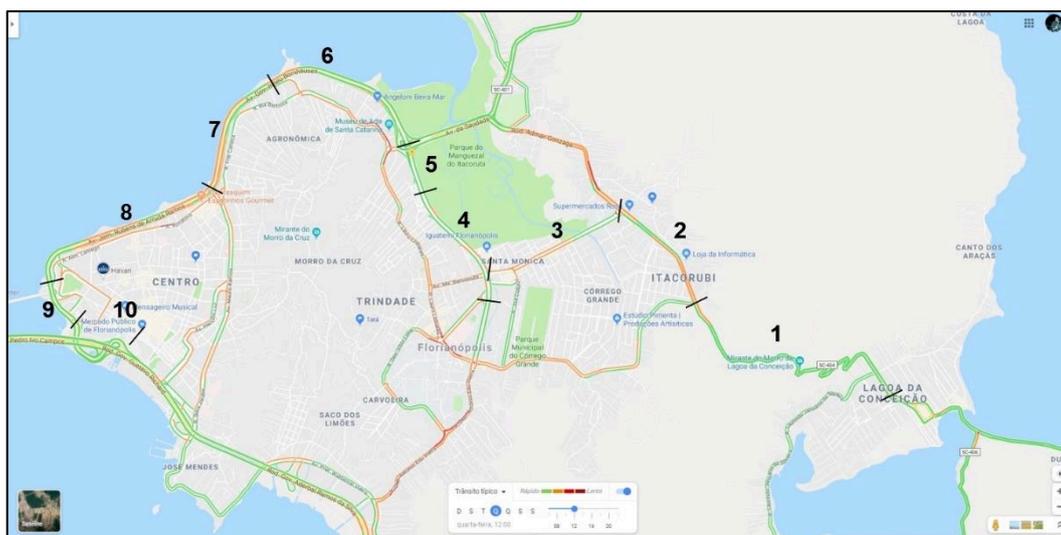


Fonte: Elaboração própria.

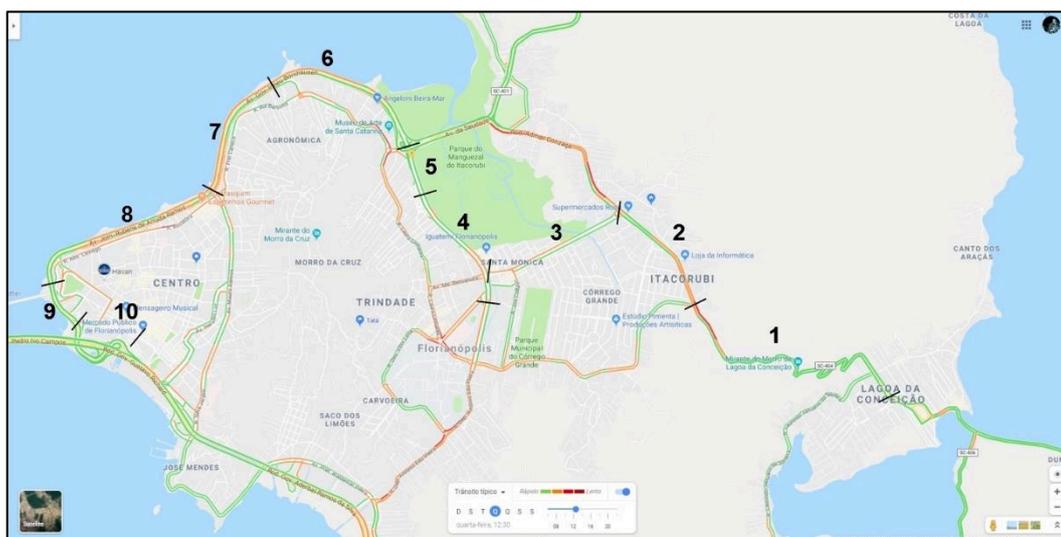
Apêndice A-12 - Captura de tela *Google Maps* – 11h30min



Fonte: Elaboração própria.

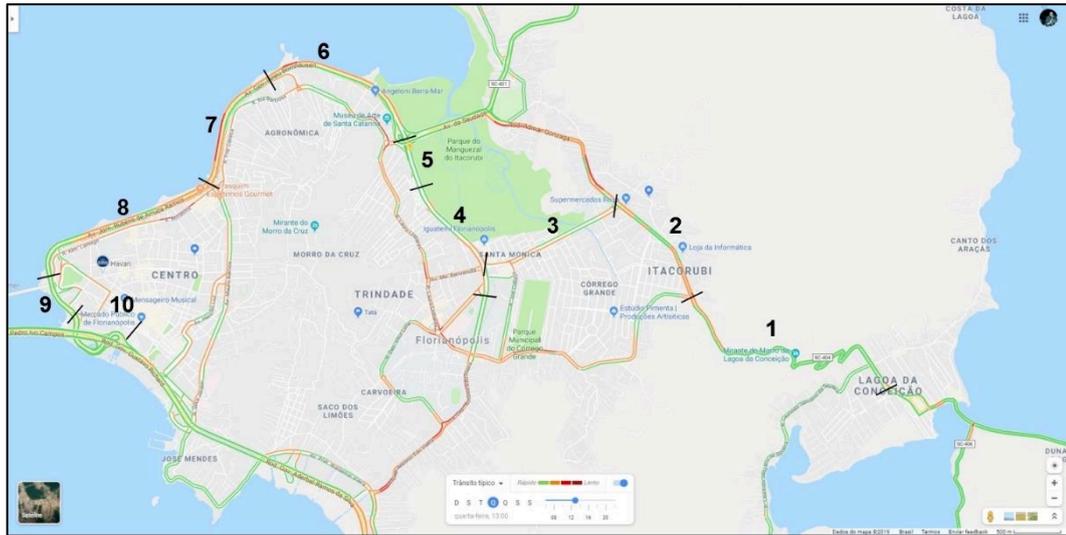
Apêndice A-13 - Captura de tela *Google Maps* – 12h00min

Fonte: Elaboração própria.

Apêndice A-14 - Captura de tela *Google Maps* – 12h30min

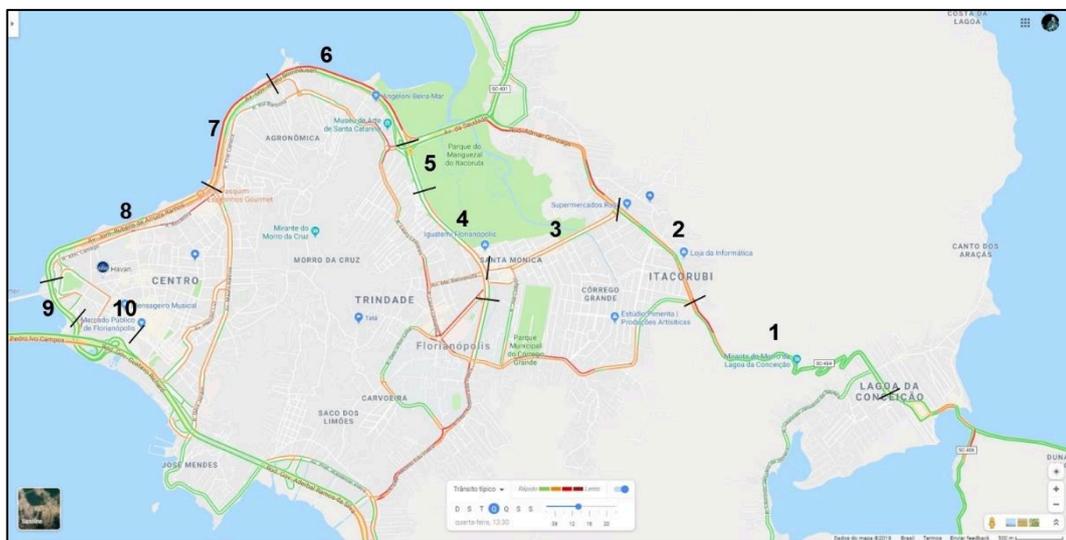
Fonte: Elaboração própria.

Apêndice A-15 - Captura de tela *Google Maps* – 13h00min



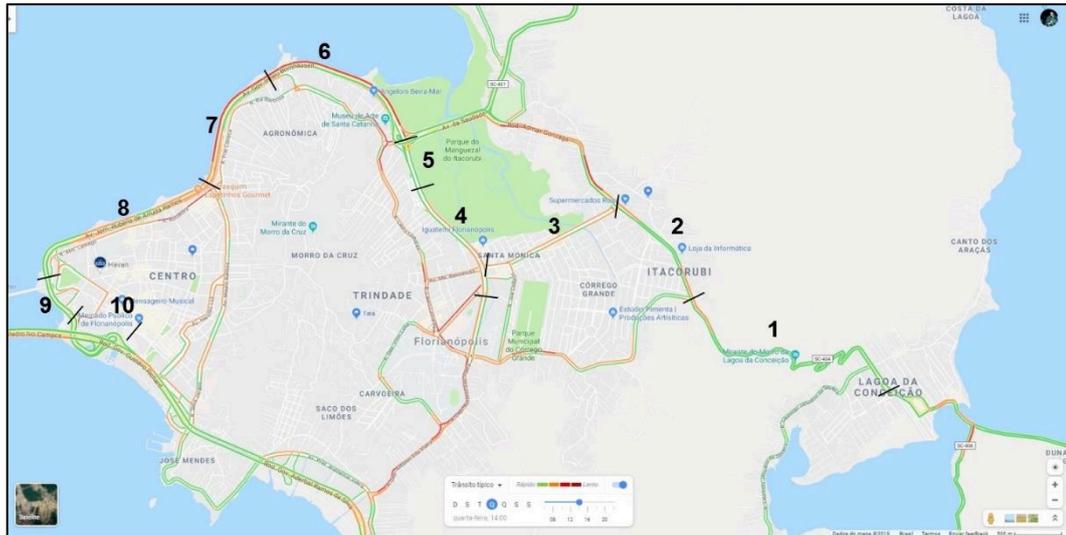
Fonte: Elaboração própria.

Apêndice A-16 - Captura de tela *Google Maps* – 13h30min



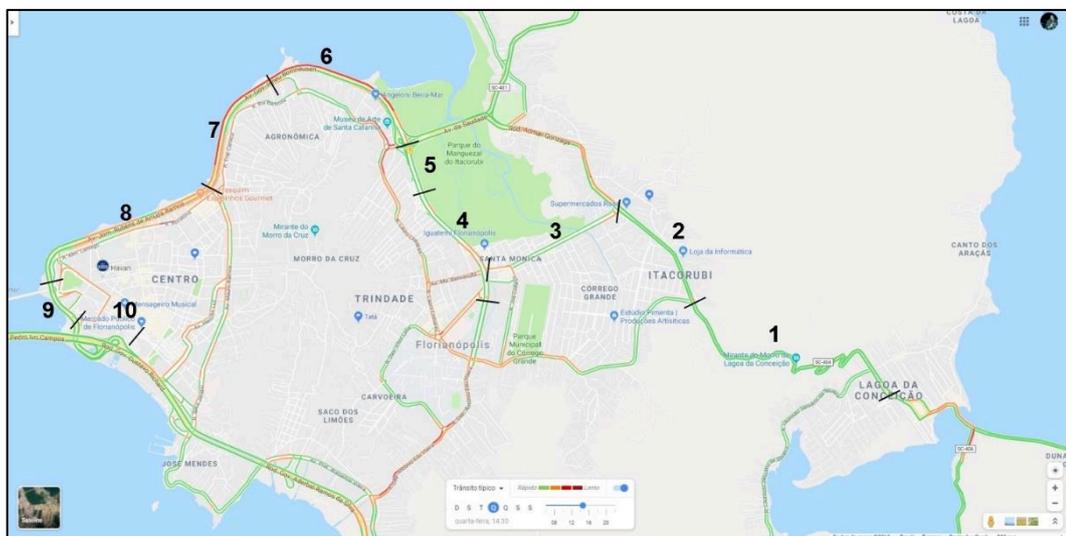
Fonte: Elaboração própria.

Apêndice A-17 - Captura de tela *Google Maps* – 14h00min

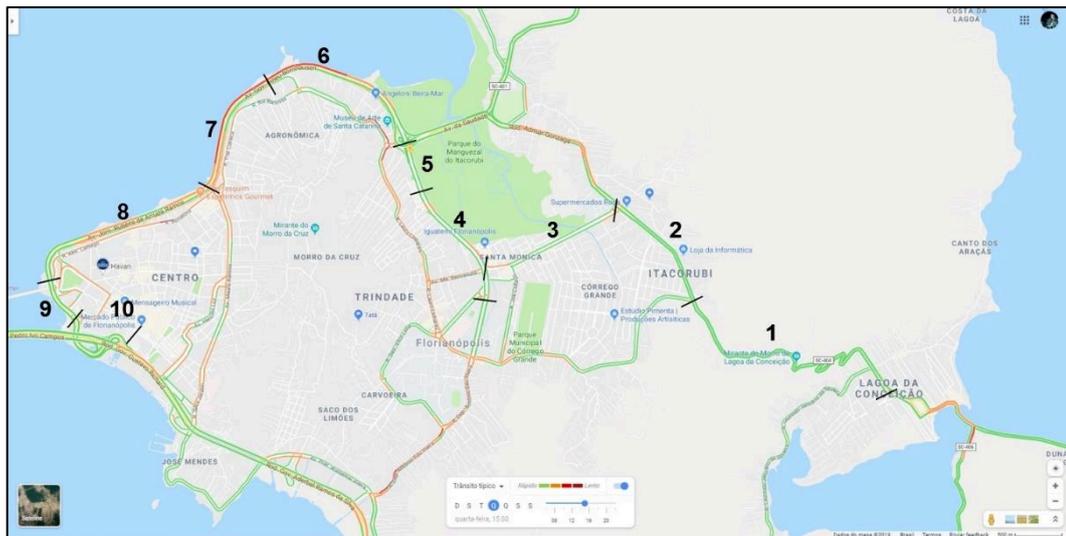


Fonte: Elaboração própria.

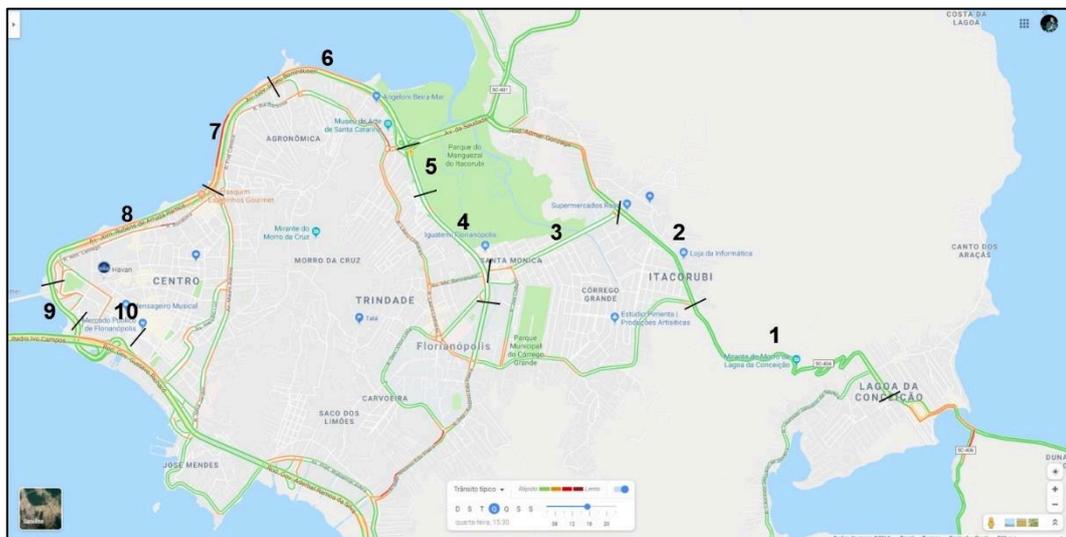
Apêndice A-18 - Captura de tela *Google Maps* – 14h30min



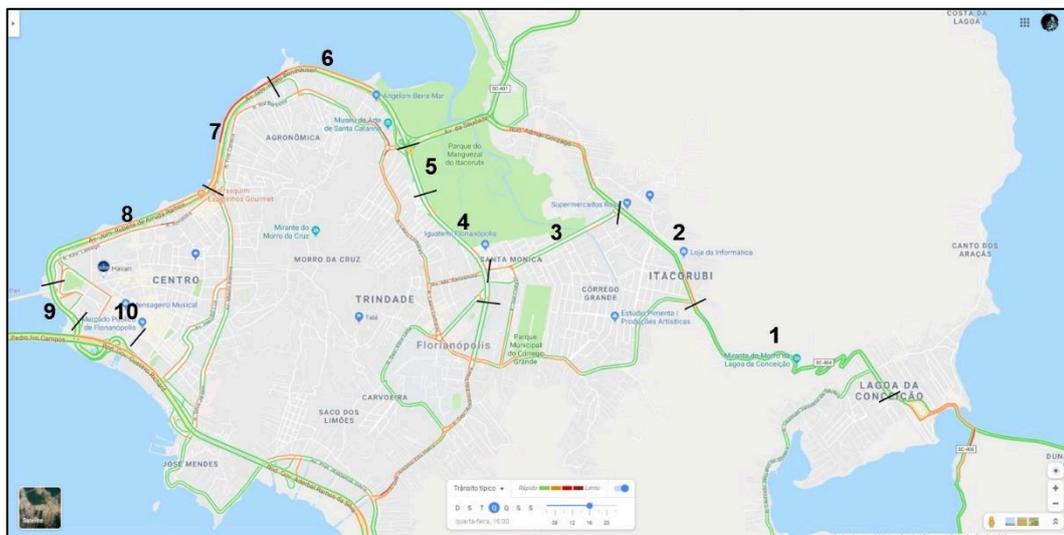
Fonte: Elaboração própria.

Apêndice A-19 - Captura de tela *Google Maps* – 15h00min

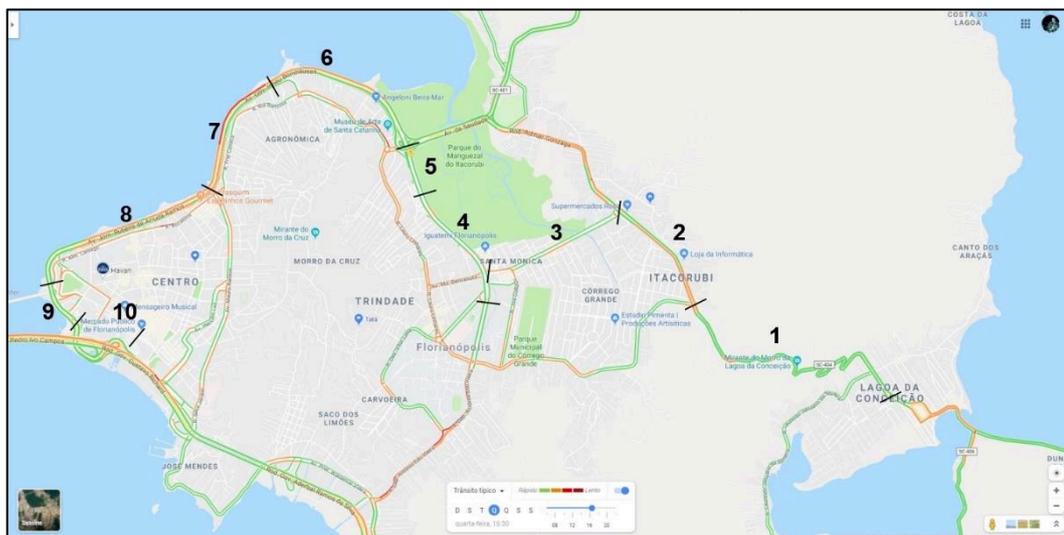
Fonte: Elaboração própria.

Apêndice A-20 - Captura de tela *Google Maps* – 15h30min

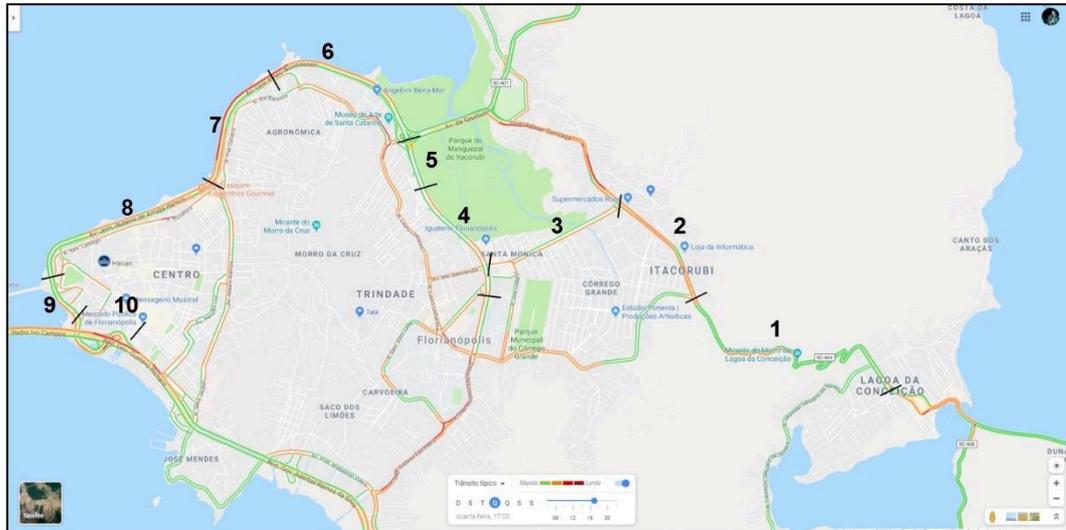
Fonte: Elaboração própria.

Apêndice A-21 - Captura de tela *Google Maps* – 16h00min

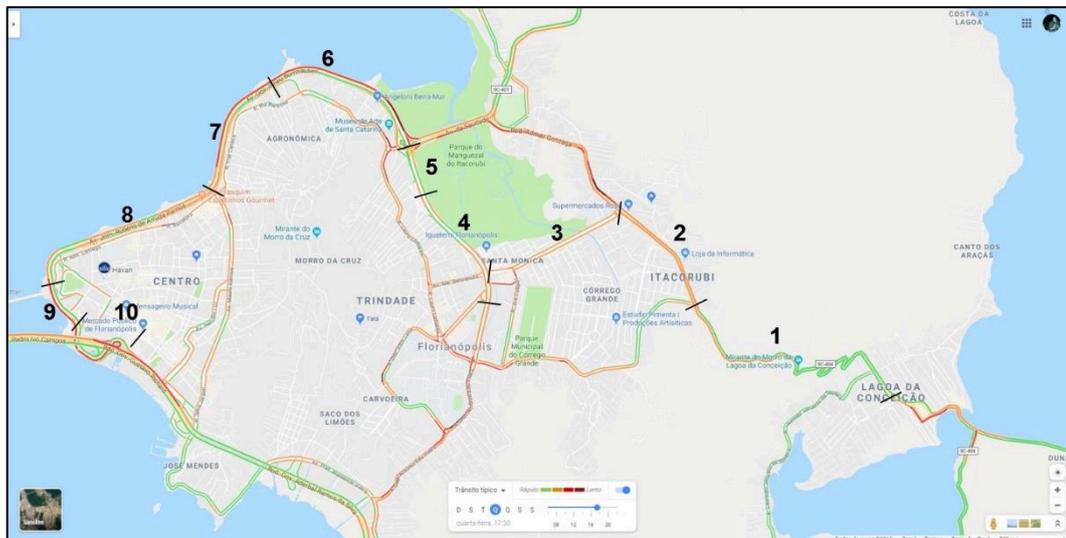
Fonte: Elaboração própria.

Apêndice A-22 - Captura de tela *Google Maps* – 16h30min

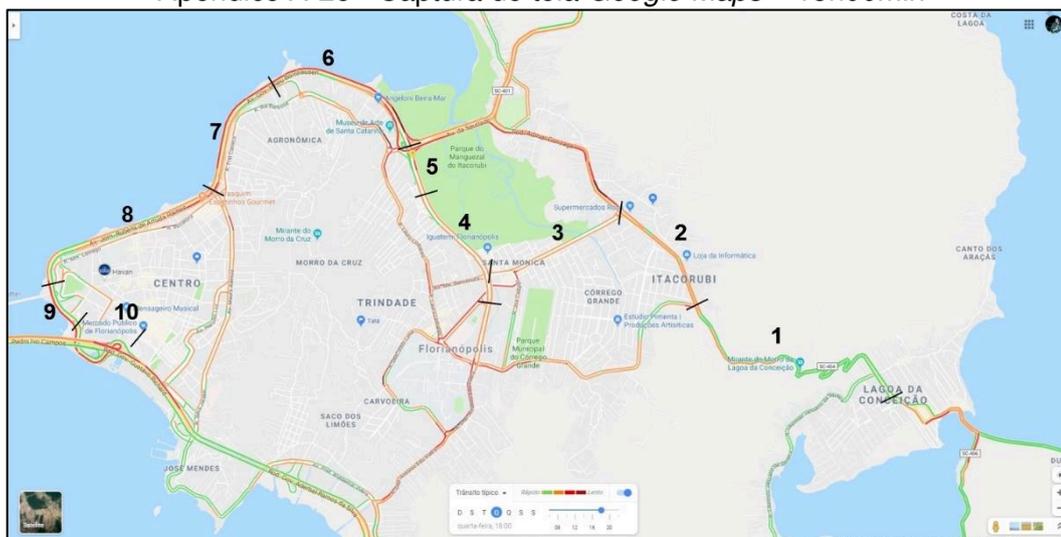
Fonte: Elaboração própria.

Apêndice A-23 - Captura de tela *Google Maps* – 17h00min

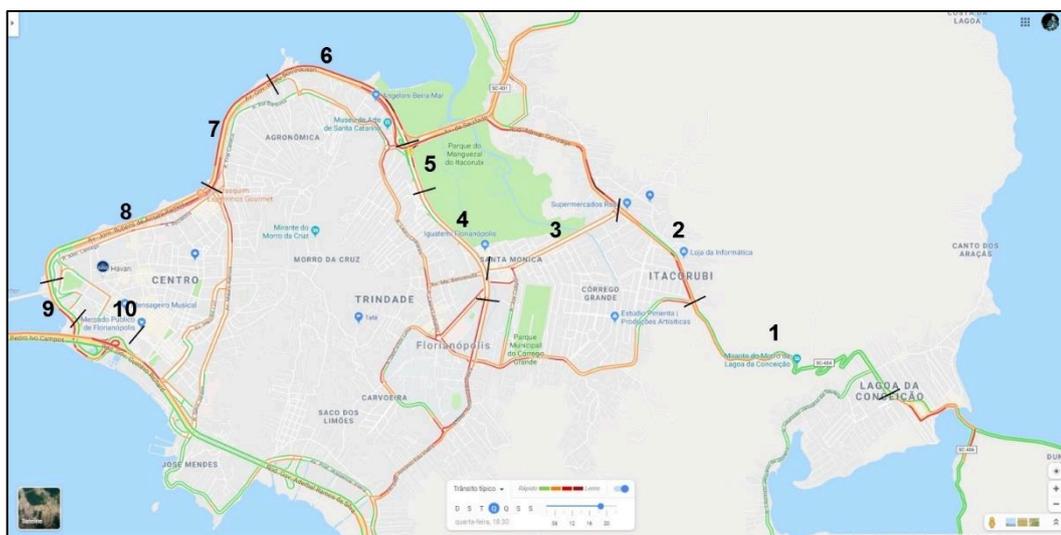
Fonte: Elaboração própria.

Apêndice A-24 - Captura de tela *Google Maps* – 17h30min

Fonte: Elaboração própria.

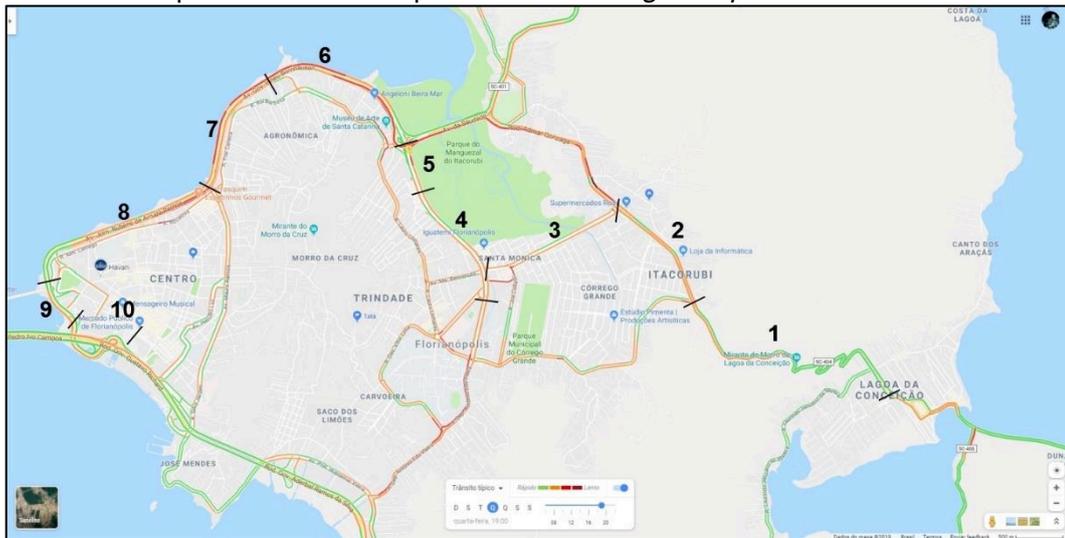
Apêndice A-25 - Captura de tela *Google Maps* – 18h00min

Fonte: Elaboração própria.

Apêndice A-26 - Captura de tela *Google Maps* – 18h30min

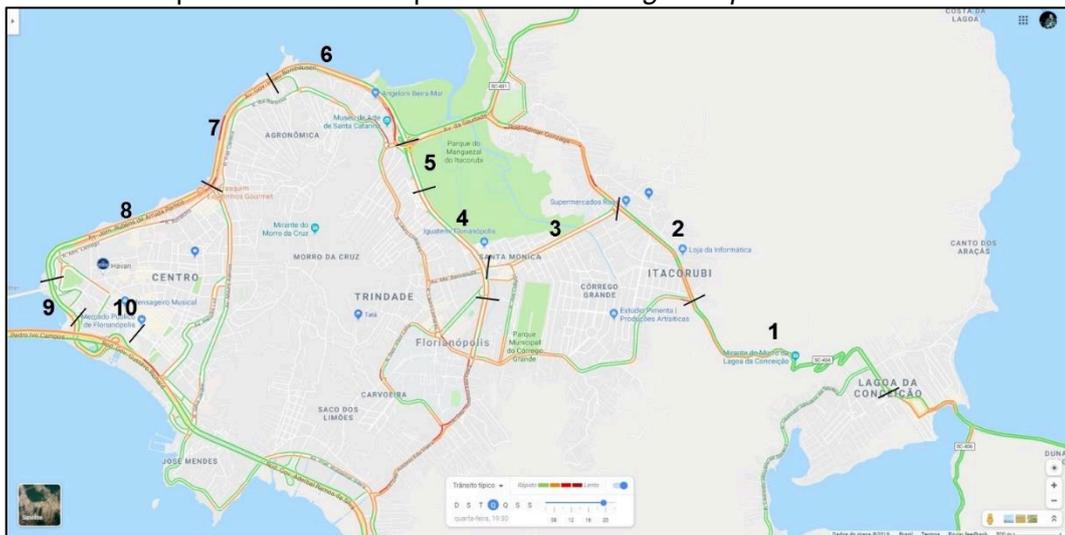
Fonte: Elaboração própria.

Apêndice A-27 - Captura de tela Google Maps – 19h00min

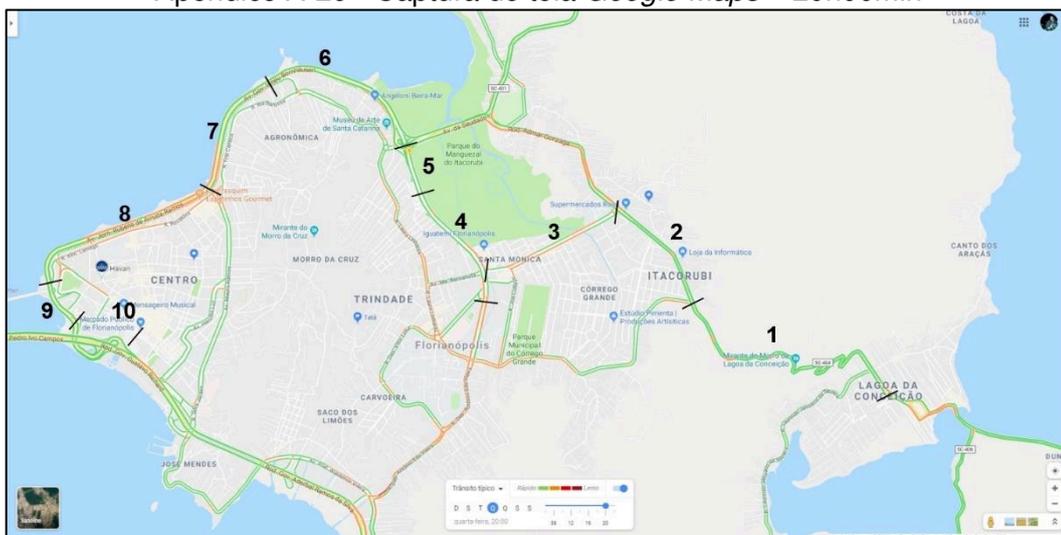


Fonte: Elaboração própria.

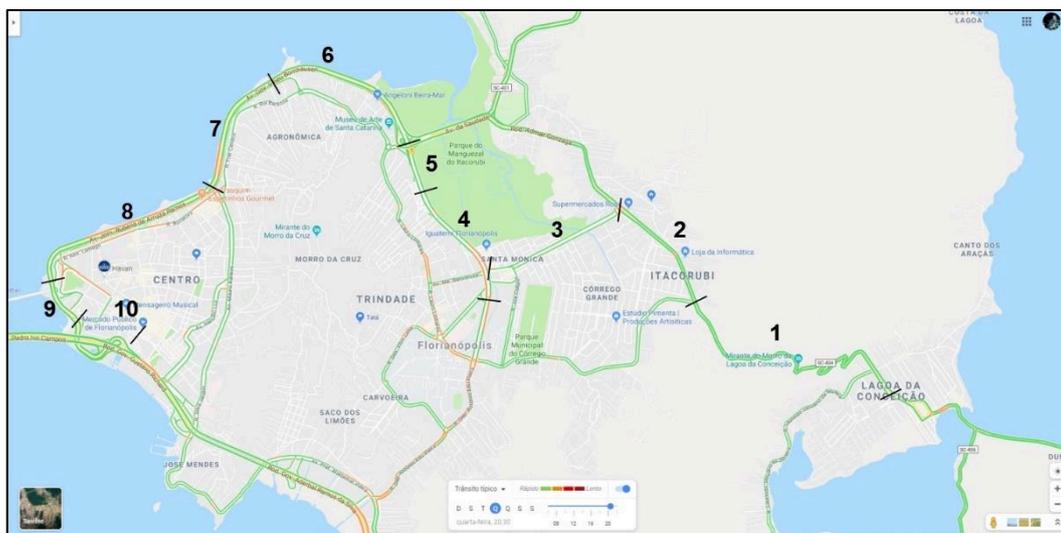
Apêndice A-28 - Captura de tela Google Maps – 19h30min



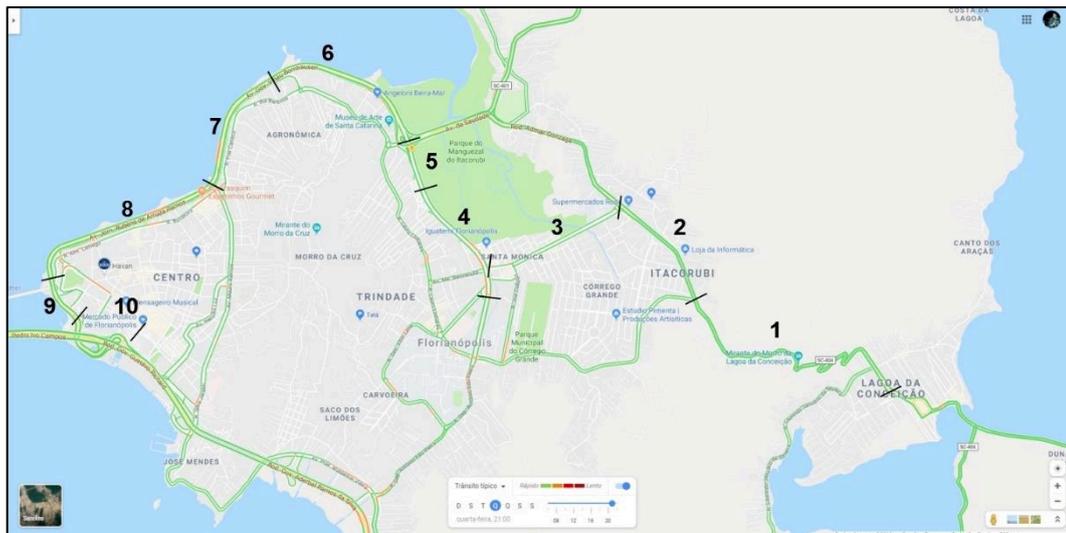
Fonte: Elaboração própria.

Apêndice A-29 - Captura de tela *Google Maps* – 20h00min

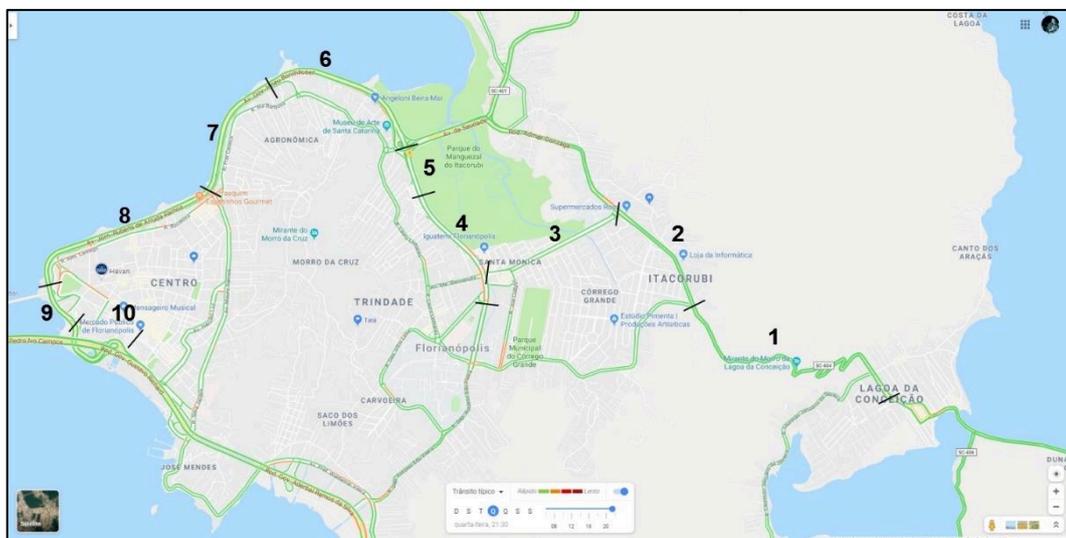
Fonte: Elaboração própria.

Apêndice A-30 - Captura de tela *Google Maps* – 20h30min

Fonte: Elaboração própria.

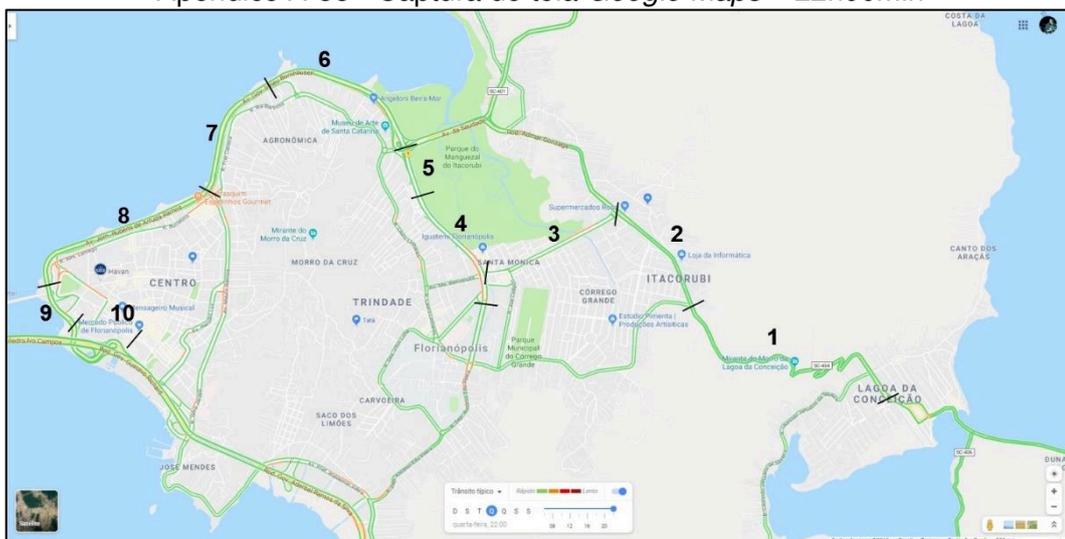
Apêndice A-31 - Captura de tela *Google Maps* – 21h00min

Fonte: Elaboração própria.

Apêndice A-32 - Captura de tela *Google Maps* – 21h30min

Fonte: Elaboração própria.

Apêndice A-33 - Captura de tela Google Maps – 22h00min



Fonte: Elaboração própria.

APÊNDICE B - Ofício de solicitação de dados – WPLEX/Consórcio Fênix

Florianópolis (SC), 25 de abril de 2019.

Ao Senhor

Fábio Engleitner

Gerente de Projeto

WPLEX Software Ltda.

Assunto: **Solicitação de dados do sistema de transporte público coletivo**

Senhor Fábio,

Em virtude de pesquisa em nível de mestrado acadêmico, venho por meio deste realizar a solicitação de colaboração da WPLEX Software Ltda a partir da disponibilização de dados relativos à operação do sistema de transporte público urbano coletivo por ônibus no município.

O trabalho de dissertação atualmente intitulado “Método para avaliação dos efeitos dos congestionamentos no dimensionamento de frotas para o transporte público de passageiros por ônibus em áreas urbanas” tem como orientador o Prof. Dr. Amir Mattar Valente, além de ser coorientado pelo Prof. Dr. Jorge Destri Jr, ambos do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial (PPGTG) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), e foi aprovado em Exame de Qualificação no dia 04/07/2018.

Desta forma, solicitam-se dados a respeito da seguinte linha:

- **Tipo Troncal: 320 - TILAG – TICEN Via Beira Mar**
Os dados dividem-se em históricos e atuais, conforme segue:

- i) Dados históricos - Referem-se aos dados entre 2017 e 2018. Solicitam-se os dados de (1) ao menos um dia típico por mês (um dos dias entre segunda e quinta); (2) ao menos uma sexta-feira por mês; e (3) ao menos um domingo por mês (se operante neste dia). Todos estes dados ao longo de um dia de operação, durante os anos citados:

- Identificação do veículo (número e linha onde atua ou atuava);
- Horários de saída do TILAG;
- Horários de chegada ao TITRI após sair do TILAG;
- Horários de saída do TITRI em direção ao TICEN;
- Horários de chegada ao TICEN após sair do TITRI;
- Horários de saída do TICEN;
- Horários de chegada ao TITRI após sair do TICEN;
- Horários de saída do TITRI em direção ao TILAG;
- Horários de chegada ao TILAG após sair do TITRI;

Caso não seja possível ou viável a discriminação dos dados conforme acima, os dados poderiam ser da seguinte forma:

- Horários de saída do TILAG, chegada ao TICEN e retorno ao TILAG;
 - Horários de saída do TICEN, chegada ao TILAG e retorno ao TICEN.
- ii) Dados atuais - Referem-se aos dados do ano de 2019. Solicitam-se os dados de (1) ao menos um dia típico por mês (um dos dias entre segunda e quinta); (2) ao menos uma sexta-feira por mês; e (3) ao menos um domingo por mês (se operante neste dia). Todos estes dados ao longo de um dia de operação, entre janeiro e abril de 2019 (se disponíveis):

- Identificação do veículo (número e linha onde atua ou atuava);
 - Horários de saída do TILAG;
 - Horários de chegada ao TITRI após sair do TILAG;
 - Horários de saída do TITRI em direção ao TICEN;
 - Horários de chegada ao TICEN após sair do TITRI;
 - Horários de saída do TICEN;
 - Horários de chegada ao TITRI após sair do TICEN;
 - Horários de saída do TITRI em direção ao TILAG;
 - Horários de chegada ao TILAG após sair do TITRI;
- Caso não seja possível ou viável a discriminação dos dados

conforme acima, os dados poderiam ser da seguinte forma:

- Horários de saída do TILAG, chegada ao TICEN e retorno ao TILAG;
- Horários de saída do TICEN, chegada ao TILAG e retorno ao TICEN.

Vale ressaltar que a pesquisa tem caráter acadêmico, comprometendo-se o solicitante à preservação dos dados coletados não divulgando, além dos utilizados na pesquisa que será publicada, dados a terceiros. Evidentemente, no caso de dados cedidos em meio físico impresso, compromete-se o solicitante à devolução integral do

material ao órgão/empresa cedente. Por fim, ao fim do trabalho, após sua defesa e publicação, uma versão impressa seria disponibilizada à WPLEX como forma de agradecimento e a fim de possibilitar que a mesma se utilize do produto da pesquisa em seus estudos e análises acerca do transporte público coletivo na cidade, quando aplicável.

O formato dos dados cedidos, pode ser em planilhas do Excel ou outro formato que facilite o trabalho para a WPLEX.

Assim, a contribuição solicitada para a pesquisa será de suma importância para a conclusão do estudo, que se encontra em fase final.

Coloco-me à disposição para quaisquer questões.

Atenciosamente,

Marcus Vinicius Bezerra Inácio Brites

Engenheiro Civil – Mestrando em Engenharia de Transportes (UFSC)

APÊNDICE C - Cálculos de tempos de viagem – dados WPLEX

Apêndice C-1 – Cálculos de tempos de viagem (Saídas TICEN) – 03/04/2019

SAÍDA TICEN	DATA	HORÁRIO	SENTIDO	TERMINAL	TEMPOS DE VIAGEM
06:18	03/04/2019	06:19:29	2	TICEN	
	03/04/2019	06:32:20	2	TITRI	
	03/04/2019	06:52:45	2	TILAG	00:33:16
06:50	03/04/2019	06:53:45	2	TICEN	
	03/04/2019	07:06:50	2	TITRI	
	03/04/2019	07:31:04	2	TILAG	00:37:19
07:16	03/04/2019	07:20:19	2	TICEN	
	03/04/2019	07:34:28	2	TITRI	
	03/04/2019	07:56:28	2	TILAG	00:36:09
07:40	03/04/2019	07:41:20	2	TICEN	
	03/04/2019	07:55:11	2	TITRI	
	03/04/2019	08:16:47	2	TILAG	00:35:27
08:02	03/04/2019	08:03:46	2	TICEN	
	03/04/2019	08:19:51	2	TITRI	
	03/04/2019	08:41:48	2	TILAG	00:38:02
08:15	03/04/2019	08:20:02	2	TICEN	
	03/04/2019	08:32:12	2	TITRI	
	03/04/2019	08:52:41	2	TILAG	00:32:39
08:35	03/04/2019	08:40:09	2	TICEN	
	03/04/2019	08:54:26	2	TITRI	
	03/04/2019	09:15:31	2	TILAG	00:35:22
09:11	03/04/2019	09:12:23	2	TICEN	
	03/04/2019	09:25:32	2	TITRI	
	03/04/2019	09:46:41	2	TILAG	00:34:18
09:39	03/04/2019	09:41:51	2	TICEN	
	03/04/2019	09:56:04	2	TITRI	
	03/04/2019	10:17:43	2	TILAG	00:35:52
10:10	03/04/2019	10:12:03	2	TICEN	
	03/04/2019	10:26:53	2	TITRI	
	03/04/2019	10:45:58	2	TILAG	00:33:55
10:15	03/04/2019	10:17:59	2	TICEN	
	03/04/2019	10:34:27	2	TITRI	
	03/04/2019	10:52:06	2	TILAG	00:34:07
10:40	03/04/2019	10:42:52	2	TICEN	
	03/04/2019	10:56:42	2	TITRI	
	03/04/2019	11:17:21	2	TILAG	00:34:29
11:05	03/04/2019	11:06:26	2	TICEN	
	03/04/2019	11:19:16	2	TITRI	
	03/04/2019	11:39:58	2	TILAG	00:33:32
11:30	03/04/2019	11:31:29	2	TICEN	
	03/04/2019	11:47:03	2	TITRI	

	03/04/2019	12:09:20	2	TILAG	00:37:51
11:42	03/04/2019	11:44:43	2	TICEN	
	03/04/2019	11:59:35	2	TITRI	
	03/04/2019	12:23:04	2	TILAG	00:38:21
11:55	03/04/2019	11:57:20	2	TICEN	
	03/04/2019	12:13:38	2	TITRI	
	03/04/2019	12:40:22	2	TILAG	00:43:02
12:15	03/04/2019	12:17:52	2	TICEN	
	03/04/2019	12:37:06	2	TITRI	
	03/04/2019	13:01:28	2	TILAG	00:43:36
12:36	03/04/2019	12:40:22	2	TICEN	
	03/04/2019	12:58:10	2	TITRI	
	03/04/2019	13:27:33	2	TILAG	00:47:11
13:00	03/04/2019				
	03/04/2019				
	03/04/2019				
13:06	03/04/2019	13:07:13	2	TICEN	
	03/04/2019	13:21:48	2	TITRI	
	03/04/2019	13:42:28	2	TILAG	00:35:15
13:25	03/04/2019	13:27:21	2	TICEN	
	03/04/2019	13:43:57	2	TITRI	
	03/04/2019	14:05:46	2	TILAG	00:38:25
13:36	03/04/2019	13:38:08	2	TICEN	
	03/04/2019	13:52:11	2	TITRI	
	03/04/2019	14:22:30	2	TILAG	00:44:22
13:55	03/04/2019	13:58:01	2	TICEN	
	03/04/2019	14:12:06	2	TITRI	
	03/04/2019	14:37:32	2	TILAG	00:39:31
14:08	03/04/2019	14:08:43	2	TICEN	
	03/04/2019	14:23:06	2	TITRI	
	03/04/2019	14:42:20	2	TILAG	00:33:37
14:40	03/04/2019				
	03/04/2019				
	03/04/2019				
15:10	03/04/2019				
	03/04/2019				
	03/04/2019				
15:35	03/04/2019	15:37:36	2	TICEN	
	03/04/2019	15:54:52	2	TITRI	
	03/04/2019	16:16:12	2	TILAG	00:38:36
16:00	03/04/2019	16:02:35	2	TICEN	
	03/04/2019	16:18:47	2	TITRI	
	03/04/2019	16:45:41	2	TILAG	00:43:06
16:15	03/04/2019				
	03/04/2019				

	03/04/2019				
16:30	03/04/2019	16:32:21	2	TICEN	
	03/04/2019	16:46:27	2	TITRI	
	03/04/2019	17:12:14	2	TILAG	00:39:53
16:45	03/04/2019	16:47:26	2	TICEN	
	03/04/2019	17:02:19	2	TITRI	
	03/04/2019	17:25:39	2	TILAG	00:38:13
16:55	03/04/2019	16:57:49	2	TICEN	
	03/04/2019	17:14:02	2	TITRI	
	03/04/2019	17:46:42	2	TILAG	00:48:53
17:21	03/04/2019	17:33:53	2	TICEN	
	03/04/2019	17:54:32	2	TITRI	
	03/04/2019	18:24:49	2	TILAG	00:50:56
17:50	03/04/2019	17:56:17	2	TICEN	
	03/04/2019	18:13:38	2	TITRI	
	03/04/2019	18:44:03	2	TILAG	00:47:46
18:16	03/04/2019				
	03/04/2019				
	03/04/2019				
18:32	03/04/2019	18:32:24	2	TICEN	
	03/04/2019	18:48:48	2	TITRI	
	03/04/2019	19:17:35	2	TILAG	00:45:11
18:44	03/04/2019	18:46:09	2	TICEN	
	03/04/2019	19:02:36	2	TITRI	
	03/04/2019	19:31:19	2	TILAG	00:45:10
19:00	03/04/2019	19:03:01	2	TICEN	
	03/04/2019	19:18:10	2	TITRI	
	03/04/2019	19:40:10	2	TILAG	00:37:09
19:09	03/04/2019				
	03/04/2019				
	03/04/2019				
19:23	03/04/2019	19:23:19	2	TICEN	
	03/04/2019	19:40:44	2	TITRI	
	03/04/2019	20:03:19	2	TILAG	00:40:00
19:49	03/04/2019	19:52:18	2	TICEN	
	03/04/2019	20:05:13	2	TITRI	
	03/04/2019	20:24:46	2	TILAG	00:32:28
20:08	03/04/2019	20:10:11	2	TICEN	
	03/04/2019	20:22:22	2	TITRI	
	03/04/2019	20:42:03	2	TILAG	00:31:52
20:30	03/04/2019	20:31:55	2	TICEN	
	03/04/2019	20:45:39	2	TITRI	
	03/04/2019	21:08:13	2	TILAG	00:36:18
20:48	03/04/2019	20:50:36	2	TICEN	
	03/04/2019	21:04:20	2	TITRI	

	03/04/2019	21:24:03	2	TILAG	00:33:27
21:25	03/04/2019				
	03/04/2019				
	03/04/2019				
22:05	03/04/2019	22:08:24	2	TICEN	
	03/04/2019	22:24:23	2	TITRI	
	03/04/2019	22:46:32	2	TILAG	00:38:08
22:10	03/04/2019	22:11:26	2	TICEN	
	03/04/2019	22:25:02	2	TITRI	
	03/04/2019	22:45:52	2	TILAG	00:34:26
22:40	03/04/2019	22:42:07	2	TICEN	
	03/04/2019	22:53:13	2	TITRI	
	03/04/2019	23:11:59	2	TILAG	00:29:52

Fonte: Elaboração própria.

Apêndice C-2 – Cálculos de tempos de viagem (Saídas TICEN) – 10/04/2019

SAÍDA TICEN	DATA	HORARIO	SENTIDO	TERMINAL	TEMPOS DE VIAGEM
06:18	10/04/2019	06:19:53	2	TICEN	
	10/04/2019	06:34:27	2	TITRI	
	10/04/2019	06:56:07	2	TILAG	00:36:14
06:50	10/04/2019	06:51:59	2	TICEN	
	10/04/2019	07:05:12	2	TITRI	
	10/04/2019	07:29:41	2	TILAG	00:37:42
07:16	10/04/2019	07:18:07	2	TICEN	
	10/04/2019	07:31:37	2	TITRI	
	10/04/2019	07:55:28	2	TILAG	00:37:21
07:40	10/04/2019	07:41:45	2	TICEN	
	10/04/2019	07:58:04	2	TITRI	
	10/04/2019	08:19:11	2	TILAG	00:37:26
08:02	10/04/2019	08:04:03	2	TICEN	
	10/04/2019	08:20:35	2	TITRI	
	10/04/2019	08:42:41	2	TILAG	00:38:38
08:15	10/04/2019	08:19:27	2	TICEN	
	10/04/2019	08:34:18	2	TITRI	
	10/04/2019	08:55:54	2	TILAG	00:36:27
08:35	10/04/2019	08:37:07	2	TICEN	
	10/04/2019	08:51:36	2	TITRI	
	10/04/2019	09:10:32	2	TILAG	00:33:25
09:11	10/04/2019	09:13:11	2	TICEN	
	10/04/2019	09:27:19	2	TITRI	
	10/04/2019	09:45:11	2	TILAG	00:32:00
09:39	10/04/2019	09:40:06	2	TICEN	
	10/04/2019	09:55:32	2	TITRI	
	10/04/2019	10:15:06	2	TILAG	00:35:00
10:10	10/04/2019	10:12:19	2	TICEN	

	10/04/2019	10:26:30	2	TITRI	
	10/04/2019	10:48:42	2	TILAG	00:36:23
10:15	10/04/2019	10:18:18	2	TICEN	
	10/04/2019	10:32:34	2	TITRI	
	10/04/2019	10:52:25	2	TILAG	00:34:07
10:40	10/04/2019	10:42:11	2	TICEN	
	10/04/2019	10:56:07	2	TITRI	
	10/04/2019	11:16:10	2	TILAG	00:33:59
11:05	10/04/2019	11:06:24	2	TICEN	
	10/04/2019	11:19:08	2	TITRI	
	10/04/2019	11:37:00	2	TILAG	00:30:36
11:30	10/04/2019	11:31:30	2	TICEN	
	10/04/2019	11:46:32	2	TITRI	
	10/04/2019	12:07:47	2	TILAG	00:36:17
11:42	10/04/2019	11:45:22	2	TICEN	
	10/04/2019	12:00:28	2	TITRI	
	10/04/2019	12:28:10	2	TILAG	00:42:48
11:55	10/04/2019	11:57:27	2	TICEN	
	10/04/2019	12:15:48	2	TITRI	
	10/04/2019	12:38:01	2	TILAG	00:40:34
12:15	10/04/2019	12:16:47	2	TICEN	
	10/04/2019	12:33:02	2	TITRI	
	10/04/2019	12:56:47	2	TILAG	00:40:00
12:36	10/04/2019	12:39:01	2	TICEN	
	10/04/2019	12:55:10	2	TITRI	
	10/04/2019	13:20:43	2	TILAG	00:41:42
13:00	10/04/2019	13:01:11	2	TICEN	
	10/04/2019	13:15:59	2	TITRI	
	10/04/2019	13:39:49	2	TILAG	00:38:38
13:06	10/04/2019	13:08:51	2	TICEN	
	10/04/2019	13:25:55	2	TITRI	
	10/04/2019	13:46:01	2	TILAG	00:37:10
13:25	10/04/2019	13:27:20	2	TICEN	
	10/04/2019	13:45:38	2	TITRI	
	10/04/2019	14:08:34	2	TILAG	00:41:14
13:36	10/04/2019	13:37:51	2	TICEN	
	10/04/2019	13:52:01	2	TITRI	
	10/04/2019	14:13:10	2	TILAG	00:35:19
13:55	10/04/2019	13:59:43	2	TICEN	
	10/04/2019	14:14:05	2	TITRI	
	10/04/2019	14:36:33	2	TILAG	00:36:50
14:08	10/04/2019	14:09:36	2	TICEN	
	10/04/2019	14:22:38	2	TITRI	
	10/04/2019	14:41:26	2	TILAG	00:31:50
14:40	10/04/2019	14:40:51	2	TICEN	

	10/04/2019	14:56:00	2	TITRI	
	10/04/2019	15:17:05	2	TILAG	00:36:14
15:10	10/04/2019	15:12:01	2	TICEN	
	10/04/2019	15:26:44	2	TITRI	
	10/04/2019	15:50:43	2	TILAG	00:38:42
15:35	10/04/2019	15:38:00	2	TICEN	
	10/04/2019	15:54:28	2	TITRI	
	10/04/2019	16:20:25	2	TILAG	00:42:25
16:00	10/04/2019	16:02:31	2	TICEN	
	10/04/2019	16:19:32	2	TITRI	
	10/04/2019	16:44:31	2	TILAG	00:42:00
16:15	10/04/2019	16:17:06	2	TICEN	
	10/04/2019	16:32:16	2	TITRI	
	10/04/2019	16:56:12	2	TILAG	00:39:06
16:30	10/04/2019	16:32:11	2	TICEN	
	10/04/2019	16:47:02	2	TITRI	
	10/04/2019	17:12:35	2	TILAG	00:40:24
16:45	10/04/2019	16:47:07	2	TICEN	
	10/04/2019	17:02:06	2	TITRI	
	10/04/2019	17:28:58	2	TILAG	00:41:51
16:55	10/04/2019	16:59:05	2	TICEN	
	10/04/2019	17:14:34	2	TITRI	
	10/04/2019	17:42:49	2	TILAG	00:43:44
17:21	10/04/2019	17:22:53	2	TICEN	
	10/04/2019	17:39:15	2	TITRI	
	10/04/2019	18:11:35	2	TILAG	00:48:42
17:50	10/04/2019	18:00:22	2	TICEN	
	10/04/2019	18:17:30	2	TITRI	
	10/04/2019	18:52:22	2	TILAG	00:52:00
18:16	10/04/2019	18:19:55	2	TICEN	
	10/04/2019	18:37:41	2	TITRI	
	10/04/2019	19:19:44	2	TILAG	00:59:49
18:32	10/04/2019	18:33:52	2	TICEN	
	10/04/2019	18:50:36	2	TITRI	
	10/04/2019	19:24:45	2	TILAG	00:50:53
18:44	10/04/2019	18:45:16	2	TICEN	
	10/04/2019	19:00:06	2	TITRI	
	10/04/2019	19:33:41	2	TILAG	00:48:25
19:00	10/04/2019	19:08:09	2	TICEN	
	10/04/2019	19:27:46	2	TITRI	
	10/04/2019	20:03:28	2	TILAG	00:55:19
19:09	10/04/2019	19:11:39	2	TICEN	
	10/04/2019	19:28:32	2	TITRI	
	10/04/2019	20:00:20	2	TILAG	00:48:41
19:23	10/04/2019	19:25:21	2	TICEN	

	10/04/2019	19:42:16	2	TITRI	
	10/04/2019	20:13:57	2	TILAG	00:48:36
19:49	10/04/2019	19:51:01	2	TICEN	
	10/04/2019	20:04:41	2	TITRI	
	10/04/2019	20:43:32	2	TILAG	00:52:31
20:08	10/04/2019	20:10:35	2	TICEN	
	10/04/2019	20:22:46	2	TITRI	
	10/04/2019	21:15:38	2	TILAG	01:05:03
20:30	10/04/2019	20:32:19	2	TICEN	
	10/04/2019	20:46:12	2	TITRI	
	10/04/2019	21:35:02	2	TILAG	01:02:43
20:48	10/04/2019	20:49:36	2	TICEN	
	10/04/2019	21:02:01	2	TITRI	
	10/04/2019	21:44:51	2	TILAG	00:55:15
21:25	10/04/2019	21:27:41	2	TICEN	
	10/04/2019	21:40:17	2	TITRI	
	10/04/2019	22:03:18	2	TILAG	00:35:37
22:05	10/04/2019	22:07:23	2	TICEN	
	10/04/2019	22:23:25	2	TITRI	
	10/04/2019	22:42:40	2	TILAG	00:35:17
22:10	10/04/2019	22:12:09	2	TICEN	
	10/04/2019	22:23:13	2	TITRI	
	10/04/2019	22:42:21	2	TILAG	00:30:12
22:40	10/04/2019	22:41:27	2	TICEN	
	10/04/2019	22:51:59	2	TITRI	
	10/04/2019	23:11:34	2	TILAG	00:30:07

Fonte: Elaboração própria.

Apêndice C-3 – Cálculos de tempos de viagem (Saídas TICEN) – 17/04/2019

SAÍDA TICEN	DATA	HORARIO	SENTIDO	TERMINAL	TEMPOS DE VIAGEM
06:18	17/04/2019	06:19:27	2	TICEN	
	17/04/2019	06:32:29	2	TITRI	
	17/04/2019	06:55:13	2	TILAG	00:35:46
06:50	17/04/2019	06:51:54	2	TICEN	
	17/04/2019	07:05:49	2	TITRI	
	17/04/2019	07:29:13	2	TILAG	00:37:19
07:16	17/04/2019	07:17:47	2	TICEN	
	17/04/2019	07:35:40	2	TITRI	
	17/04/2019	08:00:51	2	TILAG	00:43:04
07:40	17/04/2019	07:41:37	2	TICEN	
	17/04/2019	07:55:23	2	TITRI	
	17/04/2019	08:15:22	2	TILAG	00:33:45
08:02	17/04/2019	08:03:40	2	TICEN	
	17/04/2019	08:20:04	2	TITRI	

	17/04/2019	08:43:43	2	TILAG	00:40:03
08:15	17/04/2019	08:19:15	2	TICEN	
	17/04/2019	08:38:36	2	TITRI	
	17/04/2019	09:00:44	2	TILAG	00:41:29
08:35	17/04/2019	08:38:18	2	TICEN	
	17/04/2019	08:52:10	2	TITRI	
	17/04/2019	09:13:02	2	TILAG	00:34:44
09:11	17/04/2019	09:12:39	2	TICEN	
	17/04/2019	09:26:50	2	TITRI	
	17/04/2019	09:46:50	2	TILAG	00:34:11
09:39	17/04/2019	09:41:16	2	TICEN	
	17/04/2019	09:53:47	2	TITRI	
	17/04/2019	10:16:07	2	TILAG	00:34:51
10:10	17/04/2019	10:12:21	2	TICEN	
	17/04/2019	10:27:13	2	TITRI	
	17/04/2019	10:50:26	2	TILAG	00:38:05
10:15	17/04/2019	10:18:13	2	TICEN	
	17/04/2019	10:32:07	2	TITRI	
	17/04/2019	10:52:57	2	TILAG	00:34:44
10:40					
11:05	17/04/2019	11:06:53	2	TICEN	
	17/04/2019	11:20:54	2	TITRI	
	17/04/2019	11:41:31	2	TILAG	00:34:38
11:30	17/04/2019	11:31:42	2	TICEN	
	17/04/2019	11:47:10	2	TITRI	
	17/04/2019	12:09:36	2	TILAG	00:37:54
11:42	17/04/2019	11:44:40	2	TICEN	
	17/04/2019	11:59:48	2	TITRI	
	17/04/2019	12:23:57	2	TILAG	00:39:17
11:55	17/04/2019	11:57:14	2	TICEN	
	17/04/2019	12:13:52	2	TITRI	
	17/04/2019	12:38:28	2	TILAG	00:41:14
12:15	17/04/2019	12:17:26	2	TICEN	
	17/04/2019	12:32:24	2	TITRI	
	17/04/2019	12:56:43	2	TILAG	00:39:17
12:36	17/04/2019	12:38:11	2	TICEN	
	17/04/2019	12:52:11	2	TITRI	
	17/04/2019	13:17:21	2	TILAG	00:39:10
13:00	17/04/2019	13:01:18	2	TICEN	
	17/04/2019	13:17:01	2	TITRI	
	17/04/2019	13:40:37	2	TILAG	00:39:19
13:06	17/04/2019	13:08:05	2	TICEN	
	17/04/2019	13:22:56	2	TITRI	

	17/04/2019	13:48:08	2	TILAG	00:40:03
13:25	17/04/2019	13:27:36	2	TICEN	
	17/04/2019	13:42:41	2	TITRI	
	17/04/2019	14:10:05	2	TILAG	00:42:29
13:36	17/04/2019	13:38:32	2	TICEN	
	17/04/2019	13:57:27	2	TITRI	
	17/04/2019	14:18:07	2	TILAG	00:39:35
13:55	17/04/2019	13:56:06	2	TICEN	
	17/04/2019	14:09:53	2	TITRI	
	17/04/2019	14:32:24	2	TILAG	00:36:18
14:08	17/04/2019	14:10:21	2	TICEN	
	17/04/2019	14:24:34	2	TITRI	
	17/04/2019	14:45:06	2	TILAG	00:34:45
14:40	17/04/2019	14:41:21	2	TICEN	
	17/04/2019	14:54:05	2	TITRI	
	17/04/2019	15:14:07	2	TILAG	00:32:46
15:10	17/04/2019	15:14:04	2	TICEN	
	17/04/2019	15:28:50	2	TITRI	
	17/04/2019	15:53:01	2	TILAG	00:38:57
15:35	17/04/2019	15:41:22	2	TICEN	
	17/04/2019	15:57:44	2	TITRI	
	17/04/2019	16:19:40	2	TILAG	00:38:18
16:00	17/04/2019	16:01:49	2	TICEN	
	17/04/2019	16:16:41	2	TITRI	
	17/04/2019	16:41:22	2	TILAG	00:39:33
16:15	17/04/2019	16:16:46	2	TICEN	
	17/04/2019	16:33:56	2	TITRI	
	17/04/2019	16:59:56	2	TILAG	00:43:10
16:30	17/04/2019	16:32:31	2	TICEN	
	17/04/2019	16:47:39	2	TITRI	
	17/04/2019	17:10:05	2	TILAG	00:37:34
16:45					
16:55					
17:21	17/04/2019	17:26:09	2	TICEN	
	17/04/2019	18:21:56	2	TILAG	00:55:47
17:50	17/04/2019	18:09:12	2	TICEN	
	17/04/2019	19:22:23	2	TILAG	
18:16	17/04/2019	18:17:39	2	TICEN	
	17/04/2019	18:37:19	2	TITRI	

	17/04/2019	19:19:26	2	TILAG	01:01:47
18:32	17/04/2019	18:32:07	2	TICEN	
	17/04/2019	19:32:40	2	TILAG	01:00:33
18:44					
19:00	17/04/2019	19:05:48	2	TICEN	
	17/04/2019	19:29:56	2	TITRI	
	17/04/2019	20:02:35	2	TILAG	00:56:47
19:09	17/04/2019	19:17:40	2	TICEN	
	17/04/2019	19:42:47	2	TITRI	
	17/04/2019	20:10:30	2	TILAG	00:52:50
19:23	17/04/2019	19:24:45	2	TICEN	
	17/04/2019	19:50:30	2	TITRI	
	17/04/2019	20:15:48	2	TILAG	00:51:03
19:49	17/04/2019	19:51:07	2	TICEN	
	17/04/2019	20:07:15	2	TITRI	
	17/04/2019	20:26:54	2	TILAG	00:35:47
20:08	17/04/2019	20:09:27	2	TICEN	
	17/04/2019	20:24:19	2	TITRI	
	17/04/2019	20:47:13	2	TILAG	00:37:46
20:30	17/04/2019	20:32:51	2	TICEN	
	17/04/2019	20:43:18	2	TITRI	
	17/04/2019	21:07:20	2	TILAG	00:34:29
20:48	17/04/2019	20:49:50	2	TICEN	
	17/04/2019	21:04:26	2	TITRI	
	17/04/2019	21:26:20	2	TILAG	00:36:30
21:25	17/04/2019	21:26:48	2	TICEN	
	17/04/2019	21:39:50	2	TITRI	
	17/04/2019	22:00:00	2	TILAG	00:33:12
22:05	17/04/2019	22:06:18	2	TICEN	
	17/04/2019	22:18:29	2	TITRI	
	17/04/2019	22:36:55	2	TILAG	00:30:37
22:10	17/04/2019	22:11:38	2	TICEN	
	17/04/2019	22:22:16	2	TITRI	
	17/04/2019	22:41:10	2	TILAG	00:29:32
22:40	17/04/2019	22:41:11	2	TICEN	
	17/04/2019	22:53:31	2	TITRI	
	17/04/2019	23:10:12	2	TILAG	00:29:01

Fonte: Elaboração própria.

Apêndice C-4 – Cálculos de tempos de viagem (Saídas TICEN) – 24/04/2019

SAÍDA TICEN	DATA	HORARIO	SENTIDO	TERMINAL	TEMPOS DE VIAGEM
06:18	24/04/2019	06:19:23	2	TICEN	
	24/04/2019	06:31:54	2	TITRI	
	24/04/2019	06:54:40	2	TILAG	00:35:17
06:50	24/04/2019	06:54:02	2	TICEN	
	24/04/2019	07:09:49	2	TITRI	
	24/04/2019	07:35:37	2	TILAG	00:41:35
07:16	24/04/2019	07:21:45	2	TICEN	
	24/04/2019	07:35:12	2	TITRI	
	24/04/2019	07:59:03	2	TILAG	00:37:18
07:40	24/04/2019	07:42:36	2	TICEN	
	24/04/2019	07:55:57	2	TITRI	
	24/04/2019	08:18:50	2	TILAG	00:36:14
08:02	24/04/2019	08:03:53	2	TICEN	
	24/04/2019	08:19:28	2	TITRI	
	24/04/2019	08:44:13	2	TILAG	00:40:20
08:15	24/04/2019	08:21:18	2	TICEN	
	24/04/2019	08:35:35	2	TITRI	
	24/04/2019	08:55:43	2	TILAG	00:34:25
08:35	24/04/2019	08:36:45	2	TICEN	
	24/04/2019	08:51:43	2	TITRI	
	24/04/2019	09:12:56	2	TILAG	00:36:11
09:11	24/04/2019	09:12:46	2	TICEN	
	24/04/2019	09:27:20	2	TITRI	
	24/04/2019	09:50:05	2	TILAG	00:37:19
09:39	24/04/2019	09:40:02	2	TICEN	
	24/04/2019	09:53:29	2	TITRI	
	24/04/2019	10:16:46	2	TILAG	00:36:44
10:10	24/04/2019	10:12:03	2	TICEN	
	24/04/2019	10:26:39	2	TITRI	
	24/04/2019	10:48:27	2	TILAG	00:36:24
10:15	24/04/2019	10:16:46	2	TICEN	
	24/04/2019	10:28:58	2	TITRI	
	24/04/2019	10:51:57	2	TILAG	00:35:11
10:40	24/04/2019	10:41:27	2	TICEN	
	24/04/2019	10:53:51	2	TITRI	
	24/04/2019	11:13:07	2	TILAG	00:31:40
11:05	24/04/2019	11:06:13	2	TICEN	
	24/04/2019	11:20:05	2	TITRI	
	24/04/2019	11:40:27	2	TILAG	00:34:14
11:30	24/04/2019	11:31:46	2	TICEN	
	24/04/2019	11:47:40	2	TITRI	
	24/04/2019	12:08:48	2	TILAG	00:37:02
11:42	24/04/2019	11:46:20	2	TICEN	

	24/04/2019	12:02:35	2	TITRI	
	24/04/2019	12:27:31	2	TILAG	00:41:11
11:55	24/04/2019	11:58:06	2	TICEN	
	24/04/2019	12:19:27	2	TITRI	
	24/04/2019	12:43:56	2	TILAG	00:45:50
12:15	24/04/2019	12:17:36	2	TICEN	
	24/04/2019	12:34:09	2	TITRI	
	24/04/2019	12:56:21	2	TILAG	00:38:45
12:36	24/04/2019	12:38:05	2	TICEN	
	24/04/2019	12:55:10	2	TITRI	
	24/04/2019	13:18:02	2	TILAG	00:39:57
13:00	24/04/2019	13:01:23	2	TICEN	
	24/04/2019	13:18:34	2	TITRI	
	24/04/2019	13:40:04	2	TILAG	00:38:41
13:06	24/04/2019	13:17:03	2	TICEN	
	24/04/2019	13:38:25	2	TITRI	
	24/04/2019	14:02:30	2	TILAG	00:45:27
13:25	24/04/2019				
	24/04/2019				
	24/04/2019				
13:36	24/04/2019	13:38:35	2	TICEN	
	24/04/2019	13:58:02	2	TITRI	
	24/04/2019	14:18:37	2	TILAG	00:40:02
13:55	24/04/2019	14:10:20	2	TICEN	
	24/04/2019	14:25:06	2	TITRI	
	24/04/2019	14:43:08	2	TILAG	00:32:48
14:08	24/04/2019	14:12:48	2	TICEN	
	24/04/2019	14:30:08	2	TITRI	
	24/04/2019	14:50:19	2	TILAG	00:37:31
14:40	24/04/2019	14:41:25	2	TICEN	
	24/04/2019	14:55:53	2	TITRI	
	24/04/2019	15:14:34	2	TILAG	00:33:09
15:10	24/04/2019	15:11:57	2	TICEN	
	24/04/2019	15:26:43	2	TITRI	
	24/04/2019	15:47:46	2	TILAG	00:35:49
15:35	24/04/2019	15:38:06	2	TICEN	
	24/04/2019	15:54:24	2	TITRI	
	24/04/2019	16:18:20	2	TILAG	00:40:14
16:00	24/04/2019	16:01:46	2	TICEN	
	24/04/2019	16:16:00	2	TITRI	
	24/04/2019	16:40:38	2	TILAG	00:38:52
16:15	24/04/2019	16:17:06	2	TICEN	
	24/04/2019	16:32:19	2	TITRI	
	24/04/2019	16:58:02	2	TILAG	00:40:56
16:30	24/04/2019	16:32:11	2	TICEN	

	24/04/2019	16:45:55	2	TITRI	
	24/04/2019	17:09:47	2	TILAG	00:37:36
16:45	24/04/2019	16:47:31	2	TICEN	
	24/04/2019	17:04:15	2	TITRI	
	24/04/2019	17:29:51	2	TILAG	00:42:20
16:55	24/04/2019	16:57:39	2	TICEN	
	24/04/2019	17:12:20	2	TITRI	
	24/04/2019	17:39:19	2	TILAG	00:41:40
17:21	24/04/2019				
	24/04/2019				
	24/04/2019				
17:50	24/04/2019	17:52:04	2	TICEN	
	24/04/2019	18:08:51	2	TITRI	
	24/04/2019	18:47:10	2	TILAG	00:55:06
18:16	24/04/2019	18:18:02	2	TICEN	
	24/04/2019	18:37:36	2	TITRI	
	24/04/2019	19:16:43	2	TILAG	00:58:41
18:32	24/04/2019	18:33:54	2	TICEN	
	24/04/2019	18:51:22	2	TITRI	
	24/04/2019	19:28:42	2	TILAG	00:54:48
18:44	24/04/2019	18:46:10	2	TICEN	
	24/04/2019	19:03:11	2	TITRI	
	24/04/2019	19:36:23	2	TILAG	00:50:13
19:00	24/04/2019	19:03:38	2	TICEN	
	24/04/2019	19:27:23	2	TITRI	
	24/04/2019	20:08:17	2	TILAG	01:04:39
19:09	24/04/2019	19:11:21	2	TICEN	
	24/04/2019	19:28:14	2	TITRI	
	24/04/2019	20:05:42	2	TILAG	00:54:21
19:23	24/04/2019	19:25:08	2	TICEN	
	24/04/2019	19:41:10	2	TITRI	
	24/04/2019	20:15:50	2	TILAG	00:50:42
19:49	24/04/2019	19:51:05	2	TICEN	
	24/04/2019	20:05:27	2	TITRI	
	24/04/2019	20:34:07	2	TILAG	00:43:02
20:08	24/04/2019	20:10:07	2	TICEN	
	24/04/2019	20:22:41	2	TITRI	
	24/04/2019	20:43:49	2	TILAG	00:33:42
20:30	24/04/2019	20:32:35	2	TICEN	
	24/04/2019	20:47:02	2	TITRI	
	24/04/2019	21:09:31	2	TILAG	00:36:56
20:48	24/04/2019	20:49:51	2	TICEN	
	24/04/2019	21:03:41	2	TITRI	
	24/04/2019	21:23:16	2	TILAG	00:33:25
21:25	24/04/2019	21:27:08	2	TICEN	

	24/04/2019				
	24/04/2019	21:59:24	2	TILAG	00:32:16
22:05	24/04/2019	22:06:22	2	TICEN	
	24/04/2019	22:21:15	2	TITRI	
	24/04/2019	22:40:55	2	TILAG	00:34:33
22:10	24/04/2019	22:11:46	2	TICEN	
	24/04/2019	22:25:22	2	TITRI	
	24/04/2019	22:44:07	2	TILAG	00:32:21
22:40	24/04/2019	22:41:36	2	TICEN	
	24/04/2019	22:52:08	2	TITRI	
	24/04/2019	23:11:48	2	TILAG	00:30:12

Fonte: Elaboração própria.

Apêndice C-5 – Cálculos de tempos de viagem (Saídas TILAG) – 03/04/2019

SAÍDA TILAG	DATA	HORÁRIO	SENTIDO	TERMINAL	TEMPOS DE VIAGEM
06:15	03/04/2019	06:15:33	1	TILAG	
	03/04/2019	06:34:39	1	TITRI	
	03/04/2019	06:47:10	1	TICEN	00:31:37
06:38	03/04/2019	06:39:28	1	TILAG	
	03/04/2019	06:59:11	1	TITRI	
	03/04/2019	07:15:22	1	TICEN	00:35:54
06:57	03/04/2019	06:58:51	1	TILAG	
	03/04/2019	07:21:28	1	TITRI	
	03/04/2019	07:34:37	1	TICEN	00:35:46
07:05	03/04/2019	07:04:32	1	TILAG	
	03/04/2019	07:06:31	1	TILAG	
	03/04/2019	07:37:13	1	TITRI	00:32:41
07:27	03/04/2019	07:28:18	1	TILAG	
	03/04/2019	08:08:26	1	TITRI	
	03/04/2019	08:22:09	1	TICEN	00:53:51
07:38	03/04/2019	07:38:22	1	TILAG	
	03/04/2019	08:12:54	1	TITRI	
	03/04/2019	08:25:06	1	TICEN	00:46:44
07:50	03/04/2019	07:50:41	1	TILAG	
	03/04/2019	08:22:35	1	TITRI	
	03/04/2019	08:38:22	1	TICEN	00:47:41
08:00	03/04/2019	08:01:28	1	TILAG	
	03/04/2019	08:33:04	1	TITRI	
	03/04/2019	08:49:37	1	TICEN	00:48:09
08:25	03/04/2019	08:25:45	1	TILAG	
	03/04/2019	08:44:08	1	TITRI	
	03/04/2019	09:02:08	1	TICEN	00:36:23
08:48	03/04/2019	08:49:55	1	TILAG	
	03/04/2019	09:13:06	1	TITRI	
	03/04/2019	09:28:03	1	TICEN	00:38:08

09:10	03/04/2019	09:10:33	1	TILAG	
	03/04/2019	09:28:54	1	TITRI	
	03/04/2019	09:40:38	1	TICEN	00:30:05
09:23	03/04/2019	09:23:45	1	TILAG	
	03/04/2019	09:42:23	1	TITRI	
	03/04/2019	09:57:10	1	TICEN	00:33:25
09:55	03/04/2019	09:56:40	1	TILAG	
	03/04/2019	10:13:32	1	TITRI	
	03/04/2019	10:26:32	1	TICEN	00:29:52
10:22	03/04/2019	10:23:00	1	TILAG	
	03/04/2019	10:40:25	1	TITRI	
	03/04/2019	10:52:25	1	TICEN	00:29:25
10:54	03/04/2019	10:54:53	1	TILAG	
	03/04/2019	11:11:34	1	TITRI	
	03/04/2019	11:23:28	1	TICEN	00:28:35
11:24	03/04/2019	11:24:31	1	TILAG	
	03/04/2019	11:45:07	1	TITRI	
	03/04/2019	12:00:15	1	TICEN	00:35:44
11:50	03/04/2019	11:51:44	1	TILAG	
	03/04/2019	12:14:24	1	TITRI	
	03/04/2019	12:32:25	1	TICEN	00:40:41
12:14	03/04/2019	12:15:31	1	TILAG	
	03/04/2019	12:36:29	1	TITRI	
	03/04/2019	12:53:03	1	TICEN	00:37:32
12:35	03/04/2019	12:37:16	1	TILAG	
	03/04/2019	12:56:31	1	TITRI	
	03/04/2019	13:16:30	1	TICEN	00:39:14
12:53	03/04/2019	12:50:00	1	TILAG	
	03/04/2019	13:12:18	1	TITRI	
	03/04/2019	13:31:38	1	TICEN	00:41:38
13:02	03/04/2019	13:03:17	1	TILAG	
	03/04/2019	13:29:59	1	TITRI	
	03/04/2019	13:44:41	1	TICEN	00:41:24
13:27	03/04/2019	13:29:20	1	TILAG	
	03/04/2019	13:52:29	1	TITRI	
	03/04/2019	14:08:30	1	TICEN	00:39:10
13:35	03/04/2019	13:35:54	1	TILAG	
	03/04/2019	13:56:48	1	TITRI	
	03/04/2019	14:10:20	1	TICEN	00:34:26
13:50	03/04/2019	13:51:03	1	TILAG	
	03/04/2019	14:10:09	1	TITRI	
	03/04/2019	14:24:55	1	TICEN	00:33:52
14:20	03/04/2019				
	03/04/2019				
	03/04/2019				

14:33	03/04/2019				
	03/04/2019				
	03/04/2019				
14:51	03/04/2019				
	03/04/2019				
	03/04/2019				
15:00	03/04/2019				
	03/04/2019				
	03/04/2019				
15:23	03/04/2019				
	03/04/2019				
	03/04/2019				
15:33	03/04/2019	15:33:50	1	TILAG	
	03/04/2019	15:53:08	1	TITRI	
	03/04/2019	16:18:42	1	TICEN	00:44:52
15:56	03/04/2019	15:57:24	1	TILAG	
	03/04/2019	16:17:41	1	TITRI	
	03/04/2019	16:47:20	1	TICEN	00:49:56
16:21	03/04/2019	16:23:58	1	TILAG	
	03/04/2019	16:44:26	1	TITRI	
	03/04/2019	17:29:43	1	TICEN	
16:47	03/04/2019	16:47:45	1	TILAG	
	03/04/2019	17:04:32	1	TITRI	
	03/04/2019	18:00:13	1	TICEN	
17:05	03/04/2019	17:05:00	1	TILAG	
	03/04/2019	17:26:53	1	TITRI	
	03/04/2019	18:30:47	1	TICEN	
17:17	03/04/2019	17:19:01	1	TILAG	
	03/04/2019	17:40:17	1	TITRI	
	03/04/2019	18:42:22	1	TICEN	
17:43	03/04/2019	17:44:07	1	TILAG	
	03/04/2019	18:09:25	1	TITRI	
	03/04/2019	19:00:00	1	TICEN	
18:21	03/04/2019	18:23:01	1	TILAG	
	03/04/2019	18:45:00	1	TITRI	
	03/04/2019	19:30:24	1	TICEN	01:07:23
18:37	03/04/2019	18:41:12	1	TILAG	
	03/04/2019	18:58:20	1	TITRI	
	03/04/2019	19:39:56	1	TICEN	00:58:44
19:07	03/04/2019	19:09:47	1	TILAG	
	03/04/2019	19:29:46	1	TITRI	
	03/04/2019	20:08:58	1	TICEN	
19:37	03/04/2019	19:37:59	1	TILAG	
	03/04/2019	19:54:17	1	TITRI	
	03/04/2019	20:22:10	1	TICEN	00:44:11

19:55	03/04/2019	19:56:00	1	TILAG	
	03/04/2019	20:18:49	1	TITRI	
	03/04/2019	20:41:23	1	TICEN	00:45:23
20:11	03/04/2019	20:12:21	1	TILAG	
	03/04/2019	20:30:04	1	TITRI	
	03/04/2019	20:48:49	1	TICEN	00:36:28
20:48	03/04/2019	20:49:08	1	TILAG	
	03/04/2019	21:07:59	1	TITRI	
	03/04/2019	21:21:23	1	TICEN	00:32:15
21:28	03/04/2019	21:29:57	1	TILAG	
	03/04/2019	21:48:01	1	TITRI	
	03/04/2019	22:02:33	1	TICEN	00:32:36
22:00	03/04/2019	22:00:53	1	TILAG	
	03/04/2019	22:21:38	1	TITRI	
	03/04/2019	22:37:29	1	TICEN	00:36:36

Fonte: Elaboração própria.

Apêndice C-6 – Cálculos de tempos de viagem (Saídas TILAG) – 10/04/2019

SAÍDA TILAG	DATA	HORARIO	SENTIDO	TERMINAL	TEMPOS DE VIAGEM
06:15	10/04/2019	06:15:47	1	TILAG	
	10/04/2019	06:32:21	1	TITRI	
	10/04/2019	06:45:30	1	TICEN	00:29:43
06:38	10/04/2019	06:38:09	1	TILAG	
	10/04/2019	06:56:56	1	TITRI	
	10/04/2019	07:10:12	1	TICEN	00:32:03
06:57	10/04/2019	06:57:50	1	TILAG	
	10/04/2019	07:17:05	1	TITRI	
	10/04/2019	07:34:30	1	TICEN	00:36:40
07:05	10/04/2019	07:05:45	1	TILAG	
	10/04/2019	07:30:27	1	TITRI	
	10/04/2019	07:50:08	1	TICEN	00:44:23
07:27	10/04/2019	07:27:50	1	TILAG	
	10/04/2019	08:06:11	1	TITRI	
	10/04/2019	08:22:15	1	TICEN	00:54:25
07:38	10/04/2019	07:39:18	1	TILAG	
	10/04/2019	08:12:55	1	TITRI	
	10/04/2019	08:28:49	1	TICEN	00:49:31
07:50	10/04/2019	07:50:47	1	TILAG	
	10/04/2019	08:21:43	1	TITRI	
	10/04/2019	08:37:37	1	TICEN	00:46:50
08:00	10/04/2019	08:01:10	1	TILAG	
	10/04/2019	08:31:01	1	TITRI	
	10/04/2019	08:48:13	1	TICEN	00:47:03
08:25	10/04/2019	08:26:40	1	TILAG	
	10/04/2019	08:46:18	1	TITRI	

	10/04/2019	09:07:54	1	TICEN	00:41:14
08:48	10/04/2019	08:48:55	1	TILAG	
	10/04/2019	09:08:45	1	TITRI	
	10/04/2019	09:28:07	1	TICEN	00:39:12
09:10	10/04/2019	09:11:34	1	TILAG	
	10/04/2019	09:33:19	1	TITRI	
	10/04/2019	09:48:06	1	TICEN	00:36:32
09:23	10/04/2019	09:24:36	1	TILAG	
	10/04/2019	09:44:33	1	TITRI	
	10/04/2019	10:01:06	1	TICEN	00:36:30
09:55	10/04/2019	09:56:19	1	TILAG	
	10/04/2019	10:15:49	1	TITRI	
	10/04/2019	10:36:17	1	TICEN	00:39:58
10:22	10/04/2019	10:22:21	1	TILAG	
	10/04/2019	10:40:23	1	TITRI	
	10/04/2019	10:56:05	1	TICEN	00:33:44
10:54	10/04/2019	10:55:00	1	TILAG	
	10/04/2019	11:11:35	1	TITRI	
	10/04/2019	11:26:01	1	TICEN	00:31:01
11:24	10/04/2019	11:25:18	1	TILAG	
	10/04/2019	11:45:04	1	TITRI	
	10/04/2019	11:58:27	1	TICEN	00:33:09
11:50	10/04/2019	11:51:24	1	TILAG	
	10/04/2019	12:14:11	1	TITRI	
	10/04/2019	12:31:11	1	TICEN	00:39:47
12:14	10/04/2019	12:14:45	1	TILAG	
	10/04/2019	12:36:26	1	TITRI	
	10/04/2019	12:51:17	1	TICEN	00:36:32
12:35	10/04/2019	12:36:42	1	TILAG	
	10/04/2019	12:56:39	1	TITRI	
	10/04/2019	13:14:39	1	TICEN	00:37:57
12:53	10/04/2019	12:52:09	1	TILAG	
	10/04/2019	13:14:22	1	TITRI	
	10/04/2019	13:37:13	1	TICEN	00:45:04
13:02	10/04/2019	13:02:58	1	TILAG	
	10/04/2019	13:29:52	1	TITRI	
	10/04/2019	13:46:29	1	TICEN	00:43:31
13:27	10/04/2019	13:27:59	1	TILAG	
	10/04/2019	13:52:25	1	TITRI	
	10/04/2019	14:12:13	1	TICEN	00:44:14
13:35	10/04/2019	13:37:17	1	TILAG	
	10/04/2019	13:59:10	1	TITRI	
	10/04/2019	14:20:03	1	TICEN	00:42:46
13:50	10/04/2019	13:51:09	1	TILAG	
	10/04/2019	14:10:14	1	TITRI	

	10/04/2019	14:32:27	1	TICEN	00:41:18
14:20	10/04/2019	14:21:23	1	TILAG	
	10/04/2019	14:41:38	1	TITRI	
	10/04/2019	15:01:56	1	TICEN	00:40:33
14:33	10/04/2019	14:33:36	1	TILAG	
	10/04/2019	14:52:40	1	TITRI	
	10/04/2019	15:14:37	1	TICEN	00:41:01
14:51	10/04/2019	14:52:40	1	TILAG	
	10/04/2019	15:12:36	1	TITRI	
	10/04/2019	15:30:59	1	TICEN	00:38:19
15:00	10/04/2019	15:01:21	1	TILAG	
	10/04/2019	15:19:36	1	TITRI	
	10/04/2019	15:36:21	1	TICEN	00:35:00
15:23	10/04/2019	15:25:31	1	TILAG	
	10/04/2019	15:48:30	1	TITRI	
	10/04/2019	16:11:09	1	TICEN	00:45:38
15:33	10/04/2019	15:33:48	1	TILAG	
	10/04/2019	15:53:11	1	TITRI	
	10/04/2019	16:14:44	1	TICEN	00:40:56
15:56	10/04/2019	15:57:04	1	TILAG	
	10/04/2019	16:19:48	1	TITRI	
	10/04/2019	16:39:40	1	TICEN	00:42:36
16:21	10/04/2019	16:23:22	1	TILAG	
	10/04/2019	16:44:24	1	TITRI	
	10/04/2019	17:06:24	1	TICEN	00:43:02
16:47	10/04/2019				
	10/04/2019				
	10/04/2019				
17:05	10/04/2019	17:06:06	1	TILAG	
	10/04/2019	17:29:05	1	TITRI	
	10/04/2019	18:02:06	1	TICEN	00:56:00
17:17	10/04/2019	17:19:10	1	TILAG	
	10/04/2019	17:40:09	1	TITRI	
	10/04/2019	18:13:34	1	TICEN	00:54:24
17:43	10/04/2019	17:44:27	1	TILAG	
	10/04/2019	18:04:47	1	TITRI	
	10/04/2019	18:32:59	1	TICEN	00:48:32
18:21	10/04/2019	18:24:14	1	TILAG	
	10/04/2019	18:47:05	1	TITRI	
	10/04/2019	19:05:55	1	TICEN	00:41:41
18:37	10/04/2019	18:34:31	1	TILAG	
	10/04/2019	18:53:55	1	TITRI	
	10/04/2019	19:09:30	1	TICEN	
19:07	10/04/2019	19:09:53	1	TILAG	
	10/04/2019	19:29:37	1	TITRI	

	10/04/2019	19:46:05	1	TICEN	00:36:12
19:37	10/04/2019	19:39:08	1	TILAG	
	10/04/2019	19:56:33	1	TITRI	
	10/04/2019	20:12:35	1	TICEN	00:33:27
19:55	10/04/2019	19:58:07	1	TILAG	
	10/04/2019	20:18:54	1	TITRI	
	10/04/2019	20:33:27	1	TICEN	00:35:20
20:11	10/04/2019	20:12:26	1	TILAG	
	10/04/2019	20:32:15	1	TITRI	
	10/04/2019	20:45:43	1	TICEN	00:33:17
20:48	10/04/2019	20:48:54	1	TILAG	
	10/04/2019	21:07:47	1	TITRI	
	10/04/2019	21:21:24	1	TICEN	00:32:30
21:28	10/04/2019	21:29:37	1	TILAG	
	10/04/2019	21:48:08	1	TITRI	
	10/04/2019	22:02:38	1	TICEN	00:33:01
22:00	10/04/2019	22:01:33	1	TILAG	
	10/04/2019	22:19:25	1	TITRI	
	10/04/2019	22:33:46	1	TICEN	00:32:13

Fonte: Elaboração própria.

Apêndice C-7 – Cálculos de tempos de viagem (Saídas TILAG) – 17/04/2019

SAÍDA TILAG	DATA	HORARIO	SENTIDO	TERMINAL	TEMPOS DE VIAGEM
06:15	17/04/2019	06:14:53	1	TILAG	
	17/04/2019	06:34:03	1	TITRI	
	17/04/2019	06:45:19	1	TICEN	00:30:26
06:38	17/04/2019	06:40:11	1	TILAG	
	17/04/2019	06:58:46	1	TITRI	
	17/04/2019	07:13:39	1	TICEN	00:33:28
06:57	17/04/2019	06:57:52	1	TILAG	
	17/04/2019	07:18:49	1	TITRI	
	17/04/2019	07:34:28	1	TICEN	00:36:36
07:05	17/04/2019	07:05:55	1	TILAG	
	17/04/2019	07:36:40	1	TITRI	
	17/04/2019	07:52:03	1	TICEN	00:46:08
07:27	17/04/2019	07:27:53	1	TILAG	
	17/04/2019	08:10:10	1	TITRI	
	17/04/2019	08:27:12	1	TICEN	00:59:19
07:38	17/04/2019	07:38:32	1	TILAG	
	17/04/2019	08:12:21	1	TITRI	
	17/04/2019	08:29:24	1	TICEN	00:50:52
07:50	17/04/2019	07:53:12	1	TILAG	
	17/04/2019	08:26:06	1	TITRI	
	17/04/2019	08:44:25	1	TICEN	00:51:13
08:00	17/04/2019	08:01:17	1	TILAG	

	17/04/2019	08:28:10	1	TITRI	
	17/04/2019	08:42:37	1	TICEN	00:41:20
08:25	17/04/2019	08:25:41	1	TILAG	
	17/04/2019	08:44:00	1	TITRI	
	17/04/2019	09:00:24	1	TICEN	00:34:43
08:48	17/04/2019	08:49:17	1	TILAG	
	17/04/2019	09:10:39	1	TITRI	
	17/04/2019	09:25:23	1	TICEN	00:36:06
09:10	17/04/2019	09:12:57	1	TILAG	
	17/04/2019	09:35:10	1	TITRI	
	17/04/2019	09:53:33	1	TICEN	00:40:36
09:23					
09:55	17/04/2019	09:55:43	1	TILAG	
	17/04/2019	10:19:44	1	TITRI	
	17/04/2019	10:34:29	1	TICEN	00:38:46
10:22	17/04/2019	10:24:39	1	TILAG	
	17/04/2019	10:42:13	1	TITRI	
	17/04/2019	11:03:11	1	TICEN	00:38:32
10:54	17/04/2019	10:55:03	1	TILAG	
	17/04/2019	11:15:41	1	TITRI	
	17/04/2019	11:34:23	1	TICEN	00:39:20
11:24	17/04/2019	11:24:54	1	TILAG	
	17/04/2019	11:46:58	1	TITRI	
	17/04/2019	12:03:28	1	TICEN	00:38:34
11:50	17/04/2019	11:50:33	1	TILAG	
	17/04/2019	12:09:15	1	TITRI	
	17/04/2019	12:27:19	1	TICEN	00:36:46
12:14	17/04/2019	12:15:30	1	TILAG	
	17/04/2019	12:36:01	1	TITRI	
	17/04/2019	12:56:55	1	TICEN	00:41:25
12:35	17/04/2019	12:39:03	1	TILAG	
	17/04/2019	13:00:34	1	TITRI	
	17/04/2019	13:22:45	1	TICEN	00:43:42
12:53	17/04/2019	12:51:20	1	TILAG	
	17/04/2019	13:14:04	1	TITRI	
	17/04/2019	13:39:14	1	TICEN	00:47:54
13:02	17/04/2019	13:03:48	1	TILAG	
	17/04/2019	13:27:26	1	TITRI	
	17/04/2019	13:50:24	1	TICEN	00:46:36
13:27	17/04/2019	13:27:47	1	TILAG	
	17/04/2019	13:51:53	1	TITRI	
	17/04/2019	14:12:18	1	TICEN	00:44:31
13:35	17/04/2019	13:35:35	1	TILAG	

	17/04/2019	13:58:46	1	TITRI	
	17/04/2019	14:19:35	1	TICEN	00:44:00
13:50	17/04/2019	13:51:00	1	TILAG	
	17/04/2019	14:09:49	1	TITRI	
	17/04/2019	14:28:44	1	TICEN	00:37:44
14:20	17/04/2019	14:22:43	1	TILAG	
	17/04/2019	14:43:16	1	TITRI	
	17/04/2019	15:09:10	1	TICEN	00:46:27
14:33	17/04/2019	14:33:39	1	TILAG	
	17/04/2019	14:54:30	1	TITRI	
	17/04/2019	15:18:28	1	TICEN	00:44:49
14:51	17/04/2019	14:54:16	1	TILAG	
	17/04/2019	15:14:31	1	TITRI	
	17/04/2019	15:36:31	1	TICEN	00:42:15
15:00	17/04/2019	15:00:59	1	TILAG	
	17/04/2019	15:23:31	1	TITRI	
	17/04/2019	15:43:56	1	TICEN	00:42:57
15:23	17/04/2019	15:23:43	1	TILAG	
	17/04/2019	15:43:45	1	TITRI	
	17/04/2019	16:07:02	1	TICEN	00:43:19
15:33	17/04/2019	15:34:36	1	TILAG	
	17/04/2019	15:54:52	1	TITRI	
	17/04/2019	16:16:48	1	TICEN	00:42:12
15:56	17/04/2019	15:56:50	1	TILAG	
	17/04/2019	16:17:14	1	TITRI	
	17/04/2019	16:41:43	1	TICEN	00:44:53
16:21					
16:47					
17:05	17/04/2019	17:06:01	1	TILAG	
	17/04/2019	17:56:42	1	TICEN	00:50:41
17:17	17/04/2019	17:19:18	1	TILAG	
				TITRI	
	17/04/2019	18:22:11	1	TICEN	01:02:53
17:43					
18:21	17/04/2019	18:22:55	1	TILAG	
	17/04/2019	18:55:36	1	TITRI	
	17/04/2019	19:14:25	1	TICEN	00:51:30
18:37	17/04/2019	18:42:07	1	TILAG	

	17/04/2019	19:11:23	1	TITRI	
	17/04/2019	19:27:44	1	TICEN	00:45:37
19:07	17/04/2019	19:08:47	1	TILAG	
	17/04/2019	19:33:43	1	TITRI	
	17/04/2019	19:49:30	1	TICEN	00:40:43
19:37	17/04/2019	19:42:35	1	TILAG	
	17/04/2019	20:02:39	1	TITRI	
	17/04/2019	20:14:36	1	TICEN	00:32:01
19:55	17/04/2019	19:56:10	1	TILAG	
	17/04/2019	20:16:15	1	TITRI	
	17/04/2019	20:32:38	1	TICEN	00:36:28
20:11	17/04/2019	20:12:21	1	TILAG	
	17/04/2019	20:31:35	1	TITRI	
	17/04/2019	20:47:58	1	TICEN	00:35:37
20:48	17/04/2019	20:49:15	1	TILAG	
	17/04/2019	21:07:23	1	TITRI	
	17/04/2019	21:20:22	1	TICEN	00:31:07
21:28	17/04/2019	21:30:27	1	TILAG	
	17/04/2019	21:47:35	1	TITRI	
	17/04/2019	22:04:23	1	TICEN	00:33:56
22:00	17/04/2019	22:01:03	1	TILAG	
	17/04/2019	22:18:45	1	TITRI	
	17/04/2019	22:30:27	1	TICEN	00:29:24

Fonte: Elaboração própria.

Apêndice C-8 – Cálculos de tempos de viagem (Saídas TILAG) – 24/04/2019

SAÍDA TILAG	DATA	HORARIO	SENTIDO	TERMINAL	TEMPOS DE VIAGEM
06:15	24/04/2019	06:15:44	1	TILAG	
	24/04/2019	06:35:44	1	TITRI	
	24/04/2019	06:47:16	1	TICEN	00:31:32
06:38	24/04/2019	06:39:58	1	TILAG	
	24/04/2019	07:00:20	1	TITRI	
	24/04/2019	07:16:57	1	TICEN	00:36:59
06:57	24/04/2019	06:57:37	1	TILAG	
	24/04/2019	07:18:14	1	TITRI	
	24/04/2019	07:34:47	1	TICEN	00:37:10
07:05	24/04/2019	07:06:02	1	TILAG	
	24/04/2019	07:40:31	1	TITRI	
	24/04/2019	07:57:17	1	TICEN	00:51:15
07:27	24/04/2019	07:28:04	1	TILAG	
	24/04/2019	08:09:51	1	TITRI	
	24/04/2019	08:27:07	1	TICEN	00:59:03
07:38	24/04/2019	07:38:40	1	TILAG	
	24/04/2019	08:16:17	1	TITRI	
	24/04/2019	08:33:56	1	TICEN	00:55:16

07:50	24/04/2019	07:51:11	1	TILAG	
	24/04/2019	08:25:08	1	TITRI	
	24/04/2019	08:46:13	1	TICEN	00:55:02
08:00	24/04/2019	08:01:31	1	TILAG	
	24/04/2019	08:32:04	1	TITRI	
	24/04/2019	08:53:12	1	TICEN	00:51:41
08:25	24/04/2019	08:25:33	1	TILAG	
	24/04/2019	08:45:30	1	TITRI	
	24/04/2019	09:07:38	1	TICEN	00:42:05
08:48	24/04/2019	08:49:32	1	TILAG	
	24/04/2019	09:09:54	1	TITRI	
	24/04/2019	09:26:21	1	TICEN	00:36:49
09:10	24/04/2019	09:11:16	1	TILAG	
	24/04/2019	09:32:17	1	TITRI	
	24/04/2019	09:50:14	1	TICEN	00:38:58
09:23	24/04/2019	09:23:57	1	TILAG	
	24/04/2019	09:43:22	1	TITRI	
	24/04/2019	09:57:08	1	TICEN	00:33:11
09:55	24/04/2019	09:56:03	1	TILAG	
	24/04/2019	10:14:39	1	TITRI	
	24/04/2019	10:28:39	1	TICEN	00:32:36
10:22	24/04/2019	10:22:58	1	TILAG	
	24/04/2019	10:41:23	1	TITRI	
	24/04/2019	10:54:42	1	TICEN	00:31:44
10:54	24/04/2019	10:56:19	1	TILAG	
	24/04/2019	11:19:46	1	TITRI	
	24/04/2019	11:38:42	1	TICEN	00:42:23
11:24	24/04/2019	11:25:42	1	TILAG	
	24/04/2019				
	24/04/2019	12:00:21	1	TICEN	00:34:39
11:50	24/04/2019	11:52:21	1	TILAG	
	24/04/2019	12:17:45	1	TITRI	
	24/04/2019	12:36:42	1	TICEN	00:44:21
12:14	24/04/2019	12:14:31	1	TILAG	
	24/04/2019	12:34:51	1	TITRI	
	24/04/2019	12:56:56	1	TICEN	00:42:25
12:35	24/04/2019	12:36:58	1	TILAG	
	24/04/2019	13:15:23	1	TITRI	
	24/04/2019	13:44:40	1	TICEN	
12:53	24/04/2019				
	24/04/2019				
	24/04/2019				
13:02	24/04/2019	13:04:27	1	TILAG	
	24/04/2019	13:38:59	1	TITRI	
	24/04/2019	14:06:25	1	TICEN	

13:27	24/04/2019	13:27:38	1	TILAG	
	24/04/2019	13:55:04	1	TITRI	
	24/04/2019	14:19:22	1	TICEN	00:51:44
13:35	24/04/2019	13:36:25	1	TILAG	
	24/04/2019	14:01:00	1	TITRI	
	24/04/2019	14:22:53	1	TICEN	00:46:28
13:50	24/04/2019	13:50:26	1	TILAG	
	24/04/2019	14:10:59	1	TITRI	
	24/04/2019	14:30:31	1	TICEN	00:40:05
14:20	24/04/2019	14:21:14	1	TILAG	
	24/04/2019	14:42:12	1	TITRI	
	24/04/2019	15:03:24	1	TICEN	00:42:10
14:33	24/04/2019	14:34:43	1	TILAG	
	24/04/2019	15:00:38	1	TITRI	
	24/04/2019	15:20:05	1	TICEN	00:45:22
14:51	24/04/2019	14:52:19	1	TILAG	
	24/04/2019	15:11:39	1	TITRI	
	24/04/2019	15:30:56	1	TICEN	00:38:37
15:00	24/04/2019	15:00:57	1	TILAG	
	24/04/2019	15:20:32	1	TITRI	
	24/04/2019	15:38:08	1	TICEN	00:37:11
15:23	24/04/2019	15:24:11	1	TILAG	
	24/04/2019	15:49:54	1	TITRI	
	24/04/2019	16:09:03	1	TICEN	00:44:52
15:33	24/04/2019	15:34:20	1	TILAG	
	24/04/2019	15:55:47	1	TITRI	
	24/04/2019	16:16:41	1	TICEN	00:42:21
15:56	24/04/2019	15:56:51	1	TILAG	
	24/04/2019	16:19:38	1	TITRI	
	24/04/2019	16:37:57	1	TICEN	00:41:06
16:21	24/04/2019	16:22:16	1	TILAG	
	24/04/2019	16:46:24	1	TITRI	
	24/04/2019	17:04:43	1	TICEN	00:42:27
16:47	24/04/2019	16:47:35	1	TILAG	
	24/04/2019	17:13:13	1	TITRI	
	24/04/2019	17:30:50	1	TICEN	00:43:15
17:05	24/04/2019	17:06:29	1	TILAG	
	24/04/2019	17:26:50	1	TITRI	
	24/04/2019	17:48:26	1	TICEN	00:41:57
17:17	24/04/2019				
	24/04/2019				
	24/04/2019				
17:43	24/04/2019	17:44:22	1	TILAG	
	24/04/2019	18:04:46	1	TITRI	
	24/04/2019	18:23:24	1	TICEN	00:39:02

18:21	24/04/2019	18:21:38	1	TILAG	
	24/04/2019	18:49:21	1	TITRI	
	24/04/2019	19:07:35	1	TICEN	00:45:57
18:37	24/04/2019	18:38:43	1	TILAG	
	24/04/2019	19:04:49	1	TITRI	
	24/04/2019	19:21:08	1	TICEN	00:42:25
19:07	24/04/2019	19:08:11	1	TILAG	
	24/04/2019	19:31:44	1	TITRI	
	24/04/2019	19:49:08	1	TICEN	00:40:57
19:37	24/04/2019	19:41:19	1	TILAG	
	24/04/2019	20:11:58	1	TITRI	
	24/04/2019	20:25:49	1	TICEN	00:44:30
19:55	24/04/2019	19:56:11	1	TILAG	
	24/04/2019	20:14:17	1	TITRI	
	24/04/2019	20:28:55	1	TICEN	00:32:44
20:11	24/04/2019	20:12:06	1	TILAG	
	24/04/2019	20:34:11	1	TITRI	
	24/04/2019	20:47:20	1	TICEN	00:35:14
20:48	24/04/2019	20:48:58	1	TILAG	
	24/04/2019	21:10:22	1	TITRI	
	24/04/2019	21:23:14	1	TICEN	00:34:16
21:28	24/04/2019	21:29:13	1	TILAG	
	24/04/2019	21:45:52	1	TITRI	
	24/04/2019	22:00:49	1	TICEN	00:31:36
22:00	24/04/2019				
	24/04/2019				
	24/04/2019				

Fonte: Elaboração própria.

APÊNDICE D - Tempos médios de viagem por sentido – Linha 320 – abril/2019

Apêndice D-1 – Tempos médios de viagem (Saídas TICEN) – abril/2019

SAÍDAS TICEN	TEMPOS DE VIAGEM - médias
06:18	00:35:08
06:50	00:38:29
07:16	00:38:28
07:40	00:35:43
08:02	00:39:16
08:15	00:36:15
08:35	00:34:56
09:11	00:34:27
09:39	00:35:37
10:10	00:36:12
10:15	00:34:32
10:40	00:33:23
11:05	00:33:15
11:30	00:37:16
11:42	00:40:24
11:55	00:42:40
12:15	00:40:25
12:36	00:42:00
13:00	00:38:53
13:06	00:39:29
13:25	00:40:43
13:36	00:39:50
13:55	00:36:22
14:08	00:34:26
14:40	00:34:03
15:10	00:37:49
15:35	00:39:53
16:00	00:40:53
16:15	00:41:04
16:30	00:38:52
16:45	00:40:48
16:55	00:44:46
17:21	00:51:48
17:50	00:51:37
18:16	01:00:06
18:32	00:52:51
18:44	00:47:56
19:00	00:53:28
19:09	00:51:57
19:23	00:47:35
19:49	00:40:57

20:08	00:42:06
20:30	00:42:37
20:48	00:39:39
21:25	00:33:42
22:05	00:34:39
22:10	00:31:38
22:40	00:29:48

Fonte: Elaboração própria.

Apêndice D-2 – Tempos médios de viagem (Saídas TILAG) – abril/2019

SAÍDAS TILAG	TEMPOS DE VIAGEM - médias
06:15	00:30:50
06:38	00:34:36
06:57	00:36:33
07:05	00:43:37
07:27	00:56:40
07:38	00:50:36
07:50	00:50:11
08:00	00:47:03
08:25	00:38:36
08:48	00:37:34
09:10	00:36:33
09:23	00:34:22
09:55	00:35:18
10:22	00:33:21
10:54	00:35:20
11:24	00:35:32
11:50	00:40:24
12:14	00:39:28
12:35	00:40:18
12:53	00:44:52
13:02	00:43:50
13:27	00:44:55
13:35	00:41:55
13:50	00:38:15
14:20	00:43:03
14:33	00:43:44
14:51	00:39:44
15:00	00:38:23
15:23	00:44:36
15:33	00:42:35
15:56	00:44:38
16:21	00:42:45
16:47	00:43:15
17:05	00:49:33

17:17	00:58:39
17:43	00:43:47
18:21	00:51:38
18:37	00:48:55
19:07	00:39:17
19:37	00:38:32
19:55	00:37:29
20:11	00:35:09
20:48	00:32:32
21:28	00:32:47
22:00	00:32:44

Fonte: Elaboração própria.

APÊNDICE E - Telas Software R – Modelo de Regressão Linear Simples MAECTP

Apêndice E-1 – MRLS – variáveis originais – modelo

```
R R Commander
Arquivo Editar Dados Estatísticas Gráficos Modelos Distribuições Ferramentas Ajuda
Conjunto de Dados: MRLS1 Editar conjunto de dados Ver conjunto de dados Modelo: X <sem modelo ativo>
R Script R Markdown

MAECTP_1 <- readXL("C:/Users/marcus.britez/Desktop/Marcus_FC/Marcus/Dissertação/Dezembro/R (1).xlsx", rownames = FALSE,
header = TRUE, na = "", sheet = "ORIGINAL", stringsAsFactors = TRUE)
summary(MAECTP_1)
scatterplot(TEMPO.TOTAL.DE.DESLOCAMENTO.Tvmtotal..decimal. ~ Iconggest, regLine = FALSE, smooth = FALSE, boxplots = FALSE, data = MAECTP_1)
with(MAECTP_1, cor.test(Iconggest, TEMPO.TOTAL.DE.DESLOCAMENTO.Tvmtotal..decimal., alternative = "two.sided", method = "pearson"))
MRLS_1 <- lm(TEMPO.TOTAL.DE.DESLOCAMENTO.Tvmtotal..decimal. ~ Iconggest, data = MAECTP_1)
summary(MRLS_1)
MAECTP_1 <- within(MAECTP_1, {
  fitted.MRLS_1 <- fitted(MRLS_1)
  residuals.MRLS_1 <- residuals(MRLS_1)
  rstudent.MRLS_1 <- rstudent(MRLS_1)
  hatvalues.MRLS_1 <- hatvalues(MRLS_1)
  cooks.distance.MRLS_1 <- cooks.distance(MRLS_1)
  obsNumber <- 1:nrow(MAECTP_1)
})
scatterplot(residuals.MRLS_1 ~ Iconggest, regLine = FALSE, smooth = FALSE, boxplots = FALSE, data = MAECTP_1)
library(zoo, pos = 16)
library(lmtest, pos = 16)
bptest(TEMPO.TOTAL.DE.DESLOCAMENTO.Tvmtotal..decimal. ~ Iconggest, varformula = ~fitted.values(MRLS_1), studentize = FALSE, data = MAECTP_1)
normalityTest(~residuals.MRLS_1, test = "shapiro.test", data = MAECTP_1)

Output
> MRLS1 <- readXL("C:/Users/marcus.britez/Desktop/Marcus_FC/Marcus/Dissertação/Dezembro/R (1).xlsx", rownames = FALSE,
+ header = TRUE, na = "", sheet = "ORIGINAL", stringsAsFactors = TRUE)
> summary(MRLS1)
  Ordem      Iconggest      TEMPO.TOTAL.DE.DESLOCAMENTO.Tvmtotal..decimal.
Min.   : 1.0   Min.   :0.01129   Min.   :1.099
1st Qu.: 8.5   1st Qu.:0.07451   1st Qu.:1.173
Median :16.0   Median :0.13548   Median :1.331
Mean   :16.0   Mean   :0.23230   Mean   :1.333
3rd Qu.:23.5   3rd Qu.:0.36044   3rd Qu.:1.418
Max.   :31.0   Max.   :0.76183   Max.   :1.757
> scatterplot(TEMPO.TOTAL.DE.DESLOCAMENTO.Tvmtotal..decimal. ~ Iconggest, regLine = FALSE, smooth = FALSE, boxplots = FALSE, data = MRLS1)
> with(MRLS1, cor.test(Iconggest, TEMPO.TOTAL.DE.DESLOCAMENTO.Tvmtotal..decimal., alternative = "two.sided", method = "pearson"))
Pearson's product-moment correlation
data: Iconggest and TEMPO.TOTAL.DE.DESLOCAMENTO.Tvmtotal..decimal.
t = 7.8941, df = 29, p-value = 0.00000001048
alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 0.6669867 0.9131384
sample estimates:
cor
0.8260889
> MRLS1 <- lm(TEMPO.TOTAL.DE.DESLOCAMENTO.Tvmtotal..decimal. ~ Iconggest, data = MRLS1)
> summary(MRLS1)
Call:
lm(formula = TEMPO.TOTAL.DE.DESLOCAMENTO.Tvmtotal..decimal. ~
Iconggest, data = MRLS1)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.25845 -0.06431 -0.03544  0.06780  0.26147

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  1.16688    0.02828   41.286 < 2e-16 ***
Iconggest    0.71383    0.09043   7.894 0.0000000105 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.1055 on 29 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.6824, Adjusted R-squared:  0.6715
F-statistic: 62.32 on 1 and 29 DF, p-value: 0.00000001048
> MAECTP_1 <- within(MAECTP_1, {
+   fitted.MRLS_1 <- fitted(MRLS_1)
+   residuals.MRLS_1 <- residuals(MRLS_1)
+   rstudent.MRLS_1 <- rstudent(MRLS_1)
+   hatvalues.MRLS_1 <- hatvalues(MRLS_1)
+   cooks.distance.MRLS_1 <- cooks.distance(MRLS_1)
+   obsNumber <- 1:nrow(MAECTP_1)
+ })
> scatterplot(residuals.MRLS_1 ~ Iconggest, regLine = FALSE, smooth = FALSE, boxplots = FALSE, data = MAECTP_1)
> library(zoo, pos = 16)
> library(lmtest, pos = 16)
> bptest(TEMPO.TOTAL.DE.DESLOCAMENTO.Tvmtotal..decimal. ~ Iconggest, varformula = ~fitted.values(MRLS_1), studentize = FALSE, data = MAECTP_1)
Breusch-Pagan test
data: TEMPO.TOTAL.DE.DESLOCAMENTO.Tvmtotal..decimal. ~ Iconggest
BP = 0.39563, df = 1, p-value = 0.5294
> normalityTest(~residuals.MRLS_1, test = "shapiro.test", data = MAECTP_1)
Shapiro-Wilk normality test
data: residuals.MRLS_1
W = 0.92349, p-value = 0.02925
```

Fonte: Elaboração própria.

Apêndice E-2 - MRLS – variáveis transformadas – modelo ajustado final

```

R Commander
Arquivo Editar Dados Estatísticas Gráficos Modelos Distribuições Ferramentas Ajuda
Conjunto de Dados: MAECTP_2 Editar conjunto de dados Ver conjunto de dados Modelo: MRLS_2
R Script R Markdown

MAECTP_2 <- readXL("C:/Users/marcus.britez/Desktop/Marcus_PC/Marcus/Disertação/Dezembro/R (1).xlsx", rownames = FALSE, header = TRUE, na = "", sheet = "ORIGINAL_RAIZ_R", stringsAsFactors = TRUE)
summary(MAECTP_2)
scatterplot(TEMPO.TOTAL.DE.DESLOCAMENTO.Tvmtotal..raiz. ~ Icoongest..raiz., regLine = FALSE, smooth = FALSE, boxplots = FALSE, data = MAECTP_2)
with(MAECTP_2, cor.test(Icoongest..raiz., TEMPO.TOTAL.DE.DESLOCAMENTO.Tvmtotal..raiz., alternative = "two.sided", method = "pearson"))
MRLS_2 <- lm(TEMPO.TOTAL.DE.DESLOCAMENTO.Tvmtotal..raiz. ~ Icoongest..raiz., data = MAECTP_2)
summary(MRLS_2)
MAECTP_2 <- within(MAECTP_2, {
  fitted.MRLS_2 <- fitted(MRLS_2)
  residuals.MRLS_2 <- residuals(MRLS_2)
  rstudent.MRLS_2 <- rstudent(MRLS_2)
  hatvalues.MRLS_2 <- hatvalues(MRLS_2)
  cooks.distance.MRLS_2 <- cooks.distance(MRLS_2)
  obsNumber <- 1:nrow(MAECTP_2)
})
scatterplot(residuals.MRLS_2 ~ Icoongest..raiz., regLine = FALSE, smooth = FALSE, boxplots = FALSE, data = MAECTP_2)
bptest(TEMPO.TOTAL.DE.DESLOCAMENTO.Tvmtotal..raiz. ~ Icoongest..raiz., varformula = ~fitted.values(MRLS_2), studentize = FALSE, data = MAECTP_2)
normalityTest(~residuals.MRLS_2, test = "shapiro.test", data = MAECTP_2)

Output

> MAECTP_2 <- readXL("C:/Users/marcus.britez/Desktop/Marcus_PC/Marcus/Disertação/Dezembro/R (1).xlsx", rownames = FALSE, header = TRUE, na = "", sheet = "ORIGINAL_RAIZ_R", stringsAsFactors = TRUE)
> summary(MAECTP_2)
Icoongest..raiz. TEMPO.TOTAL.DE.DESLOCAMENTO.Tvmtotal..raiz.
Min.   :0.1063  Min.   :1.049
1st Qu.:0.2727  1st Qu.:1.083
Median :0.3691  Median :1.154
Mean   :0.4268  Mean   :1.152
3rd Qu.:0.6003  3rd Qu.:1.191
Max.   :0.8728  Max.   :1.325
> scatterplot(TEMPO.TOTAL.DE.DESLOCAMENTO.Tvmtotal..raiz. ~ Icoongest..raiz., regLine = FALSE, smooth = FALSE, boxplots = FALSE, data = MAECTP_2)
> with(MAECTP_2, cor.test(Icoongest..raiz., TEMPO.TOTAL.DE.DESLOCAMENTO.Tvmtotal..raiz., alternative = "two.sided", method = "pearson"))
Pearson's product-moment correlation
data: Icoongest..raiz. and TEMPO.TOTAL.DE.DESLOCAMENTO.Tvmtotal..raiz.
t = 7.8366, df = 29, p-value = 0.000000122
alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 0.6635091 0.9120958
sample estimates:
 cor
0.8240974
> MRLS_2 <- lm(TEMPO.TOTAL.DE.DESLOCAMENTO.Tvmtotal..raiz. ~ Icoongest..raiz., data = MAECTP_2)
> summary(MRLS_2)
Call:
lm(formula = TEMPO.TOTAL.DE.DESLOCAMENTO.Tvmtotal..raiz. ~ Icoongest..raiz.,
    data = MAECTP_2)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.10119 -0.02514 -0.01030  0.02627  0.11196

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  1.02816   0.01774  57.941   < 2e-16 ***
Icoongest..raiz. 0.28845   0.03682   7.836 0.000000122 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.0451 on 29 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.6791, Adjusted R-squared:  0.6681
F-statistic: 61.38 on 1 and 29 DF, p-value: 0.000000122
> MAECTP_2 <- within(MAECTP_2, {
+   fitted.MRLS_2 <- fitted(MRLS_2)
+   residuals.MRLS_2 <- residuals(MRLS_2)
+   rstudent.MRLS_2 <- rstudent(MRLS_2)
+   hatvalues.MRLS_2 <- hatvalues(MRLS_2)
+   cooks.distance.MRLS_2 <- cooks.distance(MRLS_2)
+   obsNumber <- 1:nrow(MAECTP_2)
+ })
> scatterplot(residuals.MRLS_2 ~ Icoongest..raiz., regLine = FALSE, smooth = FALSE, boxplots = FALSE, data = MAECTP_2)
> bptest(TEMPO.TOTAL.DE.DESLOCAMENTO.Tvmtotal..raiz. ~ Icoongest..raiz., varformula = ~fitted.values(MRLS_2), studentize = FALSE, data = MAECTP_2)
Breusch-Pagan test
data: TEMPO.TOTAL.DE.DESLOCAMENTO.Tvmtotal..raiz. ~ Icoongest..raiz.
BP = 0.57917, df = 1, p-value = 0.4466
> normalityTest(~residuals.MRLS_2, test = "shapiro.test", data = MAECTP_2)
Shapiro-Wilk normality test
data: Residuals.MRLS_2
W = 0.96976, p-value = 0.5124

```

Fonte: Elaboração própria.