



CARACTERIZAÇÃO DA DEMANDA DE SISTEMAS DE TRANSPORTE PÚBLICO A
PARTIR DE DADOS DE SISTEMAS DE BILHETAGEM ELETRÔNICA:
UM ENSAIO SOBRE TRÊS ASPECTOS – TEMPO, COMPORTAMENTO E ESPAÇO

Gabriel Tenenbaum de Oliveira

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Transportes.

Orientador: Carlos David Nassi

Rio de Janeiro
Fevereiro de 2016

CARACTERIZAÇÃO DA DEMANDA DE SISTEMAS DE TRANSPORTE PÚBLICO A
PARTIR DE DADOS DE SISTEMAS DE BILHETAGEM ELETRÔNICA:
UM ENSAIO SOBRE TRÊS ASPECTOS – TEMPO, COMPORTAMENTO E ESPAÇO

Gabriel Tenenbaum de Oliveira

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE)
DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM
CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES.

Examinada por:

Prof. Carlos David Nassi, Dr.Ing.

Prof. Glaydston Mattos Ribeiro, D.Sc.

Prof. Luis Antônio Lindau, Ph.D.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

FEVEREIRO DE 2016

Oliveira, Gabriel Tenenbaum de

Caracterização da Demanda de Sistemas de Transporte Público a partir de Dados de Sistemas de Bilhetagem Eletrônica: um Ensaio sobre Três Aspectos – Tempo, Comportamento e Espaço / Gabriel Tenenbaum de Oliveira. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2016.

XV, 113 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Carlos David Nassi

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia de Transportes, 2016.

Referências Bibliográficas: p. 100-104.

1. Sistemas de Bilhetagem Eletrônica. 2. Cartão Eletrônico. 3. Padrões de Regularidade. 4. Estimativa de Desembarque. I. Nassi, Carlos David. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Transportes. III. Título.

“Uma ligação útil, hoje, é aquela que resolve os problemas de ontem. ”
(Gonçalo M. Tavares)

DEDICATÓRIA

Às cidades,

Ponto de descobertas,

Linha de trocas,

Espaço de utopias.

AGRADECIMENTOS

Aos encontros acadêmicos e pessoais, pelas experiências em transportes trocadas.

Aos profissionais da SETRANS-RJ, SMTR-RJ, RioCard e BRT Rio, pela cooperação.

Aos professores, funcionários e amigos do PET, pela sabedoria, colaboração e afeto.

Aos amigos, de além-mar, de cidade, de vida, pela leveza, descontração e reequilíbrio.

À equipe ITDP, pela formação, integridade e sagacidade.

Ao delírio do PET, pelas longas e sinceras trocas, aprendizados e parcerias.

À minha fortaleza, Fernanda, pelo amor, carinho e suporte contínuos.

À pequena e grande Família, pelo exemplo, estímulo e fomento integrais.

Ao prof. Carlos Nassi, mestre e amigo, pelo profundo ensinamento e compreensão.

Obrigado a todos e cada um pelas risadas e percalços vividos juntos.

A felicidade certamente só é real quando compartilhada.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

CARACTERIZAÇÃO DA DEMANDA DE SISTEMAS DE TRANSPORTE PÚBLICO A
PARTIR DE DADOS DE SISTEMAS DE BILHETAGEM ELETRÔNICA:
UM ENSAIO SOBRE TRÊS ASPECTOS – TEMPO, COMPORTAMENTO E ESPAÇO

Gabriel Tenenbaum de Oliveira

Fevereiro/2016

Orientador: Carlos David Nassi

Programa: Engenharia de Transportes

O planejamento e a análise estratégica, tática e operacional de sistemas de transporte público se baseou até o presente quase que exclusivamente em dados coletados manualmente em campo. Sistemas de coleta automática de dados ao oferecerem precisão, continuidade e profusão de dados representam nesse sentido uma mudança de paradigma ante uma nova era em transportes. Esta pesquisa estrutura uma metodologia de aplicação de dados de Sistemas de Bilhetagem Eletrônica para caracterizar a demanda de sistemas de transporte público, em torno de três dimensões: tempo, comportamento e espaço. Demonstrações sobre a utilização deste tipo de dados são realizadas para: (i) analisar a evolução da demanda do sistema de BRT do Rio de Janeiro, (ii) analisar o perfil de regularidade dos seus usuários e (iii) estimar o local de desembarque de viagens no sistema. Comprova-se que no caso estudado o desembarque é estimado com maior sucesso para usuários com uso recorrente em no mínimo dois pontos do sistema.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

PUBLIC TRANSPORT DEMAND CHARACTERIZATION BASED ON
AUTOMATIC FARE COLLECTION DATA:
AN ESSAY ON THREE ASPECTS – TIME, BEHAVIOUR AND SPACE

Gabriel Tenenbaum de Oliveira

February/2016

Advisor: Carlos David Nassi

Department: Transportation Engineering

The strategic, tactical and operational planning and analysis of public transport systems relied to date almost exclusively on manually field-collected data. Automatic data collection systems, by offering precision, continuity and profusion of data, represents in this way a paradigm shift into a new era of transportation. This research structures a methodology for application of Automatic Fare Collection (smartcard) data to characterize public transport systems demand, based on three dimensions: time, behavior and space. Demonstrations about the usage of this type of data are held to: (i) analyze the demand evolution of the BRT system in Rio de Janeiro; (ii) analyze the regularity profile of its users; and (iii) estimate system trips alighting location. It is proven that in the case studied the alighting location is more successfully estimated for users with recurrent use in at least two points of the system.

SUMÁRIO

<u>CAPÍTULO I - CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA</u>	1
I.1 - INTRODUÇÃO	1
I.2 - HIPÓTESE DA PESQUISA	4
I.3 - OBJETIVOS DA PESQUISA	4
I.4 - MOTIVAÇÃO PESSOAL	5
I.5 - DIVISÃO DA PESQUISA	5
<u>CAPÍTULO II - REVISÃO DA LITERATURA</u>	6
II.1 - INTRODUÇÃO	6
II.2 - SISTEMAS DE BILHETAGEM ELETRÔNICA	7
II.3 - APLICAÇÕES DE DADOS DE SBE PARA CARACTERIZAÇÃO DA DEMANDA	10
II.3.1 - Aplicação para Análises de Séries Temporais	14
II.3.2 - Aplicação para Análises de Padrões de Regularidade	16
II.3.3 - Aplicação para Estimativa de Embarque e Desembarque	19
II.4 - ESTIMATIVA DE EMBARQUE E DESEMBARQUE A PARTIR DE DADOS DE SBE	19
II.4.1 - Autores e Casos Analisados	20
II.4.2 - Regras Lógicas para Estimativa de Embarque e Desembarque	22
II.4.3 - Resultados Obtidos	27
II.4.4 - Limitações, Validações e Desdobramentos dos Resultados	28
II.4.5 - Particularidades de Sistemas de BRT	30
II.5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	33
<u>CAPÍTULO III - METODOLOGIA</u>	35
III.1 - INTRODUÇÃO	35
III.2 - DESCRIÇÃO DOS TIPOS DE DADOS NECESSÁRIOS	37
III.2.1 - Dados Primários de SBE	37
III.2.2 - Dados Primários em SIG	38
III.3 - ANÁLISE DE SÉRIE TEMPORAL DA DEMANDA	39
III.4 - ANÁLISE DE PADRÕES DE REGULARIDADE	40

III.5 - ESTIMATIVA DE DESEMBARQUE PARA MODOS ESTRUTURANTES	44
III.6 - CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	53
<u>CAPÍTULO IV - APLICAÇÃO METODOLÓGICA</u>	<u>55</u>
IV.1 - INTRODUÇÃO	55
IV.2 - ESCOPO DO CASO	55
IV.2.1 - Programa BURMRJ de Subsídio Tarifário	55
IV.2.2 - O SBE do Programa BURMRJ	57
IV.2.3 - O Sistema de BRTs no Sistema de Transportes da RMRJ	58
IV.3 - APLICAÇÃO DE ANÁLISE DE SÉRIE TEMPORAL	61
IV.3.1 - Dados Analisados	61
IV.3.2 - Evolução da Demanda de BRTs para usuários BURMRJ	61
IV.4 - APLICAÇÃO DE ANÁLISE DE PADRÕES DE REGULARIDADE	63
IV.4.1 - Dados Analisados	63
IV.4.2 - Detecção de Usuários Regulares	64
IV.4.3 - Distribuição Temporal da Regularidade	67
IV.4.4 - Distribuição Espacial da Regularidade	70
IV.4.5 - Principais Conclusões da Análise de Padrões de Regularidade	76
IV.5 - APLICAÇÃO DE ESTIMATIVA DE DESEMBARQUE	78
IV.5.1 - Dados Analisados	78
IV.5.2 - Montagem de Viagens	78
IV.5.3 - Estimativa de Desembarque	79
IV.5.4 - Padrões de Regularidade na Estimativa de Desembarque	81
IV.5.5 - Distribuição Espacial de Viagens com Desembarque Estimado	83
IV.5.6 - Principais Conclusões da Estimativa de Desembarque	92
IV.6 - CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	94
<u>CAPÍTULO V - CONCLUSÃO</u>	<u>96</u>

LISTA DE FIGURAS

Figura II.1. Etapas entre a Realização de uma Transação até seu Processamento Analítico .	9
Figura II.2. Componentes da Caracterização da Demanda	11
Figura II.3. Estrutura de loops para estimativa de local de embarque e desembarque.....	26
Figura III.1. Quadro Metodológico de Caracterização da Demanda a partir de SBE	36
Figura III.2. Tabelas de Transações, de Cartões e de Linhas e Tabelas Geradas do Processamento de Dados.....	37
Figura III.3. Esquema de Lógica de Concessão de Âncora segundo Utilização de Linha/Estação.....	42
Figura III.4. Esquema de Montagem de Viagens a partir da Base de Transações	45
Figura III.5. Esquema de Etapa de Estimativa Direta	48
Figura III.6. Esquema de Etapa de Estimativa com base em Trechos Espelhados	48
Figura III.7. Esquema de Etapa de Estimativa com base em Proximidade para Modos Estruturantes.....	49
Figura III.8. Esquema de Etapa de Estimativa com base em Proximidade para Modos Capilares.....	50
Figura III.9. Fluxograma de Estimativa de Desembarque em Modo Estruturante.....	52

LISTA DE TABELAS

Tabela II.1. Vantagens e Desvantagens de Prospecção de Informações a partir de SBE em comparação com métodos manuais de coleta de dados	13
Tabela II.2. Diferentes categorias de aplicações de dados de SBE para planejamento de transportes	14
Tabela II.3. Relação de autores que exploraram o problema de estimativa de embarque e desembarque a partir de dados do SBE.....	21
Tabela III.1. Descrição do conteúdo das Tabelas utilizadas.....	38
Tabela III.2. Tabela de Viagens Montadas preenchida a partir de Base de Transações	47
Tabela IV.1. Sumário de Dados Pesquisados para a Análise de Série Temporal.....	61
Tabela IV.2. Sumário de Dados Pesquisados para Análise de Padrões de Regularidade	63
Tabela IV.3. Quantidade de Pares Cartão-Estação (C-E) respeitando Condições de Regularidade [A] e [B].....	65
Tabela IV.4. Cartões, Transações e Transações Ancoradas por Grupo de Cartões	65
Tabela IV.5. Cartões, Transações e Transações Ancoradas por Grupo de Cartões e por Corredor de BRT.....	66
Tabela IV.6. Sumário de Dados Pesquisados para Estimativa de Desembarque	78
Tabela IV.7. Sumário de Viagens Montadas.....	79
Tabela IV.8. Resultado das Etapas de Estimativa de Desembarque	80
Tabela IV.9. Taxa de Sucesso de Estimativa de Desembarque para Cartões com e sem Âncora	81
Tabela IV.10. Taxa de Sucesso de Estimativa de Desembarque para o Horário de Pico da Manhã e da Tarde.....	84
Tabela IV.11. Distribuição de pares Origem-Destino por Ramal	84
Tabela IV.12. Análises relativas à Caracterização da Demanda realizadas em cada etapa da Metodologia	94

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico IV.1. Quantidade de Transações e Usuários compondo o SBE-BURMRJ.....	58
Gráfico IV.2. Evolução Temporal da Demanda do Sistema de BRTs	62
Gráfico IV.3. Média por Dia da Semana da Proporção de Transações Ancoradas e Cartões com Âncora	68
Gráfico IV.4. Distribuição Horária da Proporção de Cartões com Âncora sobre Total de Cartões BURMRJ no Sistema de BRTs.....	69
Gráfico IV.5. Proporção de Embarques (pEC) em função da Proporção de Transações no Corredor (pTC) para Estações do BRT TransOeste e BRT TransCarioca, no Horário de Pico da Manhã e da Tarde.....	75
Gráfico IV.6. Evolução do Sucesso de Estimativa de Desembarque ao longo das Etapas do Fluxograma	80
Gráfico IV.7. Relação entre Viagens realizadas por Cartões com Âncora e Viagens cujo Desembarque foi Estimado com Sucesso para cada Estação do Sistema de BRT.....	82
Gráfico IV.8. Proporção de Viagens Ancoradas para cada Par $B_{EBQ} - B_{DBQ}$	83
Gráfico IV.9. Quantidade de Embarques (EBQ) e Desembarques (DBQ) e Fluxo de Passageiros por Sentido para Viagens cujo Embarque foi Estimado com Sucesso....	86
Gráfico IV.10. Divisão Modal nos Trechos Complementares (A e P) no Horário de Pico da Manhã e da Tarde para Viagens cujo Desembarque foi Estimado com Sucesso.....	87

LISTA DE MAPAS

Mapa IV.1. Inserção do sistema de BRTs TransOeste e TransCarioca no âmbito da RMRJ	60
Mapa IV.2. Distribuição Espacial de Transações e de Transações Ancoradas no Horário de Pico da Manhã (06h)	72
Mapa IV.3. Distribuição Espacial de Transações e de Transações Ancoradas no Horário de Pico da Tarde (17h)	73
Mapa IV.4. Distribuição Espacial de Embarques e Desembarques no Horário de Pico da Manhã (06h)	90
Mapa IV.5. Distribuição Espacial de Embarques e Desembarques no Horário de Pico da Tarde (17h)	91

LISTA DE ANACRÔNIMOS E ABREVIACÕES

AVL: Sistemas de Localização Veicular Automática (ex: GPS), na sigla em inglês para *Automatic Vehicle Location*.

APC: Sistemas de Contagem Automática de Passageiros, na sigla em inglês para *Automatic Passenger Counting*.

ADC: Sistemas de Coleta Automática de Dados, na sigla em inglês para *Automated Data Collection*.

BURMRJ: Bilhete Único da Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Programa de subsídio tarifário instituído pelo Governo do Estado do Rio de Janeiro na RMRJ.

BRT: *Bus Rapid Transit*. Sistema de transporte público sobre pneus com faixa segregada de circulação exclusiva de ônibus localizada preferencialmente à esquerda da pista, que conte na maior parte de sua extensão com cobrança de tarifa fora do veículo, embarque em nível e tratamento das interseções.

c ou **cart.:** Cartão (Usuário) do SBE.

dbq.: Desembarque

ebq.: Embarque

HPM: Horário de Pico da Manhã

HPT: Horário de Pico da Tarde

GIS: Sistema de Informação Geográfica.

RMRJ: Região Metropolitana do Rio de Janeiro

SBE: Sistema de Bilhetagem Eletrônica

SIG: Sistema de Informação Geográfica.

SQL: *Structured Query Language*. Linguagem de consulta a banco de dados.

t ou **trans.:** Transação do SBE.

Trecho A: Em viagem montada no processo de Estimativa de Desembarque, transação imediatamente anterior (A) à transação no modo estruturante estudado.

Trecho B: Em viagem montada no processo de Estimativa de Desembarque, transação realizada no modo principal (B) estudado.

Trecho P: Em viagem montada no processo de Estimativa de Desembarque, transação imediatamente posterior (P) à transação no modo estruturante estudado.

Trecho P_{PPVG}: Indicativo de que o Trecho P corresponde a trecho realizado em viagem ulterior do cartão.

Trecho P_{TRNSF}: Indicativo de que o Trecho P corresponde a trecho realizado na mesma viagem (transferência).

v: Viagem. Criada a partir da base de transações do SBE, após detecção de transferências e agrupamento de trechos de viagem.

CAPÍTULO I - CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA

Cidades são repletas de inter-relações complexas e não examinadas, mas sem dúvida inteligíveis (JACOBS, 1961). Esta pesquisa visa a trazer à tona dados e ferramentas que podem auxiliar em sua compreensão. Ela se dirige a acadêmicos engajados em aprofundar os limites do conhecimento na aplicação de dados de Sistemas de Bilhetagem Eletrônica e em agentes públicos e privados interessados em utilizar as informações dele prospectáveis para fins de monitoramento e planejamento de sistemas de transporte.

Este Capítulo introduz e contextualiza o problema que foi estudado, define a hipótese central por trás da pesquisa, o seu objetivo principal e específicos e a motivação pessoal por trás de sua elaboração e por fim enumera a divisão do restante da mesma.

I.1 - Introdução

Convencionalmente, os milhões de deslocamentos diários no âmbito de cidades e regiões metropolitanas são estudados e analisados baseando-se em um conjunto consideravelmente menor de dados, da ordem de poucas dezenas de milhares, adquiridos manualmente por meio de enquetes e pesquisas de campo junto a usuários. Estas coletas são dispendiosas em custo e tempo e seu processamento, por não se repetirem de uma pesquisa para outra, pode tardar ainda mais que seu levantamento.

Pesquisas origem e destino, o tipo de pesquisa mais emblemático para caracterizar os deslocamentos dos habitantes de uma cidade, evidenciam tais fatos. Tome-se por exemplo os casos das pesquisas origem e destino mais recentes das duas maiores regiões metropolitanas do Brasil. No caso do Rio de Janeiro, para a versão 2003 do Plano Diretor de Transportes Urbanos, foram realizadas quarenta mil entrevistas domiciliares em 2002 e consumiram-se 2 anos até que o relatório final viesse a público (CENTRAL-RJ, 2003). Para sua revisão foram realizadas quase quatro mil e quinhentas

entrevistas domiciliares em 2012, tendo sido consumidos até agora 3 anos para a publicação de seus resultados (SETRANS-RJ, 2013a). No caso de São Paulo, para a pesquisa de Origem e Destino de 1997, foram realizadas trinta mil entrevistas domiciliares e os resultados foram disponibilizados em 1999 (STM-SP, 1999). Na ocasião da pesquisa de 2007, foram mais de cinquenta mil domicílios entrevistados, tendo as análises sido publicadas em dezembro de 2008 (STM-SP, 2008). ORTÚZAR (2015) cita que para a realização de tais entrevistas domiciliares, cada entrevistador rende aproximadamente uma pesquisa domiciliar por dia apenas. A distância temporal entre tais pesquisas, considerando o investimento realizado, é conseqüentemente grande, da ordem de uma década. Eventuais novidades no sistema de transportes que venham a surgir após à realização da pesquisa só serão estudadas anos a frente.

Neste sentido, para complementar as pesquisas manuais convencionais, sistemas de coleta automática de dados e seu subsequente processamento representam uma potencial quebra de paradigma. De fato, os dados são coletados em quantidade incomparavelmente maior, com confiabilidade e precisão em seu registro, de forma contínua e abrangente e possibilitam, por respeitarem sempre um mesmo formato, a automação de prospecção de informações. Em relação a sistemas de transporte público de passageiros, dentre os sistemas de coleta automática de dados disponíveis se encontram os Sistemas de Bilhetagem Eletrônica – SBE, utilizados para a automatização do processo de arrecadação tarifária. Embora concebidos para atender este objetivo primário, dados deste tipo de sistema podem ser processados para gerar informações detalhadas do perfil de demanda de numerosas cidades ao redor do mundo. De fato, no SBE são armazenados dados de cada transação, isto é, cada validação do cartão eletrônico, estando os mesmos disponíveis em profusão e desagregados na escala do usuário e da viagem, permitindo uma ampla gama de estudos e aplicações.

Dentre as aplicações possíveis, destacam-se a análise da evolução de um determinado aspecto da demanda ao longo do tempo (BAGCHI; WHITE, 2005; MORENCY; TRÉPANIÉ; AGARD, 2007), a investigação de padrões de regularidade na escala do usuário (CHU; SPURR; CHAPLEAU, 2013; GOULET-LANGLOIS, 2015; MA et al., 2013;

ORTEGA-TONG, 2013; ZHONG et al., 2015) e a determinação de matrizes de origem e destino em sistemas de transporte público. Este último tipo de análise já foi realizada por quantidade importante de autores em países da América do Sul, como Chile (DEVILLAIN; MUNIZAGA; TRÉPANIER, 2012; MUNIZAGA; PALMA, 2012) e Brasil (FARZIN, 2008; GUERRA; BARBOSA; KELLI, 2014); da América do Norte, como Canadá (TRÉPANIER; TRANCHANT; CHAPLEAU, 2007) e Estados Unidos (CUI, 2006; DUMAS, 2015; ZHAO; RAHBEE; WILSON, 2007); da Europa, como Inglaterra (GORDON, 2012; WANG; ATTANUCCI; WILSON, 2011); e da Ásia, como China (LIANFU et al., 2007). No Brasil, é de se ressaltar que os poucos atores que se detiveram a estudar as aplicações desses dados se concentraram na estimativa de embarque e desembarque de viagens.

Carece ainda na literatura trabalhos que estruturem as diversas aplicações possíveis de serem efetuadas a partir de SBE e que facilitem a expansão do uso destes dados para a caracterização da demanda e planejamento de transportes públicos urbanos. Esta pesquisa se esforça para suprir esta lacuna, aplicando-se à caracterização – segundo três dimensões: tempo, comportamento e espaço – dos deslocamentos dos usuários do programa de subsídio tarifário de Bilhete Único Intermunicipal da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (BURMRJ) na rede de *Bus Rapid Transit* (BRT) da cidade. Particularmente, o caso estudado tenta responder as seguintes questões:

- Como se deu a evolução da demanda no corredor de BRT TransOeste já implantado após o início de operação do BRT TransCarioca?
- Qual o percentual de passageiros do BRT usuários do BURMRJ que pode ser considerado regular?
- É possível estimar o desembarque das viagens realizadas no sistema de BRT? Quais as diferenças de estimativa entre usuários regulares e esporádicos?

I.2 - Hipótese da Pesquisa

Outras pesquisas já revelaram que a partir de dados de SBE é possível: (i) classificar um usuário como regular ou esporádico e (ii) estimar o desembarque de viagens realizadas em sistemas de transporte público. Sendo assim, a hipótese central desta pesquisa é que a regularidade do usuário em relação a um sistema de transporte influencia a taxa de sucesso de estimativa de desembarque de viagens no mesmo.

I.3 - Objetivos da Pesquisa

O objetivo principal desta pesquisa é conceber uma metodologia de aplicação de dados de SBE para caracterizar a demanda de um sistema de transporte público, com ênfase em três dimensões – tempo, comportamento e espaço –, que atingem respectivamente os seguintes objetivos específicos:

- Demonstrar o potencial de dados de SBE para subsidiar a análise de evolução temporal da demanda – foco na dimensão tempo;
- Demonstrar o potencial de dados de SBE para subsidiar a análise de padrões de regularidade da demanda, na escala do indivíduo – foco na dimensão comportamento;
- Desenvolver um método de estimativa de local de desembarque de viagens realizadas em sistemas de transporte público dotados de estações com validadores, que enfatize na análise de resultados a regularidade dos usuários investigados – foco na dimensão espaço, com influência da dimensão comportamento. Este objetivo específico visa também a testar e eventualmente quantificar a hipótese central da pesquisa.

I.4 - Motivação Pessoal

Considerando a gama de possibilidades existentes na Engenharia de Transportes e, em particular, no planejamento de transporte público, os fatores a seguir, estruturados conforme proposto por Eco (1985), destacam-se para a escolha do tema da pesquisa:

- O interesse pessoal pelo estudo do papel desempenhado pelo sistema de BRTs na circulação de passageiros da RMRJ e pela prospecção de informações a partir de sistemas gigantes de base de dados (*big data*);
- A disponibilidade da base de dados do SBE do programa de BURMRJ;
- A habilidade desenvolvida em sistemas de gestão de base de dados, em especial com a linguagem de consulta *structured query language* (SQL);
- O desafio de sistematizar em uma metodologia única a análise de três dimensões da demanda – tempo, comportamento e espaço.

I.5 - Divisão da Pesquisa

Esta pesquisa divide-se em cinco Capítulos. Neste primeiro Capítulo foi realizada uma contextualização da pesquisa empreendida, bem como foram definidos seus objetivos e sua contribuição. No Capítulo II é realizada uma revisão da literatura atual sobre a tecnologia de Sistemas de Bilhetagem Eletrônica, sobre as possibilidades de sua aplicação na caracterização da demanda, em especial para a análise de padrões de regularidade e para a estimativa de embarques e desembarques. No Capítulo III é construída a metodologia que visa a comprovar o potencial destes tipos de sistema na caracterização da demanda; para em seguida, no Capítulo IV, a mesma ser aplicada a partir dos dados do BURMRJ na análise de caso do sistema de BRTs da cidade do Rio de Janeiro. A pesquisa é concluída no Capítulo V, que traça um panorama com as principais evidências levantadas e com recomendações para trabalhos futuros e para a definitiva aplicação destes dados nos sistemas de transporte em operação no país.

CAPÍTULO II - REVISÃO DA LITERATURA

II.1 - Introdução

Neste Capítulo é realizada uma revisão da bibliografia sobre o papel e as possibilidades da aplicação de dados de Sistemas de Bilhetagem Eletrônica – SBE na caracterização da demanda e no planejamento de transportes, temas relevantes para o bom entendimento da pesquisa empreendida.

Em primeiro lugar, é feita uma revisão tecnológica, sistêmica e teórica dos componentes de um SBE; para melhor compreensão de aspectos básicos ligados à utilização deste tipo de dados.

Em seguida, na segunda seção, são revisadas as vantagens da utilização de dados destes sistemas para caracterização da demanda em comparação com sistemas manuais de coleta de dados e as aplicações para caracterização da demanda a partir de SBE já realizadas na literatura. É dado destaque às três aplicações que comporão a metodologia proposta no Capítulo III: observação de série temporal de evolução da demanda; observação de padrões comportamentais na escala do usuário; e estimativa do local de embarque e desembarque no sistema de transportes.

A terceira seção detalha extensivamente esta última aplicação, descrevendo as regras lógicas e premissas adotadas e os resultados obtidos por diversos autores. É realizada ainda uma revisão sobre as particularidades das regras lógicas e premissas para o caso de sistemas de BRT, tendo em vista a aplicação metodológica neste tipo de sistema realizada nesta pesquisa.

A última seção, além de resumir os principais marcos da revisão, aponta as direções que os SBE podem tomar no futuro do planejamento de transportes ao tornar os sistemas de transporte público não só ricos em dados, mas ricos em informações.

II.2 - Sistemas de Bilhetagem Eletrônica

A fim de melhor entender as possibilidades de utilização dos dados de Sistema de Bilhetagem Eletrônica, esta seção realiza uma revisão da literatura sobre as tecnologias empregadas e sobre os processos que ocorrem neste sistema e formaliza um quadro de entendimento teórico para o uso dos dados gerados para fins de caracterização da demanda.

Segundo uma das primeiras pesquisas empreendidas sobre a utilização de dados de SBE no planejamento de transportes (ZHAO; RAHBEE; WILSON, 2007), este tipo de sistema designa a vasta gama de tecnologias empregadas no processamento de dados de transações no sistema de transporte público para fins de arrecadação tarifária. Neste contexto, transações, por sua vez, referem-se ao ato de utilização de um modo de transporte público por um usuário específico, mediante validação de bilhete tarifário e registro do ato de embarque (e de desembarque, em casos de “sistemas fechados”). Os SBE são, em geral, categorizados como sistemas de Coleta Automática de Dados – ADC¹ na sigla em inglês.

Esta pesquisa se restringe à descrição da tecnologia de bilhete (meio de pagamento) empregada neste tipo de sistema. O cartão eletrônico com chip sem contato (chamado em inglês de cartão inteligente, *smart card*) é a tecnologia de bilhete mais utilizada para realização de transações em SBE, tanto no Brasil² (CARVALHO, 2003; GUERRA; BARBOSA; KELLI, 2014), quanto em outros países ao redor do mundo (PELLETIER; TRÉPANIER; MORENCY, 2011). Sua primeira utilização em sistemas de transporte público foi registrada no final dos anos 1990 nas cidades de Washington e Tóquio (DEVILLAIN et al., 2013).

¹ Outros sistemas de Coleta Automática de Dados incluem os sistemas de Localização Veicular Automática baseado em uso de GPS e de Contagem Automática de Passageiros, designados comumente pelas siglas em inglês AVL (*automatic vehicle location*) e APC (*automatic passenger counting*), respectivamente.

² Germani (2003) ressalta uma tênue distinção entre Sistemas de Bilhetagem Automática e de Bilhetagem Eletrônica, sendo no segundo necessária a presença de circuito eletrônico no meio de pagamento (bilhete).

Para receber o cartão eletrônico, o usuário deve se cadastrar e realizar a carga de crédito em um dos pontos de distribuição do sistema. As transações são realizadas quando o usuário aproxima o cartão eletrônico de um meio físico denominado comumente de validador presente nos diferentes modos de transporte. A transação para ser efetuada não carece do contato físico entre os dois meios (cartão e validador) graças ao fato de ambos serem dotados de antenas, o que torna conveniente e ágil sua aplicação no contexto de transportes urbanos (PELLETIER; TRÉPANIER; MORENCY, 2011). Uma transação armazena basicamente dados sobre a validação (data e hora, início de viagem/transferência), sobre o cartão (usuário, número sequencial da viagem do cartão), sobre a estrutura tarifária aplicada (tarifa vigente, tarifa paga, subsídio), sobre o serviço (linha, sentido, veículo, motorista, validador), dentre outros.

Os validadores podem estar localizados na rede de transportes de forma fixa – como ocorre, por exemplo, em estações de trem, metrô, barcas, BRT, os aqui chamados modos estruturantes (ME) –, ou de forma móvel – como é o caso de validadores presentes em ônibus e vans, aqui denominados modos capilares. No caso intermediário, em que o modo possui tanto estações quanto veículos com validadores – como pode acontecer em sistemas de ônibus com terminais –, o modo é denominado modo misto (MM).

O validador pode realizar a transmissão dos dados de transações para um servidor único do SBE em tempo real ou armazená-los ao longo do dia, descarregando-os eletronicamente em lotes, ao final do dia. Neste caso, nota-se que há uma assincronia entre a realização da transação e o carregamento dos dados ao servidor; esta diferença temporal varia e é de interesse que seja minimizada pelos agentes de controle do SBE para efetivo processamento em tempo hábil. O servidor do SBE pode armazenar também informações relativas aos serviços previstos (tabela de horário, veículo despachado, motorista, etc.). A presença desses dados pode ser recomendada por unificar informações não só sobre a demanda, mas também sobre a oferta da rede de transportes.

Uma vez armazenados os dados no servidor, prossegue-se ao seu processamento para fins de arrecadação tarifária, isto é, a distribuição das tarifas relativas às transações entre os diferentes operadores do sistema de transporte público. ZHAO (2007) nota que a concepção do SBE para este fim específico dificulta ou mesmo limita sua utilização para análises operacionais ou de planejamento, seja por os dados terem formato pouco amigável ao uso, seja por não conterem outros campos importantes para estas finalidades. Diversos autores destacam que, antes de sua utilização no processo de planejamento, os registros de transações são usualmente descasados de dados sobre a identidade de seus respectivos usuários, para garantir a privacidade pessoal (PELLETIER; TRÉPANIER; MORENCY, 2011). Um esquema geral e simplificado das etapas presentes neste sistema desde a realização da transação pelo usuário até sua utilização no processo de planejamento é apresentado na Figura II.1.

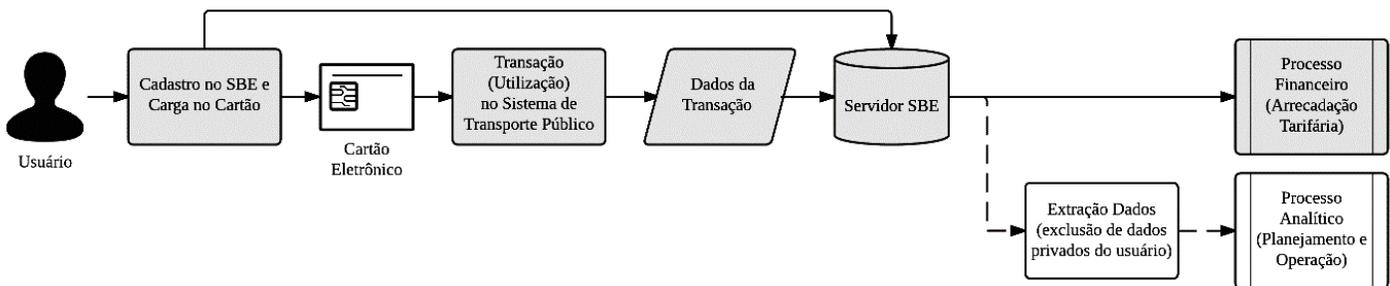


Figura II.1. Etapas entre a Realização de uma Transação até seu Processamento Analítico
 Fonte: Elaboração própria.

No Sistema de Bilhetagem Eletrônica, usuário pode ser considerado o cidadão que realizou ao menos uma transação no período de um ano (BAGCHI; WHITE, 2005). Caso o sistema possua a informação de baixa cadastral do usuário, usuário é todo aquele que possuir um cartão ativo. Por outro lado, viagem é um movimento de um ponto de origem a um ponto de destino (ORTÚZAR; WILLUMSEN, 2011). A origem e destino são locais em que as necessidades dos usuários são satisfeitas pela realização de atividades (MUNIZAGA et al., 2014). Cada viagem é composta por um grupo de um ou mais movimentos em um modo ou serviço em particular, cada movimento caracterizando

um trecho da viagem. Embarque e desembarque são as posições em que o trecho começa e termina, respectivamente (MUNIZAGA; PALMA, 2012).

Transferências designam a continuidade entre trechos dentro do contexto de uma mesma viagem. São uma consequência da interação entre a rede de transporte e a satisfação da necessidade dos usuários (MUNIZAGA et al., 2014). O primeiro embarque de uma viagem é chamado de embarque inicial; os embarques subsequentes são chamados de embarques intermediários. Analogamente, o desembarque mais próximo do destino da viagem é chamado de desembarque final; os desembarques anteriores, de desembarques intermediários. Durante o processamento, a detecção distinta e acurada entre embarques iniciais e transferências é altamente relevante para o agrupamento de trechos em viagens e para uma caracterização da demanda representativa da realidade.

II.3 - Aplicações de Dados de SBE para Caracterização da Demanda

O planejamento de transportes é o processo de tomada de decisões relativas ao futuro de um sistema de transportes (BANKS, 1998). Uma das primeiras fases do processo de planejamento, e geralmente a parte mais custosa, é a coleta de dados e informações sobre as condições existentes da oferta e da demanda (VUCHIC, 2005). Geralmente, em relação à demanda, os dados necessários são obtidos por pesquisas de campo como: contagem de volume e carregamento de passageiros; contagem de embarque e desembarque de passageiros; contagem de transferências; contagem de passageiros por tipo tarifário (comum, vale-transporte, estudante, sênior, etc.); pesquisa de origem-destino com detalhes sobre viagem e motivo da viagem; pesquisas atitudinais e de preferência modal; e pesquisa de aderência às viagens programadas (VUCHIC, 2005, p. 23). A este conjunto de pesquisas e seus respectivos usos, convencionou-se chamar, nesta pesquisa, de pesquisas para caracterização da demanda (Figura II.2).

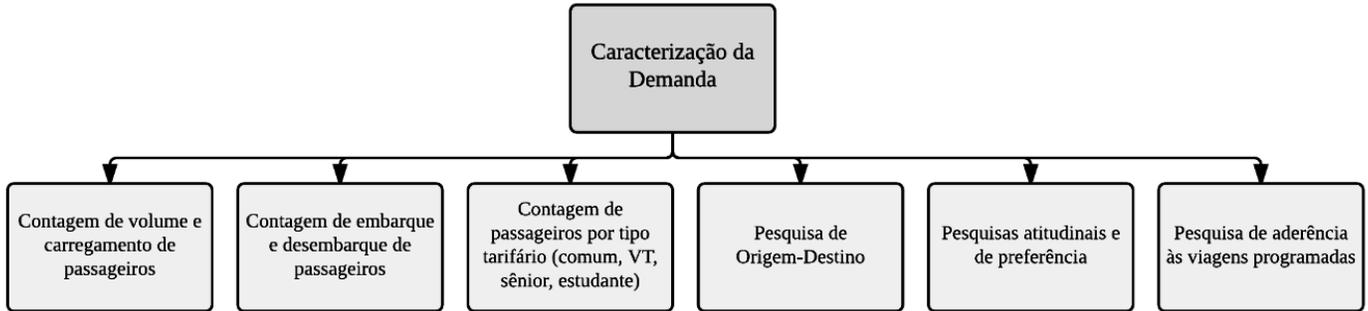


Figura II.2. Componentes da Caracterização da Demanda
 Fonte: Elaboração própria.

Em geral, as pesquisas de campo coletam uma quantidade significativa de dados, embora a amostragem seja geralmente limitada pela razão entre qualidade (profundidade das questões) e quantidade (tamanho da amostra) (MORENCY; TRÉPANIER; AGARD, 2007). Uma prática é organizar grandes e detalhadas pesquisas a intervalos maiores e suplementá-las com pesquisas amostrais menores a intervalos mais regulares (VUCHIC, 2005, p. 23). Por serem realizadas de forma manual, podem consumir tempo para serem compiladas, aumentando-se a sujeição a erros (ATTANUCCI; WILSON, 1981; apud ZHAO; RAHBEE; WILSON, 2007).

É especificamente na fase de coleta de dados e de caracterização da demanda que os Sistemas de Bilhetagem Eletrônica podem ser de grande valia para o processo de planejamento, como já notado por VUCHIC (2005). Estes sistemas não podem ser considerados, de forma bruta, uma pesquisa de transporte *per se* (CHU; CHAPLEAU, 2013) e não podem ser vistos como uma panaceia para substituir por completo a existência de outras fontes de dados (BAGCHI; WHITE, 2005). Porém, numerosos trabalhos tratados nas seções a seguir vêm demonstrando tanto a capacidade quanto a tendência de prospectar informações sobre viagens e sobre o comportamento dos usuários baseadas no processamento da larga escala de dados presentes em SBE.

Até meados dos anos 2000, os estudos relacionados a SBE na literatura acadêmica se limitavam a análises da tecnologia empregada (MORENCY; TRÉPANIER; AGARD, 2007). A partir de autores como BUNEMAN (1984; apud WILSON; ZHAO; RAHBEE, 2009), BARRY

et al. (2002; apud ZHAO, 2004), BAGCHI (2003; apud BAGCHI; WHITE, 2005) e ZHAO (2004) começou a ser aprofundado o conhecimento sobre a prospecção de informação a partir da grande quantidade de dados deste tipo de sistema para a caracterização da demanda e para o planejamento de transportes.

Em relação ao uso de tais tipos de sistema para a prospecção de informações, a literatura permite traçar comparações com métodos manuais de coleta de dados, conforme Tabela II.1. As vantagens, embora menos numerosas, são de grande valia para pesquisas: os dados estão disponíveis em grande quantidade, ampla abrangência territorial e alta acurácia. Os erros e desvantagens são pouco numerosos e a ausência de dados não-transacionais pode ser suplantada por inferência de informações por meio de processamentos com base em regras.

Segundo CHU E CHAPLEAU (2013), SBE apresentam propriedades alinhadas a três aspectos preconizados pela literatura atual para pesquisas de larga-escala de mobilidade, principalmente no que toca o entendimento do comportamento na escala individual. Em primeiro lugar, por meio dos dados desse tipo de sistema é possível conduzir uma pesquisa multidiária (*multi-day survey*) com um mesmo usuário, obtendo uma compreensão do comportamento e de suas variações em intervalos de tempo, impossível de ser observável por meio de pesquisas de apenas um dia. Em segundo lugar, estes sistemas permitem realizar pesquisas em painel (*panel surveys*) – ou seja, pesquisas com o mesmo usuário em pontos espaçados do tempo – para detectar variações históricas (ao longo do tempo) de comportamento. Por fim, estes sistemas proveem os dados de uma forma contínua, permitindo o monitoramento de mudanças comportamentais de forma incremental.

Tabela II.1. Vantagens e Desvantagens de Prospecção de Informações a partir de SBE em comparação com métodos manuais de coleta de dados

Fonte: Elaboração Própria.

Vantagens
<p>Abrangência: Cobertura espacial e temporal extensiva do sistema de transporte público, em contraste com sistema de coleta manual de dados, que focam geralmente em períodos ou rotas específicas. Dias de fins de semana, de grandes eventos e de tempo meteorológico atípico e linhas pouco utilizadas são monitoradas de forma total e efetiva; ^{(1) e (2)}</p> <p>Acurácia: Dados coletados automaticamente, sendo possível, por exemplo, ter o detalhe do segundo de realização da transação. No caso de transferências entre trechos, nos métodos tradicionais, pode haver contabilização de duas viagens de dois usuários diferentes; ⁽²⁾</p> <p>Tempo de processamento: Com o suporte de ferramentas de processamento e análise, os dados podem ser processados rapidamente; ⁽¹⁾</p> <p>Interferência humana: Menor dependência do pesquisador de campo e do usuário, o que pode minimizar erros de declaração;</p> <p>Escala individual: métodos tradicionais enfocam contagens agregadas de passageiros; ⁽²⁾</p>
Desvantagens
<p>Estrutura de dados: Necessário tempo de pesquisa e desenvolvimento para tornar o dado amigável ao uso. Necessidade de agrupar trechos para montar viagem completa; ^{(1) e (2)}</p> <p>Dado não georreferenciado: Em geral, o SBE não está relacionado diretamente a um sistema de localização veicular automática (AVL na sigla, em inglês, para <i>automated vehicle location</i>), sendo necessária sua sincronização para localização espacial da transação; ^{(1) e (3)}</p> <p>Ausência de dados não-transacionais: Não há informações socioeconômicas sobre o usuário ⁽⁴⁾. Não há informação sobre o motivo da viagem ^{(2) e (5)}, embora seja possível construir método para estimá-lo ⁽⁶⁾. Transferências entre trechos de viagens e destino final da viagem não são informados, apesar de haver métodos para deduzi-los ^{(2) e (3)}, o que pode ser evitado em “sistemas fechados”, com controle de entrada e saída ⁽⁷⁾;</p> <p>Validação exógena: Necessidade da realização de pesquisas para confirmar as análises de uso e premissas adotadas; ^{(2) e (6)}</p> <p>Equidade de uso: Não há estudos que indiquem se as diferentes parcelas da população são de fato beneficiárias desse tipo de sistema, o que pode gerar um viés na pesquisa. Além disso, é desejável uma alta penetração de mercado para se ter uma amostra considerável da população. Em Santiago, no Chile, dado o fato do cartão eletrônico ser a única opção em ônibus e a mais amplamente utilizada no metrô, a penetração atinge o patamar de 97% da demanda, por exemplo ⁽⁵⁾;</p> <p>Possíveis vieses: Evasão tarifária não é captada pelo SBE. Uma mesma pessoa utilizando diferentes cartões, mais de uma pessoa utilizando o mesmo cartão (viagem em grupo ou <i>group travel</i>) e cartões transferíveis podem induzir viés na pesquisa. Detentor de um cartão pode ocasionalmente utilizar outro meio de pagamento, como dinheiro; ^{(7) e (8)}</p> <p>Erro sistêmico: Mal funcionamento de um validador ou de uma transmissão pode gerar problemas de captação e processamento de dados;</p> <p>Eventos estocásticos e problemas de segurança pública: Estes tipos de evento causam desvios operacionais que podem confundir as análises empreendidas. ⁽⁷⁾</p> <p>Fontes: ⁽¹⁾ ZHAO; RAHBEE; WILSON (2007); ⁽²⁾ BAGCHI; WHITE (2005); ⁽³⁾ MORENCY; TRÉPANIÉ; AGARD (2007); ⁽⁴⁾ PELLETIER; TRÉPANIÉ; MORENCY (2011); ⁽⁵⁾ MUNIZAGA; PALMA (2012); ⁽⁶⁾ MUNIZAGA et al. (2014); ⁽⁷⁾ DEVILLAINÉ et al (2013); ⁽⁸⁾ CHU; CHAPLEAU (2013).</p>

Em uma revisão bibliográfica sobre o uso de cartões eletrônicos para o planejamento de transportes, PÉLLETIER et al. (2011) destacam três categorias de estudos na literatura: estudos de âmbito estratégico, tático e operacional. Na Tabela II.2, as mesmas categorias foram adotadas para descrever as diferentes aplicações possíveis para os dados de SBE.

Tabela II.2. Diferentes categorias de aplicações de dados de SBE para planejamento de transportes

Fonte: Adaptado de PÉLLETIER et. al. (2011)

<p>Âmbito Estratégico</p> <p>Aplicação para planejamento de longo prazo da rede de transporte, com a busca pelo tipo de usuário, de padrões de viagem e de comportamento habituais em diferentes escalas temporais (BAGCHI; WHITE, 2005; CHU; CHAPLEAU, 2013; MORENCY; TRÉPANIÉ; AGARD, 2007), inclusive antes e após uma mudança do serviço (MOJICA, 2008). A aplicação nesta escala é limitada pelo fato de, em geral, os dados não estarem ligados ao perfil socioeconômico do usuário. Uma estimativa do lugar de domicílio a partir de dados de SBE realizada por DUMAS (2015), permitiu, no entanto, uma análise da equidade entre etnias dos passageiros da rede de transporte público de Boston. Autores chilenos também desenvolveram pesquisa de estimativa de local de residência com o propósito de vincular às viagens dados socioeconômicos (AMAYA; MUNIZAGA, 2013).</p>
<p>Âmbito Tático</p> <p>Aplicação para o ajuste da oferta de serviço. É possível ter o detalhamento de demanda para diferentes dias, linhas, ofertas de viagem e trechos dos diferentes modos de transporte, sendo viável, por exemplo, detectar a seção de máximo carregamento. O estudo dos padrões de transferências é destacado como um passo para adequação da geometria da rede e dos horários programados à demanda (BAGCHI; WHITE, 2005). A determinação de matriz de origem-destino também pode ser definida como uma aplicação de âmbito tático (PELLETIER; TRÉPANIÉ; MORENCY, 2011), sendo possível inclusive inferir o tipo de atividade realizada (DEVILLAINÉ, 2012; GOULET-LANGLOIS, 2015; KUSAKABÉ; ASAKURA, 2014; ORTEGA-TONG, 2013).</p>
<p>Âmbito Operacional</p> <p>Aplicação para monitoramento de indicadores de desempenho da rede de transporte como velocidade e tempo de viagens (NUÑEZ; MUNIZAGA; GSCHWENDER, 2013), aderência aos horários programados e veículos-quilômetros percorridos; redução do tempo de parada de ônibus (MILKOVITS, 2008); bem como para detecção de fraude ou erros sistêmicos (FARZIN, 2007).</p>

A seguir são detalhadas as aplicações já efetuadas com o objetivo de caracterizar a demanda sob três aspectos: sua evolução ao longo do tempo (análise de série temporal); seu comportamento e sua regularidade na escala individual (análise de padrões); e sua localização no espaço (estimativa do local de embarque e de desembarque). É importante perceber que os dois primeiros aspectos tratam de análises diretas sobre os dados da transação; enquanto o terceiro aspecto trata de estimativas realizadas com base também nos dados de transação.

II.3.1 - Aplicação para Análises de Séries Temporais

Uma série temporal, ou histórica, é uma sequência de observações arranjadas cronologicamente (ROSSI; NEVES, 2014). Os dados do SBE permitem caracterizar a demanda no longo prazo, isto é, em largos períodos de tempo. Dentre os fenômenos possíveis de se observar despontam, por exemplo, alguns de natureza agregada, como

a evolução da demanda, e alguns de natureza desagregada, como a rotatividade de usuários e a variabilidade de suas opções na rede de transportes.

BAGCHI E WHITE (2005) estudaram o fenômeno da rotatividade de usuários. A rotatividade de um determinado serviço foi por eles descrita como uma função da quantidade de usuários novos que passaram a utilizá-lo e da quantidade de usuários existentes deixando de usá-lo. Apesar de terem definido o fenômeno como agregado, reconhecem que para entendê-lo seja necessário compreender o comportamento individual de usuário e saber se o mesmo passou da categoria ativo para inativo ao longo do período analisado. O usuário é categorizado como ativo caso tenha realizado ao menos uma transação e não tenha transcorrido tempo maior que um ano entre transações ao longo do período estudado. Conceitualmente, é um fenômeno baseado em há quanto tempo a pessoa usa um serviço, não estando ligado a quão frequentemente ocorre essa utilização. Na pesquisa empreendida pelos autores foi analisada a rotatividade de usuários da rede de Bradford, Inglaterra, ao longo de dois anos, para descontar os efeitos de variações sazonais e contabilizar uma larga gama de frequências de uso. Os autores puderam detectar que, em relação ao total de cartões do primeiro ano, 35% não foram utilizados no ano seguinte, isto é, uma rotatividade de 35%, considerada alta pelo autor. Do ponto de vista do sistema, eles consideram que é mais fácil atrair pessoas a usar o cartão do que retê-las e que há uma certa porção dos usuários que deixará de utilizar o cartão caso descontos e ofertas especiais expirem.

Ainda segundo os autores, para um operador é importante conhecer a rotatividade de sua demanda para poder reter usuários existentes (diminuir o elemento de perda da rotatividade), encorajar a utilização do serviço por novos usuários (incrementar o elemento de ganho da rotatividade) e influenciar a intensidade com que os usuários de fato utilizam os serviços disponíveis (BAGCHI; WHITE, 2005).

MORENCY et al. (2007) ativeram-se a estudar a variabilidade espacial e temporal de cada tipo tarifário (adulto-interzonal, -expresso, -regular, estudante, sênior). A variabilidade espacial foi definida em função do número de pontos de ônibus distintos utilizados por

cada usuário. A análise utilizou um método de agrupamento (*clustering*) a partir do padrão individual de cada cartão ao longo de 10 meses de transações na rede de transportes de Gatineau, Canadá. Embora tenham evidenciado interessantes padrões de variabilidade para os diversos tipos tarifários ao longo do tempo, foram destacados padrões ainda mais interessantes em relação à regularidade da demanda, como o fato de, para a maioria dos cartões, mais de 50% das transações serem realizadas em apenas dois pontos de ônibus. Nesse sentido, CHU E CHAPLEAU (2013) argumentam em estudo posterior que é mais interessante conhecer a regularidade, em detrimento da variabilidade.

Em aplicações em séries temporais, pode ser importante verificar se cartões novos estão atrelados a usuários antigos (BAGCHI; WHITE, 2005), o que é possível utilizando-se a base cadastral dos usuários.

II.3.2 - Aplicação para Análises de Padrões de Regularidade

Outro tipo de aplicação, para a caracterização da demanda a partir de dados de SBE, diz respeito à detecção de padrões de regularidade no nível do usuário. Regularidade é geralmente utilizada para descrever padrões de comportamento recorrentes no espaço e no tempo (CHU; SPURR; CHAPLEAU, 2013). Em uma rede de transportes, o comportamento dos usuários em termos de deslocamentos está estritamente vinculado à realização de atividades, que em geral apresentam recorrência no espaço e no tempo (REICHMAN, 1983, p. 84) e sua análise inclui aspectos como frequência, horário e tempo despendido, destino, escolha modal, sequência de viagens, etc. (REICHMAN, 1983, p. 92).

Por estarem atomizados em transações individuais por usuário e permitirem janelas multidárias de observações, os dados de SBE são uma fonte rica para entender o comportamento desagregado na escala do indivíduo (CHU; CHAPLEAU, 2013). Padrões de viagem na escala do sistema representam o comportamento agregado de milhares

ou milhões de usuários. É assim imperativo estudar o padrão de viagens na escala do próprio usuário para ganhar melhor entendimento do fenômeno.

CHU E CHAPLEAU propõem para a análise da regularidade o interessante e relevante conceito de âncora (2013). Neste conceito, âncora designa um lugar repetidamente visitado e, conseqüentemente, um comportamento recorrente do ponto de vista do usuário. No âmbito da cidade, representam lugares de especial importância para o indivíduo. No âmbito da rede de transportes representam estações ou linhas comumente utilizadas. Na escala de um dia, as âncoras usualmente estão atreladas ao local de moradia, de trabalho e de estudo. Em escalas temporais maiores podem designar locais de atividades religiosas, de atividades comerciais e de visita a amigos e familiares.

Na metodologia proposta pelos autores, a âncora é laureada a um cartão baseando-se em duas condições de regularidade analisadas a partir da sumarização de dados multidiários: (i) sua frequência de utilização de uma estação ou linha em particular e (ii) a proporção de uso desta em relação à sua utilização total do sistema. A frequência mínima é usada para avaliar se a estação ou linha é repetidamente utilizada pelo usuário, enquanto a proporção mínima é usada para limitar o número máximo de âncoras para o mesmo (CHU, CHAPLEAU, 2013). Cartões com âncora servem assim como um proxy para usuário frequente, enquanto cartões sem âncora podem ser considerados usuários ocasionais ou esporádicos.

Uma vez detectado a regularidade no nível do usuário, é possível prosseguir com a caracterização da demanda agregando os dados por (CHU; CHAPLEAU, 2013):

- **Unidade temporal:** data, dia da semana, mês e estação para determinar como o tempo influencia a realização de atividades e a dinâmica de viagens;
- **Unidade espacial:** embarque e desembarque, estação, rota e zona para caracterizar as viagens e a clientela por áreas ou locais específicos;

- **Um atributo comum de um grupo:** tipo tarifário (passes, benefícios, etc.), características socioeconômicas (quando disponível) para estudar as necessidades de subgrupos específicos.

CHU E CHAPLEAU utilizaram esse conceito na análise de dados de 31 dias de transação do metrô de Montréal (2013). Embora tenham encontrado no período 41% de cartões sem âncora, eles foram responsáveis por menos de 9% do total de transações, indicando a absoluta preponderância dos cartões com âncora na utilização da rede de transportes. Embora tenha sido detectada variação na demanda ao longo dos dias de semana, a proporção de cartões com âncora em relação ao total de cartões se manteve constante, inclusive no fim de semana. Na escala do dia, foi detectada maior proporção de cartões com âncora no período da manhã. Na escala da rede, esta proporção revelou-se maior nas estações terminais e periféricas, onde há menos opções de transporte.

Outros autores, como ORTEGA-TONG (2013) e GOULET-LANGLOIS (2015) em Londres, MA et al. (2013) em Beijing e ZHONG et al. (2015) em Singapura, estudaram a regularidade e variabilidade da demanda utilizando métodos de clusterização. Os métodos incluíram outras condições de regularidade, como a sequência de atividades no caso de GOULET-LANGLOIS, e permitiram classificar os usuários em grupos mais específicos (usuários de todos os dias da semana, usuários de dias úteis de semana, usuários regulares infrequentes, etc.). O método da clusterização, no entanto não é aqui estudado por o conceito de âncora já permitir com um método relativamente simples a detecção de usuários regulares.

A caracterização de padrões de regularidade da demanda pode ser de grande interesse para a indústria de transportes planejar um serviço mais ajustado à realidade e promover campanhas de marketing e difusão de informações mais específicas; e para a modelagem de transportes, que carece no estado da arte de uma melhor compreensão do comportamento na escala do usuário (CHU; CHAPLEAU, 2013).

II.3.3 - Aplicação para Estimativa de Embarque e Desembarque

Até o presente momento, foram estudadas análises diretas feitas a partir dos dados presentes nas transações de SBE. Outra gama de pesquisas se interessou em estimar, por meio de processamento com base em regras, dados não presentes nas transações, como o ponto de desembarque do usuário na rede de transportes. A este item, extenso e importante na realização desta pesquisa, foi dedicada a próxima seção.

II.4 - Estimativa de Embarque e Desembarque a partir de Dados de SBE

As transações registram, como colocado anteriormente, o embarque realizado por usuários. É desse modo natural que se conheçam informações relativas à entrada do usuário em determinado veículo ou modo de transporte ou, ainda, ponto ou estação de embarque. Porém, para fins de planejamento de transportes, é importante que se conheça o ponto de desembarque do usuário, tanto dentro de um trecho de viagem, quanto da viagem por completo. Esta informação, caso estimada com sucesso, permite ao analista chegar, a partir dos dados do SBE à sua disposição, a uma matriz de locais de embarque e desembarque dos usuários, útil para, por exemplo, auferir uma completa matriz Origem-Destino da rede de transportes.

Esta seção traça um panorama extensivo da literatura atual sobre este tipo de aplicação de dados de SBE. Para tanto, em primeiro lugar, é apresentada uma relação dos autores e pesquisas realizadas sobre este tema, sendo resumidos os métodos e premissas aplicados. Em seguida, são explorados os resultados obtidos, as limitações metodológicas encontradas, as validações realizadas e os desdobramentos para aplicação em sistemas reais. Por fim, as características de sistemas de *Bus Rapid Transit* são estudadas para que se entendam eventuais particularidades desse tipo de estimativa no caso destes sistemas de transporte.

II.4.1 - Autores e Casos Analisados

Desde o fim da discussão tecnológica acerca de SBE e desde os primeiros trabalhos tratando sobre a aplicação de seus dados no planejamento de transportes, a derivação de uma matriz origem-destino com base em regras lógicas a partir dos dados de transações vem sendo estudada.

Diversos autores realizaram pesquisas deste tipo em sistemas de abrangência e complexidade distintas (combinação de tipos de modos de transporte). Séries distintas de dados já foram utilizadas para inferir a localização de desembarque no caso de modos capilares, como o sistema de localização veicular automática (AVL) e o horário programado de partida das ofertas de viagem no sistema. Alguns tipos de linguagem de programação já foram empregados para tratar os dados, sempre constando a necessidade do entendimento da linguagem de consulta a bancos de dados (SQL). Os métodos propostos foram aplicados em cenários de escopos variados, tendo todos eles contribuído de alguma forma ao entendimento lógico do problema e à concepção de regras a serem observadas durante o processamento dos dados. Alguns chegaram inclusive a ser aplicados na indústria, para a caracterização da demanda de sistemas reais. Uma relação destes tipos de informação é exibida na Tabela II.3 para os autores consultados.

CAPÍTULO II - REVISÃO DA LITERATURA

Tabela II.3. Relação de autores que exploraram o problema de estimativa de embarque e desembarque a partir de dados do SBE

Fonte: Elaboração própria.

Ano	Ano, Autor(es)	Cidade, País (Taxa de Penetração do SBE)	Modo(s) Estudado(s)	Dados para Localização em MC	Linguagem de Programação, Software utilizado	Qtd. dias (d.), transações (t.), viagens (v.) analisadas	Estimativa de Desembarque (percentual do total analisado)	Expansão para Matriz OD	Contribuição	Aplicação em Sistema Real
1984	BUNEMAN, (apud FARZIN, 2008)	São Francisco, EUA	Trem (ME) (controle de entrada e saída)	Não necessário	ND	ND	ND	ND	Primeiro uso de SBE para OD.	ND
2002	BARRY et al. (apud ZHAO, 2004)	Nova Iorque, EUA	Metrô (ME)	Não necessário	ND	ND	ND	ND	Primeiro uso em sistema aberto.	ND
2004	ZHAO	Chicago, EUA (88%)	Metrô (ME) (+ ônibus para rodar regra)	AVL	C++, ArcGIS	6 d., 2,5mi t.	71%	Sim, Rede de metrô	Estimativa na transferência ME-MC.	Sim
2006	CUI	Chicago, EUA	Ônibus (MC)	AVL	SQL	5 d., 2,7mi t.	60%	Sim, Amostra da rede	Estimativa de embarque e desembarque em MC.	Não
2007	TRÉPANIER (apud MUNIZAGA; PALMA, 2012)	Gatineau, Canada	Ônibus (MC)	ND	ND	ND	66%	ND	ND	ND
2007	LIANFU	Changchu, China	Ônibus (MC)	Pesquisa de campo com motorista	MNA	MNA	MNA	MNA	Método sem AVL.	MNA
2008	FARZIN	São Paulo, Brasil	Ônibus (MC)	AVL	SQL, GIS	1 d., 658k v. (10mi t. / 6,3mi v. no total SBE)	77% (6% / 8% no total de t. e de v.)	Sim, Zona de tráfego	Primeiro caso brasileiro.	Não
2010	GUERRA	Alagoas, Brasil	Ônibus (MC)	Quadro de Horários	TransCAD	7 d., 24,9k t. (172k t. no total SBE)	56% (8% no total)	Sim, Zona de tráfego	Uso de quadro de horários, SIG e distribuição de intervalo de viagens.	Não
2011	WANG	Londres, Inglaterra	Ônibus (MC)	AVL	Java, SQL	72,4k t.	66% (média)	Não	Perfil de carregamento, Variabilidade, Análise tempo de transferência.	Não
2012	GORDON	Londres, Inglaterra	Bus (MC) (em Sistema Multimodal)	AVL	Java	10 d., 6,3mi t.	77%	Sim, Rede de Londres	Múltiplas condições para definir transferência.	Sim
2012	MUNIZAGA; PALMA	Santiago, Chile (97%)	Sistema Multimodal (ME+MM+MC)	AVL	SQL, C++, GoogleEarth API	7 d., 38mi t.	83%	Sim, Zona de tráfego	Uso do tempo para inferência do destino.	Sim, após validação.
2012	NASIBOGLU et al.	Izmir, Turquia	Metrô, Ônibus, Barcas e VLT (ME + MC)	Não claro	Não claro	1,5mi t.	Não claro	Não claro	Pesquisa pouco clara.	Não claro
2015	DUMAS	Boston, EUA	Sistema Multimodal (ME+MM+MC)	AVL	Java	21 d., 18,3mi t.	56% Ônibus 77% VLT 75% Trem	Não	Método de Gordon (2012). Contribuição estimativa domicílio.	Não
Onde:	ND = dado não disponível na bibliografia consultada / MNA = método não aplicado / ME = modos estruturantes / MC = modos capilares / MM = modos mistos / k = 10 ³ / mi = 10 ⁶									

II.4.2 - Regras Lógicas para Estimativa de Embarque e Desembarque

Em termos das regras lógicas estudadas para conseguir estimar o ponto de desembarque algumas premissas básicas foram adotadas por todos os autores. Em primeiro lugar, a regra principal, para a determinação do destino do trecho de viagem, se baseia na ideia de que um grande percentual de usuários permanece ou retornam ao ponto de destino do trecho de viagem anterior para começar o seguinte trecho de viagem (ou a seguinte viagem) (BARRY et al., 2002; apud ZHAO, 2004). Esta premissa é válida se:

- Não há modo de transporte privado (carro, motocicleta, bicicleta, etc.) entre transações consecutivas;
- Os passageiros não caminham uma distância muito longa para embarcar em um ponto diferente daquele em que eles desembarcaram. Esta condição é especialmente válida quando a distância entre pontos é superior a distâncias aceitáveis de caminhada, uma característica de modos estruturantes com longas distâncias entre estações;
- Passageiros terminam a sua última viagem do dia no ponto onde começaram a primeira viagem do dia. Este conceito pode ser estendido para considerar a primeira viagem do dia seguinte.

No caso de modos capilares, em que os validadores estão presentes dentro dos veículos, para a detecção do local de desembarque a totalidade dos autores envolvidos com esta questão utilizou uma segunda fonte primária de dados. Em geral, os dados utilizados foram provenientes do sistema de localização veicular automática baseado no uso de GPS embarcado nos veículos (CUI, 2006; FARZIN, 2008; MUNIZAGA; PALMA, 2012; WANG; ATTANUCCI; WILSON, 2011; ZHAO, 2004). Outras alternativas de fontes de localização basearam-se na realização de pesquisas de campo diretamente com motoristas (LIANFU et al., 2007) e na utilização de quadro programado de horários de partidas de viagem aliada à distribuição normal do tempo de realização de uma viagem (GUERRA, 2011). Considerou-se na análise destes casos que: (i) a maior parte dos

validadores permanece instalada em um mesmo veículo por grande parte do tempo (ZHAO, 2004); (ii) que o passageiro entrou no veículo aproximadamente no mesmo momento em que realizou a transação e que, portanto, o trecho de viagem começa no local e horário em que a validação ocorre (MUNIZAGA et al., 2014). Está claro que há fatores que tornam esta premissa frágil em algumas situações. No caso brasileiro assentos antes do validador e da catraca (FARZIN, 2008) e em casos internacionais a ausência de catracas e a obrigação do usuário de validar sua entrada podem desatrelar o horário do embarque do horário de realização da transação.

Em todos estes casos foi necessária uma importante e complexa etapa de pareamento das bases de dados, isto é, o pareamento entre os dados de transações na escala do cartão e os dados de localização na escala do veículo. A limitação de dados primários de localização na escala do veículo à disposição pode diminuir consideravelmente a amostra tratada, como no caso de FARZIN (2008) que, por restrição da existência de sistema de AVL nos ônibus de São Paulo só pôde utilizar dados de 658 mil viagens dentre um total de 6,3 milhões de viagens diárias (10% do total).

Um ponto de extrema relevância é a detecção de que transações constituem embarques iniciais de viagens e quais representam transferências entre trechos de uma mesma viagem, ponto estudado desde BAGCHI E WHITE (2005) como forma de caracterização de padrões de demanda. Somente com esta diferenciação é possível sair de uma perspectiva de trecho de viagem e chegar ao nível de uma matriz OD, no qual está embutido o conceito de destino de viagem como local de realização de uma atividade (MUNIZAGA; PALMA, 2012).

O intervalo de tempo entre transações tem sido um parâmetro utilizado para esta classificação. Pode-se recorrer a um limite fixo de, por exemplo, 30 minutos ou 1 hora abaixo do qual duas transações caracterizam uma transferência. GUERRA coloca que é importante que este intervalo seja compatível com o porte da rede de transporte em estudo (GUERRA; BARBOSA; KELLI, 2014). Esta escolha arbitrária, embora mais simples de implementar, falha na identificação de atividades muito curtas e no caso de

intervalos muito longos entre ofertas de viagem. Em paralelo, pode-se supor, independente do intervalo de tempo entre trechos, que no caso de transações consecutivas realizadas na mesma linha houve uma destinação entre as duas, por ser improvável que alguém saia e recomece uma viagem por motivo que não a realização de uma atividade naquele local (MUNIZAGA; PALMA, 2012).

As transferências envolvendo um modo capilar no próximo trecho da viagem também apresentam peculiaridades, podendo variar de acordo com o modo em que o trecho original foi realizado (MUNIZAGA; PALMA, 2012). Saindo de uma rota em um modo estruturante, a interseção entre esta e a linha do modo capilar é o destino no modo estruturante (ZHAO, 2004), isto é, as transferências ocorrem na estação mais próxima espacial e temporalmente do embarque do próximo trecho (MUNIZAGA; PALMA, 2012). Saindo de uma linha de um modo capilar, MUNIZAGA E PALMA (2012) propõem que a transferência ocorre no ponto do tempo-espaço que minimiza uma função ponderada do tempo de viagem no veículo e do tempo estimado de viagem por caminhada até o local do próximo embarque, chamada pelas autoras de função tempo generalizado. Em todos os casos, pode ser adotada uma distância máxima de caminhada acima da qual a transação realizada na linha de modo capilar não seja considerada uma transferência. Esta distância foi estipulada por ZHAO (2004) como 400 metros e por MUNIZAGA E PALMA (2012) como 1.000 metros, tendo sido verificado posteriormente que esta variável poderia ser tratada de forma flexível (MUNIZAGA et al., 2014). GORDON (2012) explora outras condições para inferir transferências como o conceito de tortuosidade (*circuity*) entre segmentos de viagem e extensão total da viagem completa.

A escala de determinação do local de embarque e desembarque também varia em cada trabalho. Em modos estruturantes, é possível localizar tais pontos na escala da estação. Nos modos capilares, os pontos podem ser localizados em termos de coordenadas geográficas provindas do AVL, em termos de pontos de paradas (PED) fisicamente existentes ou em termos agregados na escala de uma zona de tráfego- opção que minimiza a imprecisão do método causada pela diferença de tempo entre o embarque do passageiro no veículo e a validação do cartão (GUERRA, 2011).

Outras premissas são adotadas como verdadeiras. No caso da análise de mais de um dia de dados, é importante a consideração de que para cada usuário haja apenas um cartão e vice-versa (MUNIZAGA; PALMA, 2012). Porém, caso sejam detectadas viagens em grupo com o mesmo cartão, cada trecho de viagem pode ter um fator de expansão equivalente ao tamanho do grupo (DEVILLAINÉ et al., 2013).

Em geral, as regras são realizadas de forma sequencial dentro de determinados ciclos. Um modelo geral da estimativa de ponto de embarque e desembarque das transações e da origem e destino das viagens, considerando um nível baixo de detalhamento, é apresentado na Figura II.3. O maior ciclo se refere à iteração de todos os cartões do sistema (1). Dentro deste, é realizado para um determinado cartão, um ciclo de iteração de todas suas transações (2) para a determinação do ponto de embarque e desembarque. Nesta determinação, caso haja modos capilares, é utilizada a fonte de dados que reúne a localização espacial dos veículos em relação aos pontos de parada (3). Pode haver, ainda dentro do ciclo de um determinado cartão, a etapa de agrupamento de trechos em viagens (4).

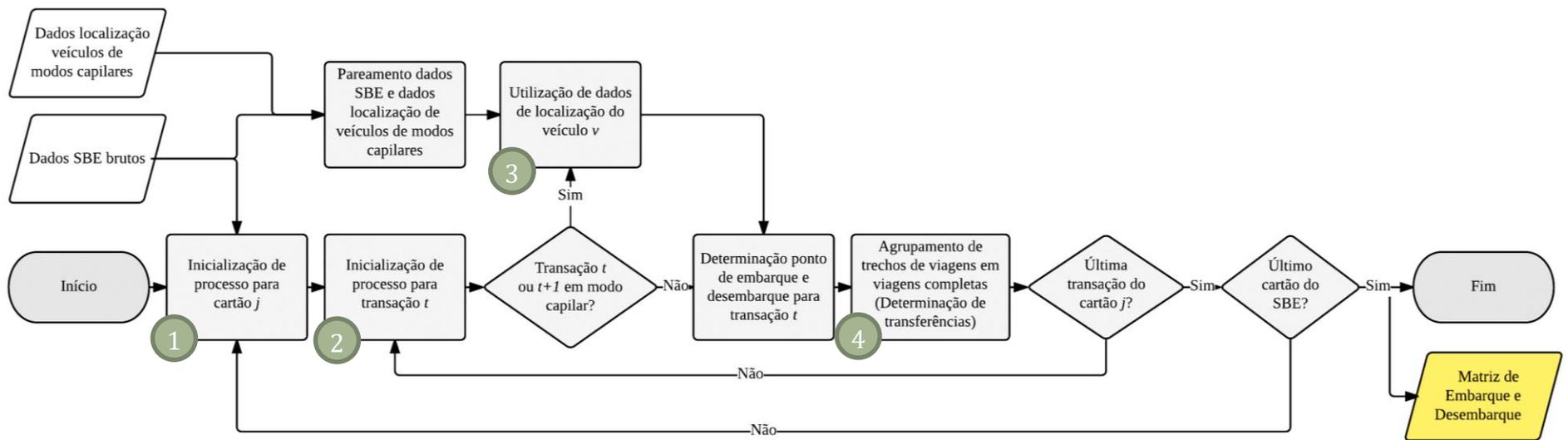


Figura II.3. Estrutura de loops para estimativa de local de embarque e desembarque

Fonte: Elaboração própria

II.4.3 - Resultados Obtidos

Na literatura explorada, considerando a amostra de transações utilizada, que variou entre 24,9 mil e 38 milhões – e que pode ser diferente da quantidade total disponível no sistema, como exposto no caso de FARZIN (2008) –, chegou-se a um mínimo de 56% e um máximo de 83% de sucesso na estimativa do ponto de desembarque.

Se a estimativa do local e momento do desembarque de cada trecho de viagem é exitosa, é possível calcular o tempo de viagem, o tempo entre desembarque e próximo embarque, isto é, o tempo de uma transferência, perfis de carregamento e outras variáveis importantes ligadas à operação, um dos focos do trabalho de WANG, ATTANUCCI E WILSON (2011).

Com o sucesso do agrupamento dos trechos de viagem em viagens completas, é possível realizar a expansão para uma matriz Embarque-Desembarque completa, *input* essencial para a caracterização da demanda e para o planejamento tático-operacional de sistemas de transportes. Para tanto é necessário comparar a matriz de embarques e desembarques obtida (matriz semente) com uma matriz de contagem de passageiros em diversos pontos da rede, como exposto por Ortúzar e Willumsen (2011). Alguns autores conseguiram realizar a expansão da matriz no nível da rede estudada (CUI, 2006; ZHAO; RAHBEE; WILSON, 2007), enquanto outros chegaram ao nível da cidade, por meio da agregação em zonas de tráfego (FARZIN, 2008; GUERRA, 2011; MUNIZAGA; PALMA, 2012). Esta pesquisa, no entanto, não tem por foco a expansão da matriz de embarques e desembarques.

É importante ressaltar que a obtenção dessas matrizes pode ser realizada para qualquer desagregação no espaço-tempo necessário (ainda que, considerando a matriz expandida, este nível possa se limitar às zonas de tráfego utilizadas para construir os fatores de expansão) (MUNIZAGA; PALMA, 2012).

II.4.4 - Limitações, Validações e Desdobramentos dos Resultados

A limitação mais básica referente a este tipo de aplicação de dados de SBE reside na necessidade de uma segunda fonte de dados primários para a localização espacial das transações em modos capilares. Como colocado por CUI (2006, p. 20), saber a localização dos ônibus é crítico para estimativa do local de embarque e desembarque. Quando há sistemas automáticos envolvidos, como o AVL, é de interesse que estejam presentes na maior parte da rede de transportes e que sejam capazes de fornecer dados precisos. Neste sentido, o caso de Santiago, Chile é emblemático: há incentivos financeiros às operadoras ligados à obtenção de dados de GPS, o que aumenta o interesse das mesmas em implantar sistemas AVL eficazes (MUNIZAGA; PALMA, 2012).

As estimativas realizadas podem apresentar viés e limitações. No processamento de algumas regras, caso haja erro de estimativa, pode-se supor que o mesmo ocorre de forma isonômica em toda a extensão da rede, o que torna a matriz de embarque e desembarque inferida semelhante àquela que realmente ocorre (ZHAO; RAHBEE; WILSON, 2007). No entanto, é reconhecida a necessidade de se empreender processos de validação dos resultados e informações encontrados pelo processamento das transações com base em regras (CHU; CHAPLEAU, 2013; GUERRA, 2011, p. 112). Esta importante etapa foi realizada em pesquisa de MUNIZAGA et al. (2014), subsequente à confecção da matriz OD multimodal da cidade de Santiago, e se dividiu em duas partes: (i) validação endógena das informações, isto é, validação a partir de análise estatística dos próprios dados utilizados para confecção da matriz OD; (ii) validação exógena das informações, isto é, com base em fonte de dados externa. No caso dos autores a validação exógena foi realizada de duas formas: com base em pesquisa OD em que os usuários do Metrô de Santiago forneceram, além das informações sobre viagens neste modo, seu número de cartão eletrônico; e com base em viagens realizadas por voluntários. A comparação validou em 100% a estimativa de embarque nas estações de Metrô; em 98,9% a estimativa de ponto de embarque nas linhas de ônibus convencionais; em 84,2% as estimativas de pontos de desembarque; e em 90% o agrupamento de trechos de viagem.

Uma vez estimados os embarques, os desembarques e transferências e obtidas as matrizes, as matrizes de viagem podem ainda servir de base para outros algoritmos de pós-processamento. Os trabalhos de DEVILLAINE (2012) em Santiago e ORTEGA-TONG (2013) e GOULET-LANGLOIS (2015) em Londres, por exemplo, estimam o motivo da viagem no nível de usuário, tendo estes dois últimos analisado também a regularidade das viagens. Dumas (2015) utiliza a origem da primeira viagem dos usuários para estimar seu lugar de domicílio e analisar a equidade de viagens entre etnias em Boston. AMAYA E MUNIZAGA (2013) utilizam também a primeira viagem do dia de usuários recorrentes para estimar o local de residência e em seguida comparar padrões de viagens de diferentes zonas de Santiago. Em sistemas de transporte “fechados”, onde a validação na saída é obrigatória e o destino das viagens é automaticamente conhecido, outros também se interessaram pela estimativa de motivo da viagem, como KUSAKABE E ASAKURA em Osaka (2014) e pela análise de variabilidade de viagens, como ZHONG et al. em Singapura (2015).

Dentre os casos estudados, três declararam ter o método aplicado no monitoramento no âmbito de sistemas reais. Em Chicago, nos EUA, o método foi desenvolvido em uma plataforma de mais fácil usabilidade e os resultados obtidos foram comparados com uma matriz OD obtida a partir de uma ampla pesquisa de campo com usuários no metrô. Houve validação da precisão do método, que passou a ser utilizado para reportar o total de passageiros-quilômetros transportados neste sistema para a base de dados de transporte público do órgão federal de controle (ZHAO; RAHBEE; WILSON, 2007). Em Santiago, no Chile, após a etapa de validação realizada, o método vem sendo utilizado para fins de planejamento tanto pelas operadoras, quanto pela agência pública de transportes. Em Londres, a agência *Transport for London* utiliza o método de GORDON (2012), denominado ODX (*origin-destination-interchange inference process*) em algumas análises, tendo inclusive substituído pesquisas manuais anteriores.

Como colocado anteriormente, nos casos estudados, os resultados de matrizes de embarque e desembarque obtidos podem ser agregados em qualquer nível no espaço-tempo. Carece ainda na literatura, a adição de uma natural dimensão nesta análise: o

comportamento dos usuários. Nesse sentido, o conceito de âncora pode ser de grande valia na detecção dos embarques e desembarques mais recorrentes do ponto de vista de um usuário ou tipo de usuário específico. Este conceito, por parecer uma interessante vertente a ser tomada, faz parte do método de estimativa proposto no Capítulo III.

II.4.5 - Particularidades de Sistemas de BRT

A cada caso analisado, os recursos disponíveis e a rede de transportes criam desafios únicos (FARZIN, 2008). Pode-se supor, no caso de um modo de transporte específico ainda não abordado separadamente, que as regras e premissas devam ser validadas. Esta subseção se dedica a analisar o caso de sistemas de *Bus Rapid Transit*, BRT na sigla em inglês.

II.4.5.1 Sistemas de BRT

O termo BRT é utilizado de forma geral para designar sistemas de transporte urbano por ônibus, em que melhorias significativas de infraestrutura, veículos e práticas operacionais resultam em uma qualidade de serviço mais atrativa para os usuários (NTU, 2009), com confiabilidade, conveniência e rapidez similares a sistemas sobre trilhos e superiores a serviços convencionais de ônibus (ITDP, 2014a). Segundo o Padrão de Qualidade de BRT, tecnicamente, qualifica-se como BRT um corredor de ônibus em que há “uma seção de uma via ou vias contíguas servidas por uma ou múltiplas linhas de ônibus com uma extensão mínima de 3 km que tenha faixas segregadas de ônibus” (ITDP, 2014a). Elementos como alinhamento da pista de ônibus para minimização de interferência do tráfego comum (preferencialmente à esquerda da via); infraestrutura fisicamente segregada para garantir prioridade de passagem; cobrança de tarifa fora do veículo; prioridade nas interseções; e embarque por plataforma em nível podem ser considerados essenciais para que um sistema garanta a rapidez e seja classificado como BRT (ITDP, 2014a). Em adição, o próprio veículo conta

com design mais confortável e janelas maiores, além de maior capacidade por ser mono ou biarticulado (NTU, 2009).

Este tipo de sistema de transporte surgiu na cidade de Curitiba, em 1974³, com a implantação dos primeiros 20 km de pistas exclusivas para ônibus (“canaletas”) e a estruturação das linhas da rede em troncais (“expressas” na designação curitibana) e alimentadoras. As emblemáticas estações-tubo, que permitem pré-pagamento e agilizam o embarque e desembarque a um oitavo do tempo anterior começaram a operar em 1991⁴ (CENEVIVA, 2015).

Nota-se assim que praticamente todos os componentes de BRT foram desenvolvidos na cidade de Curitiba durante os anos 70, 80 e começo dos anos 90 (NTU, 2009), embora o termo acrônimo BRT só tenha sido adotado a partir dos anos 2000 de aplicações na América do Norte e Europa (WRIGHT; HOOK, 2007), após a exitosa experiência do sistema TransMilenio implantado em Bogotá, Colômbia (UN-HABITAT et al., 2012). Este sistema começou a operar em 2000 com corredores com faixas de ultrapassagem nas estações, o que possibilitou a criação de serviços expressos (sem parada em todas as estações) e o consequente aumento na capacidade do sistema (TRANSMILENIO S.A., 2015). Criava-se assim uma referência e imagem mundial para este tipo de sistema.

Por ter, dentre outros fatores, custo e tempo de implantação inferior se comparado a sistemas sobre trilhos (SUZUKI; CERVERO; IUCHI, 2013), sistemas de BRT vêm experimentando expansão geométrica, sob a tutela e incentivo de bancos multilaterais e organizações não-governamentais e dentro de um contexto de autopromoção das

³ É de se notar que o sistema de Curitiba é fruto e instrumento do Plano Diretor da cidade, concebido em 1965. De fato, como colocado pela Prefeitura da cidade em seu site: “O transporte foi fundamental na aplicação do plano, porque foi encarado como indutor do desenvolvimento da cidade. O uso do solo, o transporte viário e o transporte coletivo passaram a ser pensados juntos, conduzindo o desenvolvimento urbano.”(PCC, 2015).

⁴ Após projeto desenvolvido para a cidade do Rio de Janeiro em 1984 e não implantado até esta década (CENEVIVA, 2015). A segunda cidade brasileira a replicar o modelo de BRT implantado em Curitiba foi Goiânia com a construção da pista exclusiva já em 1976 e de estações com embarque em nível em 1998 (GEGO, 2013).

idades como “de nível global ou sustentável” para atração de investimentos (PAGET-SEEKINS, 2015). Segundo avaliação realizada com base no Padrão de Qualidade de BRT, há 98 corredores de BRT de diferentes graus de complexidade em 59 cidades dos cinco continentes. A extensão total deste tipo de sistema quase quadruplicou em uma janela de 10 anos, passando de 731 km em 2004 para 2.580 km em 2014, um aumento de 383% (ITDP, 2014b). O BNDES, em recente estudo, estima que, para sanar o déficit de infraestrutura de mobilidade urbana em 15 regiões metropolitanas brasileiras, sejam necessários 799 km de BRT, 49% da infraestrutura total necessária – 1.633 km – considerando-se todos os modos de alta e média capacidade, isto é, trens, metrô, VLT e BRT (DOS SANTOS et al., 2015).

II.4.5.2 Análise de Sistemas de BRT utilizando dados de SBE

Nos sistemas de BRT os validadores se encontram fisicamente estáticos nas estações, podendo este modo ser classificado como estruturante. Há, porém, casos de BRT em que o veículo sai da pista exclusiva e entra no tráfego misto para acessar bairros adjacentes. Nestas seções em tráfego misto, a validação é realizada no veículo, estando o validador localizado de forma móvel na rede. Sistemas de BRT que apresentam esta configuração (embarque por estação e por acesso direto ao veículo) são classificados como modo misto.

Em geral, a distância entre estações de BRT (300 a 800 metros) é mais curta que no caso de sistemas sobre trilhos. Esta condição deve ser atentada por poder tornar frágil uma das premissas da principal regra de inferência da estação de desembarque, que coloca basicamente que os passageiros não caminham uma distância muito longa para embarcar em um ponto diferente daquele em que eles desembarcaram. Até o presente, porém, não foi realizado um estudo que verificasse a aplicação das regras de estimativa de ponto de embarque e desembarque em sistema de BRT em específico. O único estudo encontrado na bibliografia com a aplicação de dados de SBE para análise deste tipo de sistema de transporte específico foi realizada em Brisbane, Austrália, para investigar a demanda no sistema de BRT e no sistema de ônibus convencional em diferentes tipos

de dias (dia típico, fim de semana, feriado escolar, feriado público) (TAO et al., 2014), tendo encontrado evidências específicas e inéditas graças à quantidade de dados analisado.

II.5 - Considerações Finais do Capítulo

Neste Capítulo apresentou-se um longo, profundo e desejado panorama do potencial papel que os Sistemas de Bilhetagem Eletrônica têm a cumprir na caracterização da demanda e no planejamento de sistemas de transporte.

Os SBE, consagrados como meio de pagamento seguro, prático e versátil, geram agora dados de forma contínua e abrangente que podem servir de base para pesquisas similares àquelas empreendidas em campo, por natureza mais dispendiosas e sujeitas a erros. Para sua utilização, no entanto, é indispensável que se conheça aspectos básicos ligados às tecnologias e aos processos que compõem estes sistemas e que se trace um quadro teórico da relação entre os dados digitais e as viagens realizadas no mundo real.

O nível de desagregação e a diversidade de elementos compondo os dados permitem aplicações variadas em diferentes escalas. Em particular, foram explorados os trabalhos sobre três aplicações para caracterização da demanda que comporão a metodologia concebida no Capítulo III: análises de séries temporais da demanda, análise de padrões de regularidade dos usuários e estimativa de local de embarque e desembarque.

Deve-se, logicamente, estar atento não só às claras vantagens desse tipo de pesquisa em relação às pesquisas de campo tradicionais, mas também às desvantagens, como ausências de dados não-transacionais (como perfil socioeconômico e motivo da viagem), erros sistêmicos e maior utilização por uma determinada parcela de usuários, que podem dificultar as análises ou enviesar os resultados obtidos.

A indústria do transporte pode beneficiar-se diretamente deste processo de caracterização da demanda. De fato é possível com as informações prospectadas

construir uma melhor relação com o usuário em específico, influenciando seus padrões de uso do transporte (BAGCHI; WHITE, 2005). Caso haja dados cadastrais como por exemplo endereço ou telefone, pode-se fornecer diretamente informações a respeito dos serviços que utiliza. Do contrário, as informações podem ser comunicadas por meio de campanhas veiculadas ao público em geral, campanhas estas que podem ser moldadas considerando-se os lugares mais acessados pelo público-alvo. A preservação da privacidade do usuário e o sigilo de suas informações pessoais é, no entanto, um importante ponto relacionado à utilização dos dados de SBE (PELLETIER; TRÉPANIÉ; MORENCY, 2011).

ZHAO (2007) vislumbra que, no futuro, com a mesma tecnologia que já existia então e continua a ser empregada hoje em dia, será possível observar o comportamento de viagem, a preferência modal e a escolha de rotas de um indivíduo em particular e relacionar este comportamento à qualidade de serviço oferecida em cada ligação e nó da rede em qualquer ponto no tempo. Como colocado por FARZIN (2008), embora as aplicações realizadas possam ser consideradas meramente uma entrada de informações para o processo de planejamento, elas representam uma mudança de paradigma no setor de transporte público ao evoluí-lo do estado de rico em dados para o estado de rico em informações.

CAPÍTULO III - METODOLOGIA

III.1 - Introdução

Este Capítulo descreve a metodologia empregada para o atendimento do objetivo principal desta pesquisa, qual seja, evidenciar o potencial de Sistemas de Bilhetagem Eletrônica para a caracterização da demanda de um sistema de transporte público. A metodologia se baseia em três tipos de análises, com um grau progressivo de complexidade de processamento e de detalhamento da análise dos resultados.

No primeiro nível, é definido um método de análise de série temporal sobre os dados do SBE, com foco na dimensão tempo. No segundo nível, é definido um método de análise de padrões de regularidade da demanda, dando-se foco no comportamento dos usuários. Por fim, no terceiro nível, é concebido um método de estimativa de desembarque de viagens realizadas, em que a dimensão foco é o lugar (localização) de início e fim das viagens de um sistema de transportes dotado de estações de embarque.

Chega-se com este quadro metodológico a evidências possíveis de caracterização da demanda a partir dos dados do SBE. Na Figura III.1 é traçado um esquema do quadro metodológico proposto. A variável comportamento influencia a última análise empreendida pois busca-se entender as diferenças de estimativa dos usuários considerados regulares na composição da demanda total do sistema.

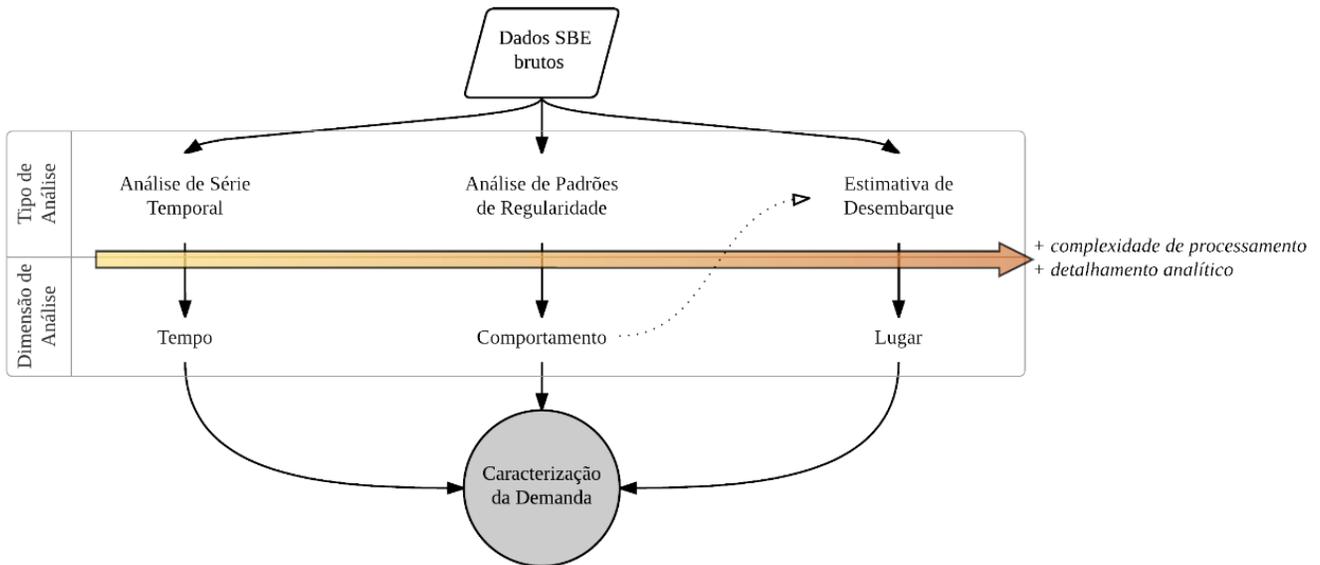


Figura III.1. Quadro Metodológico de Caracterização da Demanda a partir de SBE

Fonte: Elaboração própria

É importante perceber que os dois primeiros tipos de análise tratam da prospecção direta de informações a partir dos dados de SBE; enquanto o terceiro tipo de análise se refere à inferência de informações a partir do processamento com base em regras.

Em primeiro lugar, são descritos em detalhes os dados de SBE necessários e os dados de Sistema de Informações Geográficas – SIG que podem auxiliar na visualização dos resultados obtidos. Em seguida, as três análises que compõem a metodologia são definidas, detalhando-se, para cada uma, seu objetivo, seu escopo de dados e seu método. O Capítulo é finalizado com um resumo da metodologia proposta, suas limitações e contribuições para o conhecimento no tema de aplicações de dados de SBE para caracterização da demanda.

III.2 - Descrição dos Tipos de Dados Necessários

III.2.1 - Dados Primários de SBE

Os dados primários mais básicos provenientes de um SBE são os dados de transações, os dados de cadastro de cartões de usuários e os dados de cadastro das linhas que compõem o sistema de transporte público. Estas são as tabelas primárias exploradas nesta metodologia. Outras três tabelas são geradas a partir do processamento de dados: (i) a tabela com a quantidade de transações realizadas em cada linha e dia analisado durante a etapa de análise de série temporal; (ii) a tabela de armazenamento do par cartão–linha âncora durante a etapa de análise de padrões de regularidade e (iii) a tabela de armazenamento de viagens durante a etapa de estimativa embarque e desembarque. A relação entre tabelas é exposta na Figura III.2 e os campos estudados são descritos em seguida na Tabela III.1. É importante lembrar que sob a égide da tabela de linhas estão catalogadas, no SBE, tanto estações de modos estruturantes quanto linhas de modos capilares.

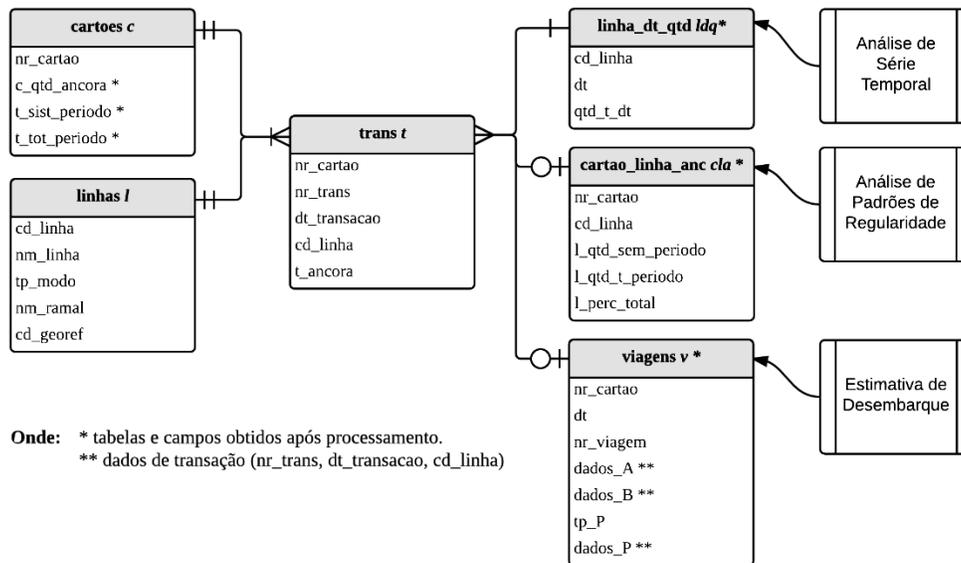


Figura III.2. Tabelas de Transações, de Cartões e de Linhas e Tabelas Geradas do Processamento de Dados
 Fonte: Elaboração própria.

Tabela III.1. Descrição do conteúdo das Tabelas utilizadas

Fonte: Elaboração própria.

Tabela de Transações (t)		
Nome Campo	Tipo	Descrição Campo
nr_cartao	string	Número do cartão que realizou a transação <i>t</i>
nr_trans	int	Número sequencial da transação <i>t</i> para o cartão <i>c</i>
dt_transacao	data_hora	Data e hora de realização da transação <i>t</i>
cd_linha	string	Código único da linha (no SBE) em que a transação <i>t</i> foi realizada
t_ancora *	boolean	Indicação binária de transação <i>t</i> realizada em linha recorrente do cartão <i>c</i>
Tabela de Linhas (l)		
Nome Campo	Tipo	Descrição Campo
cd_linha	string	Código único da linha (no SBE)
nm_linha	string	Nome da estação ou vista da linha
tp_modos	string	Modo da linha (trem, metrô, BRT, VLT, ônibus, ...)
nm_ramal	string	Ramal ao qual pertence a estação, no caso de modos estruturantes
cd_georef	string	Código único da linha / estação no SIG (para elaboração de mapas)
Tabela de Cartões (c)		
Nome Campo	Tipo	Descrição Campo
nr_cartao	string	Número do cartão
c_qtd_ancora *	int	Quantidade de linhas / estações em que o cartão <i>c</i> tem utilização recorrente
t_sist_periodo *	int	Quantidade de transações no sistema estudado no período
t_tot_periodo *	int	Quantidade total de transações no SBE no período
Tabela de Linhas - Data - Quantidade (ldq *)		
Nome Campo	Tipo	Descrição Campo
cd_linha	string	Código único da linha (no SBE)
dt	data	Data <i>d</i>
qtd_t_dt	int	Quantidade de transações na linha <i>l</i> na data <i>d</i>
Tabela de Pares Cartão - Linha Âncora (lca *)		
Nome Campo	Tipo	Descrição Campo
nr_cartao	string	Número do cartão
cd_linha	string	Código único da linha (no SBE)
l_qtd_sem_periodo	int	Quantidade de semanas em que a linha <i>l</i> foi utilizada pelo cartão <i>c</i>
l_qtd_t_periodo	int	Quantidade de transações na linha <i>l</i> pelo cartão <i>c</i> no período analisado
l_perc_total	decimal	Percentual da linha <i>l</i> no total de transações do cartão <i>c</i> no período
Tabela de Viagens (v *)		
Nome Campo	Tipo	Descrição Campo
nr_cartao	string	Número do cartão
dt	data_hora	Data de realização da viagem <i>v</i>
nr_viagem	data_hora	Número sequencial da viagem <i>v</i> na data <i>d</i> para o cartão <i>c</i>
dados_A **	array	Dados da transação A anterior à transação principal da viagem
dados_B **	array	Dados da transação B principal da viagem, realizada no sistema estudado
tp_trans_P	string	Tipo de transação posterior (transferência ou próxima viagem)
dados_P **	array	Dados da transação P posterior à transação principal da viagem
Onde:	* tabela e campos obtidos após processamento de dados	
	** são inseridos dados de transação (nr_trans, dt_transacao, cd_linha)	

III.2.2 - Dados Primários em SIG

Embora outros estudos façam uso intensivo de ferramentas de Sistema de Informação Geográfica – SIG, inclusive para viabilizar o processo de estimativa de embarque e desembarque (GORDON, 2012; GUERRA, 2011; MUNIZAGA; PALMA, 2012), na metodologia proposta, este recurso é utilizado apenas para permitir a visualização dos

resultados obtidos ao longo das etapas empreendidas. Os dados, geralmente obtidos junto a instituições públicas, se resumem à rede de transporte público composta pelo grupo de estações de modos estruturantes e de linhas de modos capilares. O campo `cd_georef` presente na tabela de linhas do SBE viabiliza o pareamento entre a linha/estação utilizada e seu traçado/localização georreferenciado.

III.3 - Análise de Série Temporal da Demanda

No primeiro nível de caracterização da demanda a partir do SBE, é concebido um método de análise de série temporal sobre os dados, onde se dá ênfase à dimensão tempo.

Objetivos da Análise de Série Temporal

A análise de série temporal tem como objetivo possibilitar o entendimento da evolução da demanda de uma linha ou um conjunto de linhas recém-implantadas ou recém-modificadas. Esta análise pode ser complementada pela observação da evolução da demanda em linhas que a elas se conectam.

Escopo de Dados Utilizados

Considerando a data de início de operação da linha (ou do conjunto de linhas) sob estudo, sugere-se utilizar dados de transação de 6 a 9 meses de operação, para ser possível observar a estabilização de sua demanda. Para buscar o efeito da linha recém-introduzida na demanda de linhas a ela conectadas, sugere-se, para estas, complementar a análise com dados de sua demanda ao longo de, ao menos, 3 meses antes da operação da nova linha.

Definição do Método

Para este tipo de análise é montada uma tabela, a partir da tabela de transações, com a quantidade de transações por dia em cada linha estudada (tabela *ldq*, Figura III.2),

abrindo todo o período definido. Para evitar o ruído causado pelas conhecidas variações diárias da demanda, sugere-se:

1. Utilizar como variável de análise a proporção entre a quantidade de transações da linha l estudada (ou do conjunto de linhas estudadas), e o total de transações do SBE, em cada dia d analisado;
2. Utilizar uma média móvel com períodos de 7 e 28 dias sobre tal proporção, para atenuar a periodicidade natural da demanda ao longo de uma semana e de um mês. Uma média móvel consiste, basicamente, no cálculo da média aritmética tendo como extensão (janela) o período sazonal (ROSSI; NEVES, 2014). Em geral, a média móvel tem como centro o dia d analisado e considera tanto valores anteriores quanto valores posteriores. Nesta metodologia, para efeito de simplificação, a média móvel considera apenas valores anteriores e aquele registrado no dia d analisado.

Para análise, considerando-se o baixo grau de detalhamento proposto para este nível da caracterização da demanda, sugere-se uma abordagem quantitativa e qualitativa básica sobre a evolução ao longo do tempo da média móvel construída.

III.4 - Análise de Padrões de Regularidade

No segundo nível de caracterização da demanda a partir do SBE, é concebido um método de análise sobre os padrões de regularidade observados na escala do indivíduo, dando-se ênfase ao exame da dimensão do comportamento. Para fins de planejamento, é particularmente útil conhecer tais padrões da demanda, visto que esta é composta majoritariamente por usuários regulares, que apresentam estabilidade de uso, a despeito das variações diárias observadas na escala agregada. É utilizado para tanto o conceito de âncora desenvolvido por CHU E CHAPLEAU (2013).

Objetivos da Análise de Padrões de Regularidade

A análise de padrões com ênfase na regularidade dos usuários objetiva traçar um panorama da distribuição temporal e espacial da demanda de um sistema de transporte público, buscando-se ressaltar diferenças e semelhanças entre cartões (usuários) com regularidade e sem regularidade.

Escopo de Dados Utilizados

Sugere-se trabalhar com janela de dados similar à explorada por CHU E CHAPLEAU (2011): dados de transações de 28 dias ou 4 semanas corridas. Caso sejam estudados os padrões em um subsistema do sistema de transporte público total (ex: sistema de trens, sistema de metrô ou sistema de BRT), é importante fazer a triagem dos dados de transação do mesmo para agilizar processamentos subsequentes. Sugere-se triar tanto transações dos usuários no sistema analisado quanto transações realizadas pelos mesmos em outros modos complementares, de forma a ser possível empreender a próxima etapa de análise (estimativa de desembarque).

Definição do Método

Etapa 1. Detecção de Cartões com Regularidade

Em primeiro lugar, é importante conhecer aqueles cartões que apresentam regularidade, ou seja, aqueles que utilizam certas linhas ou estações de forma recorrente. Para distingui-los, utiliza-se o conceito de âncora. A âncora é um atributo sintetizado a partir do histórico de transações de um cartão por meio de um processamento com base em regras, que pode indicar linha ou estação muito utilizada por determinado usuário (CHU; CHAPLEAU, 2013).

Para conceder a âncora a uma determinada linha ou estação l para um cartão c específico, propõem-se que sejam respeitadas, no período de 28 dias analisado, as seguintes condições de regularidade (Figura III.3):

- A. A linha ou estação l foi utilizada pelo cartão c em ao menos 3 semanas distintas no período analisado⁵;
- B. A proporção de transações na linha l em relação ao total de transações realizadas pelo cartão c no sistema e no período analisado é superior a 20%.

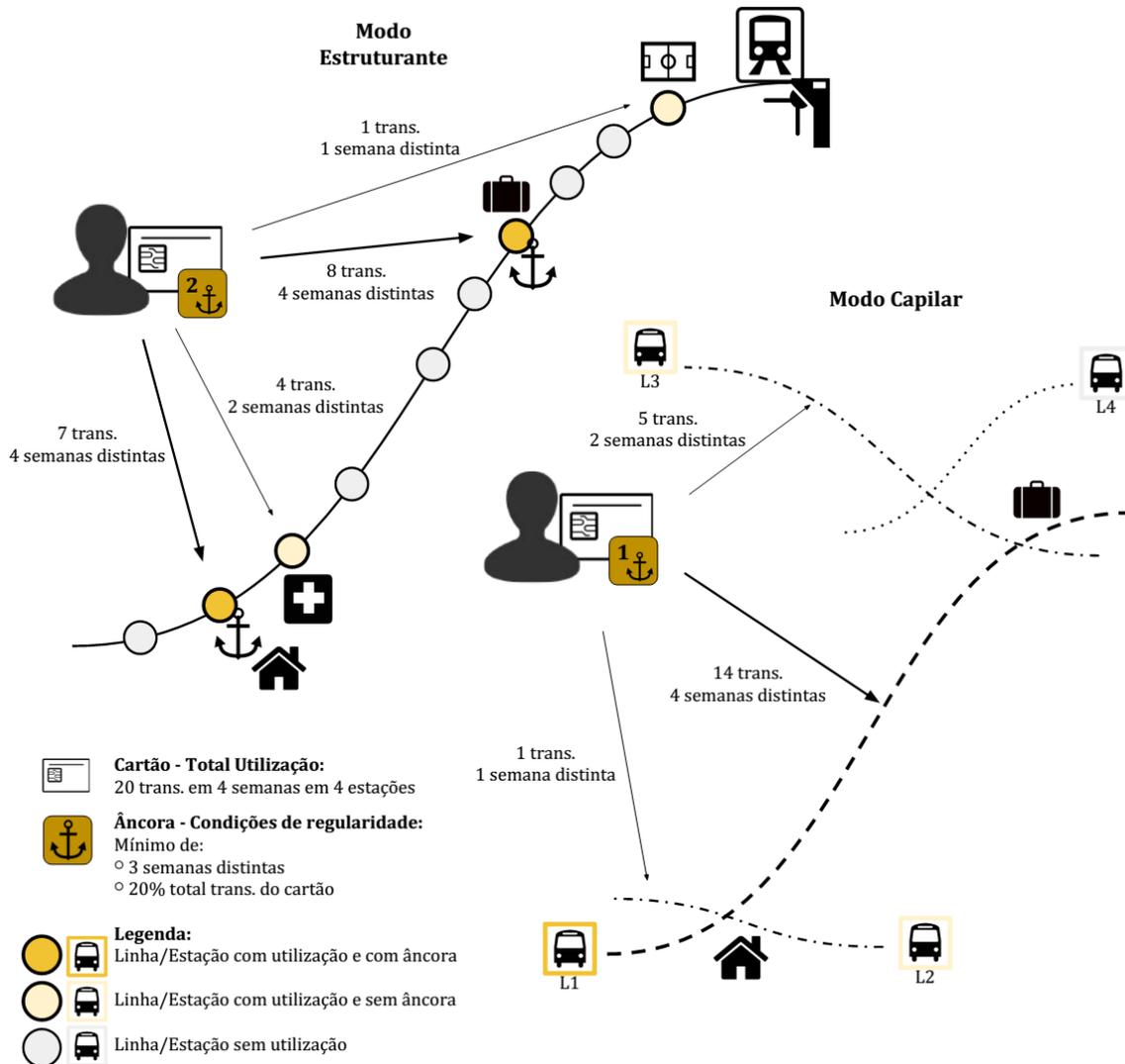


Figura III.3. Esquema de Lógica de Concessão de Âncora segundo Utilização de Linha/Estação
Fonte: Elaboração própria

⁵ Originalmente, Chu e Chapleau (2013) apontam como condição de regularidade a realização de ao menos 5 transações na linha ou estação l . Esta condição foi ligeiramente modificada para captar usuários que apresentaram regularidade ao longo da maior parte do período analisado.

As linhas que atingem estes limites são as linhas mais utilizadas por estes cartões, isto é, suas linhas âncora. Por derivação, uma transação ancorada é uma transação realizada por um cartão em uma de suas âncoras (CHU; CHAPLEAU, 2013). O processamento segue as seguintes etapas:

Na tabela de cartões (tabela *c*, Figura III.2):

1. Por *default*, todo cartão da base do SBE tem seu atributo de âncora marcado como zero ($c_qtd_ancora = 0$), indicando que o mesmo não apresenta regularidade;
2. São atualizadas as colunas $t_sist_periodo$ e $t_total_periodo$ na tabela de cartões, com, respectivamente, a quantidade de transações realizadas no subsistema analisado e no sistema como um todo;
3. São inseridos na tabela de par cartão-linha âncora (tabela *cla*) os pares cartão-linha que respeitam as condições de regularidade estipuladas. Esta tabela reúne, portanto, apenas os cartões que apresentam regularidade e suas respectivas linhas âncora;
4. A tabela de cartões é atualizada com base na tabela de pares cartão-linha âncora. Para todos os cartões são inseridas na coluna c_qtd_ancora as quantidades de âncoras detectadas. Esta tabela reúne, portanto, tanto os cartões com âncora, quanto aqueles sem âncora;

Na tabela de transações (tabela *t*, Figura III.2):

1. Por *default*, toda transação da base do SBE tem seu atributo de âncora marcado como zero ($t_ancora = 0$), indicando que a mesma não representa uma transação realizada por um cartão com regularidade em uma de suas linha-âncora;
2. A tabela de transações é atualizada com base na tabela de pares cartão-linha âncora. As transações realizadas pelos cartões com âncora em uma de suas linhas âncora têm seu atributo âncora marcado como positivo ($t_ancora = 1$).

Etapa 2. Análises de Padrões de Demanda com Ênfase na Regularidade

Uma vez detectadas os cartões que apresentam âncora e suas respectivas transações, são analisados o perfil de utilização dos cartões com regularidade (usuários regulares)

e sem regularidade (usuários esporádicos), sua distribuição temporal (ao longo dos dias analisados e ao longo de um mesmo dia) e sua distribuição espacial.

III.5 - Estimativa de Desembarque para Modos Estruturantes

No terceiro nível de caracterização da demanda a partir do SBE, é concebido um método de estimativa do local de desembarque das viagens realizadas em sistemas com estações de embarque dotadas de validadores (isto é, metrô, trem, BRT, barca, aqui denominados modos estruturantes), dando-se ênfase à análise da dimensão espaço. Embora em sistemas de transporte abertos os dados de local de embarque sejam automaticamente coletados, dados de desembarque não estão facilmente disponíveis. Estes dados são entrada básica na modelagem tático-operacional dos sistemas e são essenciais em processos de planejamento a longo prazo. Neste método, sugere-se que sejam estudadas as diferenças de sucesso de estimativa no caso de usuários que apresentam regularidade e aqueles que não a apresentam.

Objetivos da Estimativa de Desembarque

A estimativa de desembarque tem como objetivo entender os padrões de distribuição espacial das viagens (embarques e desembarques) em uma linha ou ramal de um modo estruturante em particular, buscando-se ressaltar as diferenças e semelhanças entre cartões com regularidade e sem regularidade.

Escopo de Dados Utilizados

Para esta análise sugere-se utilizar os dados de dias úteis do período que compreende as 4 semanas consecutivas que constituíram objeto de análise da etapa anterior. Esta gama de dados permite que as viagens cujo desembarque foi estimado possam ser analisadas do ponto vista da regularidade de seus usuários.

Definição do Método

Etapa 1. Montagem das Viagens a partir da Base de Transações

Para suceder ao processo de estimativa de desembarque, sugere-se em primeiro lugar montar uma base contendo as viagens completas realizadas no modo estruturante estudado (tabela v, Figura III.2). Esta base é criada a partir da base de transações. Para cada viagem (v), além da transação no modo estruturante (B), são armazenadas a transação imediatamente anterior (A) na mesma viagem e a transação imediatamente posterior (P), na mesma viagem ou em uma viagem distinta ulterior, conforme regras definidas a seguir e esquema representado na Figura III.4.

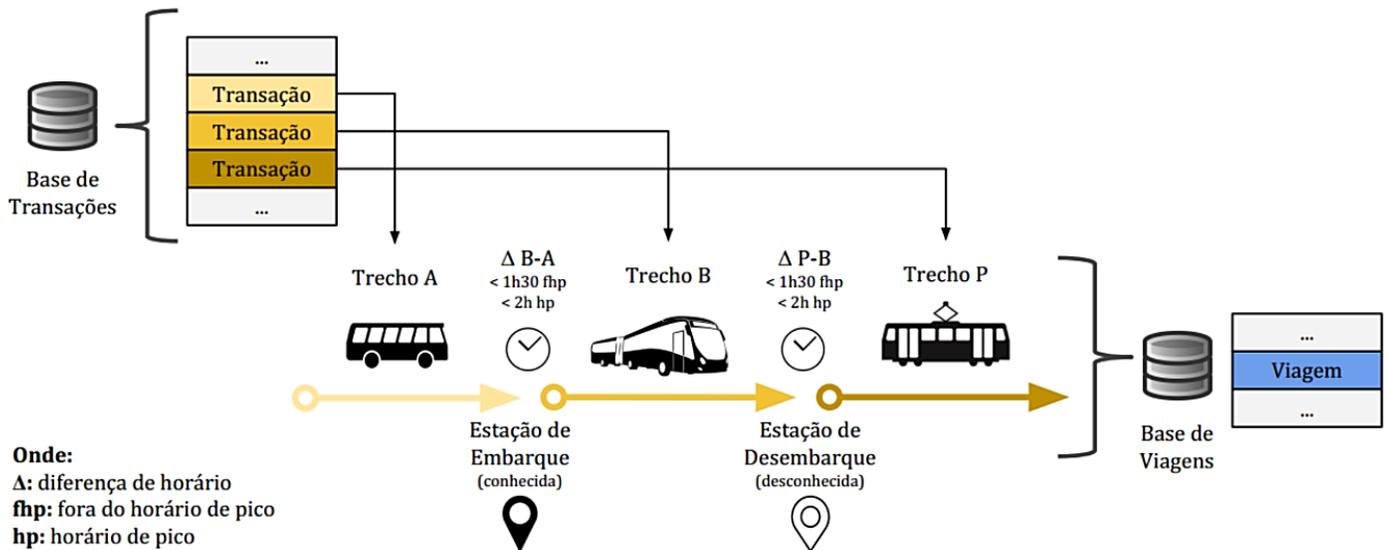


Figura III.4. Esquema de Montagem de Viagens a partir da Base de Transações
 Fonte: Elaboração própria

Para detectar se a transação anterior A ou posterior P faz de fato parte da mesma viagem em que o modo estruturante B foi utilizado, são adotados critérios de tempo, respeitando as seguintes condições:

- Deve ser estipulado um intervalo de tempo entre transações A-B ou B-P para caracterizar transferência. Recomenda-se que seja adotado um intervalo limite diferente entre o horário fora de pico e o horário de pico (ex: 1h30 entre transações em horários fora de pico, 2h no horário de pico), para reproduzir os maiores tempos de viagens típicos destes períodos. Intervalos altos podem ser

verossímeis no caso de grandes metrópoles. Porém, deve-se atentar ao fato de que estes grandes intervalos também podem indicar a realização de uma atividade e, por conseguinte, subdimensionar a quantidade de viagens sendo realizada no sistema;

- Deve ser adotado um intervalo máximo entre a transação anterior e a transação posterior (A-P) de uma mesma viagem. De forma simples, pode ser adotado um intervalo de duas vezes o intervalo limite para caracterizar transferência em horários fora de pico (ex: 3h, seguindo o intervalo definido acima). Caso o intervalo entre A-P ultrapasse esse intervalo (o que pode acontecer em viagens realizadas nos horários de pico), é adotado um critério de desmembramento de viagens muito longas. No horário da manhã, é conservado o trecho anterior ao modo estruturante, enquanto o trecho posterior é anulado. No horário de pico da tarde, é conservado o trecho posterior ao modo estruturante, enquanto o trecho anterior é anulado.

De forma complementar, caso a transação anterior ou transação posterior seja realizada no modo estruturante estudado, considera-se que se trata de um trecho de viagem distinta. Este critério está relacionado ao fato de sair e entrar em um mesmo sistema de transporte indicar a realização de uma atividade.

Para o processo de estimativa de desembarque, facilita que seja incluído no registro da viagem v , dados sobre o trecho posterior ao realizado no modo estruturante, ainda que não pertença à mesma viagem. Para tanto, são registrados dados sobre o trecho P, mas com indicativo de que se trata de trecho relativo a outra viagem (P_{PVG}) – no caso de trecho P de uma mesma viagem é também incluído um indicativo (P_{TRNSF}).

No registro da viagem v , para cada transação A-B-P são incluídos dados relativos a: data e horário da transação; número sequencial da transação; código da linha / estação utilizada; modo utilizado e vista da linha / nome da estação.

Complementarmente, para cada viagem v são incluídos o número do cartão, a data de sua realização e o número sequencial da viagem para o cartão nesta data (primeira viagem do dia, segunda viagem do dia, etc.). Uma vez definida a viagem, a tabela de viagens (tabela v) é preenchida de forma a conter dados conforme Tabela III.2.

Tabela III.2. Tabela de Viagens Montadas preenchida a partir de Base de Transações
Fonte: Elaboração própria

Cartão	Data	Viagem	Trecho A (Anterior)	Trecho B (Principal)	Tipo de Trecho P	Trecho P (Posterior)
cartão cx	2015-03-01	viagem 1	DADOS	DADOS	\N	\N
cartão cx	2015-03-01	viagem 2	\N	DADOS	TRNSF.	DADOS
cartão cx	2015-03-08	viagem 1	DADOS	DADOS	\N	\N
cartão cx	2015-03-15	viagem 1	\N	DADOS	PVG	DADOS
...
Onde: Dados registrados para cada Trecho: data-hora, número da transação, cd_linha, etc.						

A cada registro de transação no modo estruturante estudado corresponde um registro na tabela de viagens criada. O processo de estimativa se propõe a encontrar o desembarque para cada transação realizada no modo estruturante B. Ao final do processo, esta tabela facilita a prospecção de dados simples como a taxa de sucesso de estimativa. É importante perceber que este método de montagem contempla apenas viagens de 3 trechos, tendo o trecho no modo estruturante como central da viagem.

Etapa 2. Processo de Estimativa de Desembarque em Modo Estruturante

Para prosseguir à detecção da estação de desembarque no modo estruturante B são adotados os seguintes passos sequenciais a partir da base de viagens criada:

1. Caso haja trecho posterior P (na mesma viagem ou em viagem subsequente):
 - 1.1. Estimativa Direta (Figura III.5): Caso o modo de P seja o mesmo modo estruturante estudado (ex: BRT): é adotada como estação de desembarque a própria estação utilizada no trecho P, que neste caso é de uma viagem ulterior (P_{PVG});

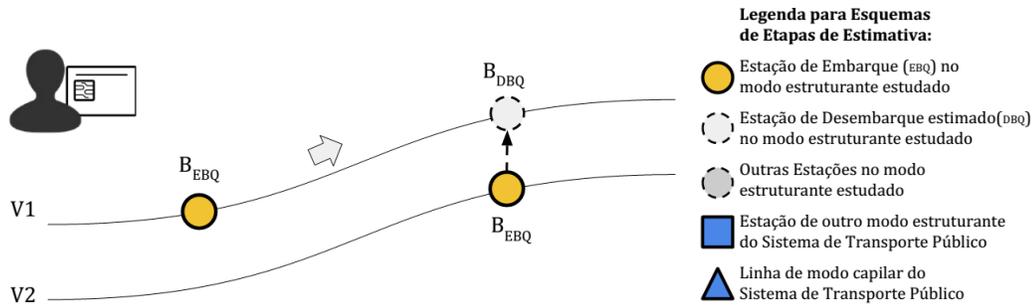


Figura III.5. Esquema de Etapa de Estimativa Direta
Fonte: Elaboração própria

1.2. Estimativa com base em trechos A/P espelhados (Figura III.6): Caso o modo de P seja distinto, é buscado se houve outras viagens, no mesmo dia, em que P tenha sido utilizado no trecho A. Neste caso são seguidos os passos:

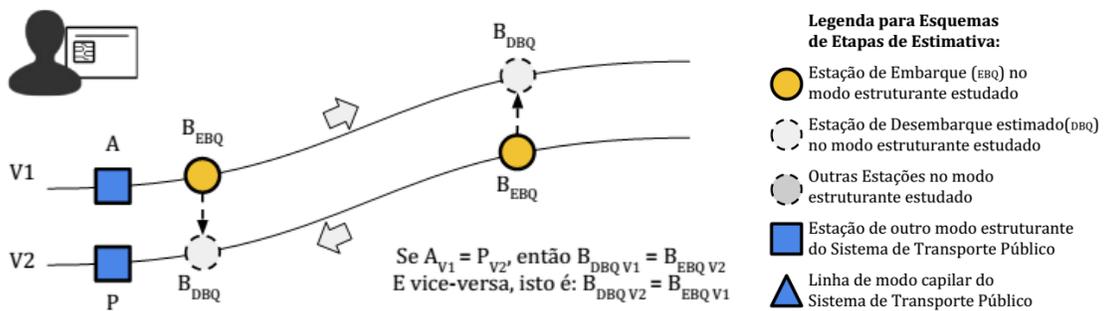


Figura III.6. Esquema de Etapa de Estimativa com base em Trechos Espelhados
Fonte: Elaboração própria

1.2.1. Caso P tenha sido realizado em modo estruturante (ex: trem ou metrô) e caso tenha havido outra viagem no mesmo dia em que o mesmo ramal deste modo tenha sido utilizado no trecho A (ex: mesma linha do Metrô), a estação de desembarque é estimada como a mesma estação de embarque B utilizada na viagem A-B;

1.2.2. Caso P tenha sido realizado em modo capilar (ex: ônibus ou van) e caso tenha havido outra viagem no mesmo dia em que a mesma linha tenha sido utilizada no trecho A, a estação de desembarque é estimada como a mesma estação de embarque B utilizada da viagem A-B.

1.3. Estimativa com base em proximidade: Caso não tenha havido viagens similares no mesmo dia com P utilizado em A, é buscado o desembarque com base em uma estimativa de proximidade. Neste caso são seguidos os passos:

1.3.1. Caso P tenha sido realizado em estação de modo estruturante (ex: trem ou metrô, Figura III.7), é buscado se há estações próximas às linhas do modo estruturante estudado. É adotado como estação de desembarque aquela que permite a menor distância de caminhada para a integração com o embarque na estação em que foi realizada a integração posterior;

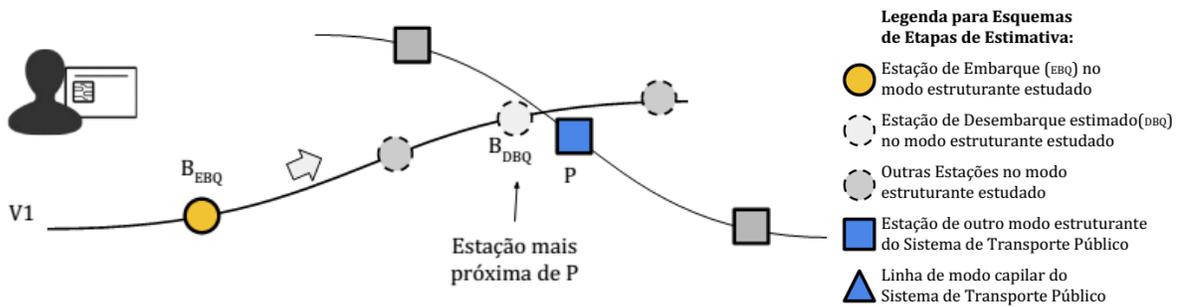


Figura III.7. Esquema de Etapa de Estimativa com base em Proximidade para Modos Estruturantes
 Fonte: Elaboração própria

1.3.2. Caso P tenha sido realizada em linha de modo capilar (ex: ônibus ou van, Figura III.8), deve-se atentar ao fato de que a linha pode passar por mais de uma estação do modo estruturante estudado, o que pode confundir as estimativas. É buscado a partir do SBE se há alguma estação do sistema estudado que tenha maior inter-relação com a linha P. Para tanto é utilizada uma tabela auxiliar, criada a partir da quantidade de transações realizadas para cada par A-B no período. Busca-se nesta tabela auxiliar os pares A-B em que A corresponda a linha P. Caso haja alguma estação B que tenha sido utilizada em mais de 50% dos casos em que A foi utilizado, esta estação é considerada a estação de desembarque. Só são consideradas estações em que o par A-B ocorreu mais de 5 vezes ao dia, para evitar casos de linhas pouco utilizadas.

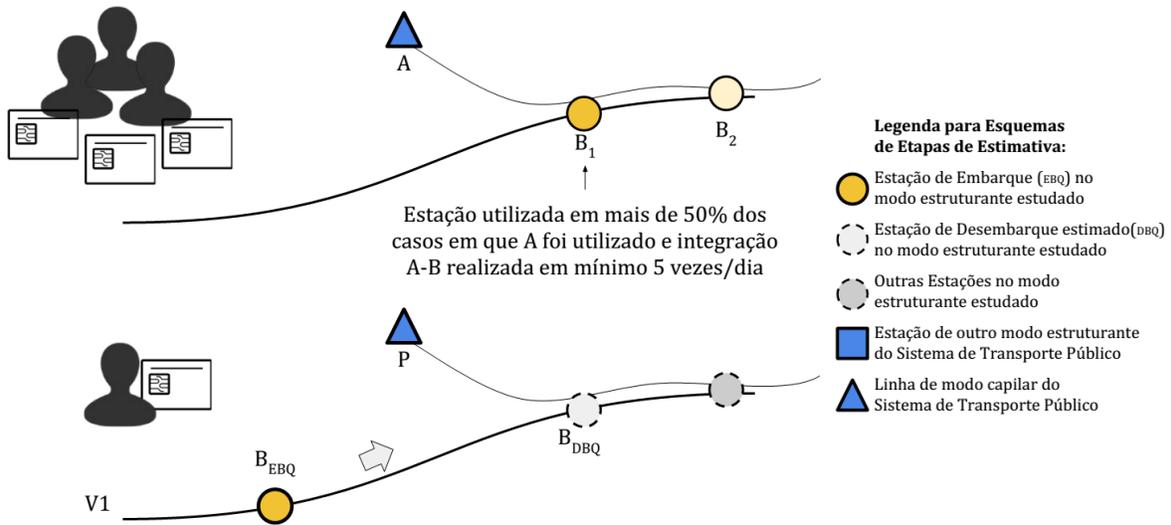


Figura III.8. Esquema de Etapa de Estimativa com base em Proximidade para Modos Capilares
 Fonte: Elaboração própria

2. Caso não haja trecho posterior P encontrado:

2.1. Estimativa com base em trechos A/P espelhados: É buscado se houve outras viagens, no mesmo dia, em que A tenha sido utilizado no trecho P. Neste caso são seguidos os passos similares à etapa 1.2:

2.1.1. Caso A tenha sido realizado em modo estruturante (ex: trem ou metrô) e caso tenha havido outra viagem no mesmo dia em que o mesmo ramal deste modo tenha sido utilizado no trecho P (ex: mesma linha do Metrô), a estação de desembarque é estimada como a mesma estação de embarque B utilizada na viagem B-P;

2.1.2. Caso A tenha sido realizado em modo capilar (ex: ônibus ou van) e caso tenha havido outra viagem no mesmo dia em que a mesma linha tenha sido utilizada no trecho P, a estação de desembarque é estimada como a mesma estação de embarque B utilizada da viagem B-P.

2.2. Primeiro Embarque: Para a última transação do dia, busca-se o primeiro embarque realizado pelo usuário no dia no sistema de BRT. Esta estação é designada como desembarque nesta viagem.

A Figura III.9 apresenta fluxograma com as etapas detalhadas para o caso de estimativa de desembarque em um sistema de BRT. Ao final destas etapas, para cada linha da tabela de viagens, há uma estação de embarque e, caso tenha sido encontrada com sucesso, uma estação de desembarque no modo estruturante estudado.

Etapa 3. Análises de Estimativa de Desembarque com Ênfase na Regularidade

Em primeiro lugar, é importante que sejam analisadas as taxas de sucesso de estimativa para cada etapa do método. Considerando as viagens cujo desembarque foi estimado com sucesso, pode-se analisar não só a distribuição espacial das mesmas, como os padrões de integração modal (trechos anterior e posterior da mesma viagem). Visando enfatizar a regularidade deve-se investigar também se o percentual de sucesso de estimativa é maior para os usuários regulares ou para os usuários esporádicos.

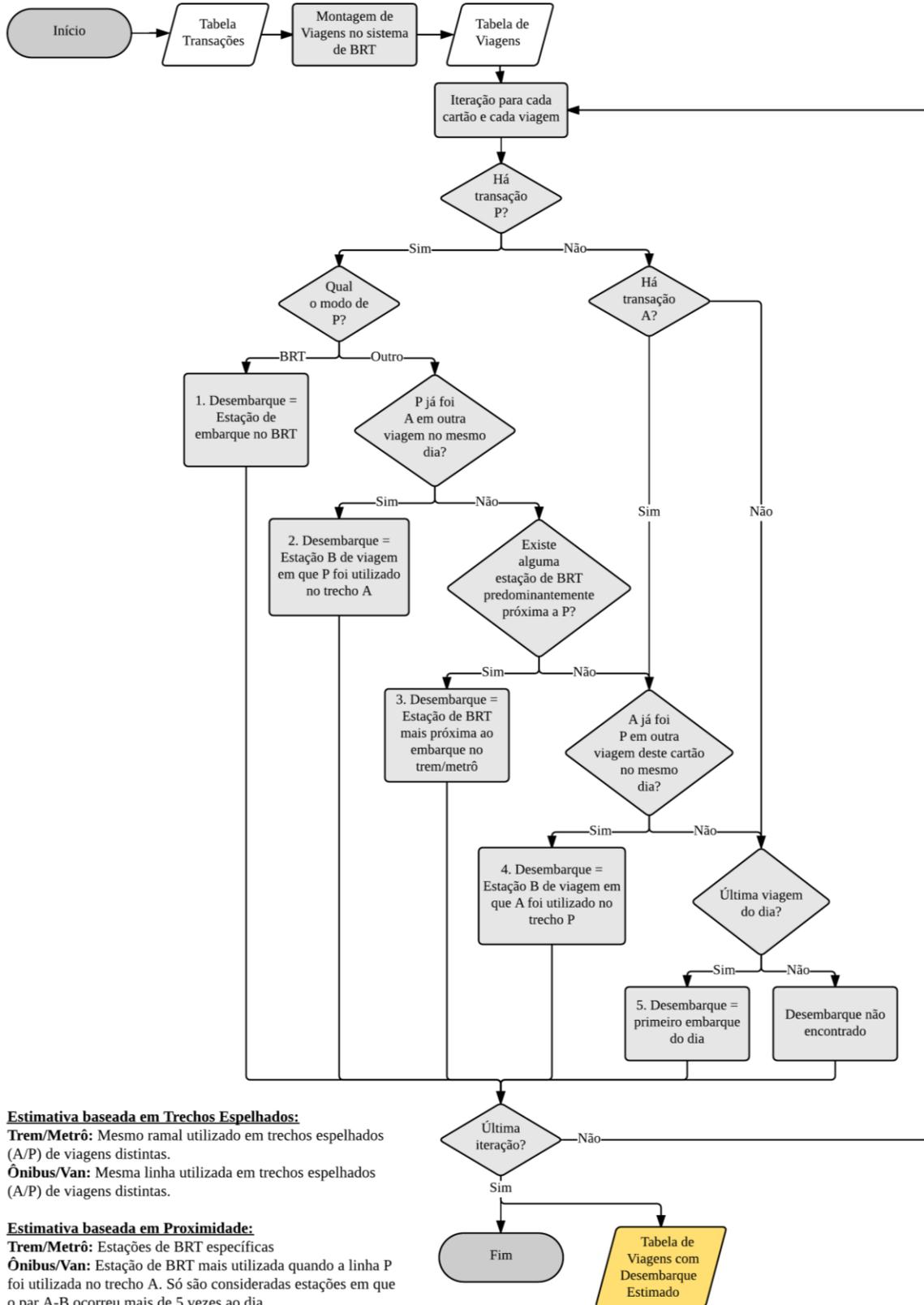


Figura III.9. Fluxograma de Estimativa de Desembarque em Modo Estruturante

Fonte: Elaboração própria

III.6 - Considerações Finais do Capítulo

Neste Capítulo foi desenvolvida uma metodologia que, a partir de três métodos de análise, tem por objetivo evidenciar o potencial de SBE para auxiliar na caracterização da demanda de sistemas de transporte. Os três métodos definidos, com grau de complexidade crescente, são:

1. Método de Análise de Série Temporal da demanda, que permite a observação ao longo do tempo de sua evolução em uma escala agregada;
2. Método de Análise de Padrões de Regularidade da demanda, que permite, a partir do conceito de âncora desenvolvido por CHU E CHAPLEAU (2013), a sintetização do comportamento individual observado ao longo de uma janela multidiária para a detecção de usuários regulares;
3. Método de Estimativa de Desembarque, que permite inferir o lugar de desembarque de cada transação realizada em um sistema dotado de estações com validadores. Este método se utiliza ainda da análise de padrões de regularidade, resultado da segunda etapa da metodologia, para verificar as diferenças de estimativa entre usuários regulares e esporádicos.

A metodologia proposta apresenta algumas limitações, que podem ser aprofundadas em trabalhos futuros. No caso da análise de regularidade, o conceito de âncora, apesar de relativamente simples, não permite evidenciar as diferenças que existem dentro do grupo de usuários regulares. Para isto, seria possível recorrer por exemplo a um método de clusterização, utilizando outras variáveis para caracterizar a regularidade, como a sequência de atividades, análise realizada por GOULET-LANGLOIS (2015). No método de estimativa de desembarque, só são considerados parâmetros temporais para a caracterização de transferências. Trabalhos como o de MUNIZAGA E PALMA (2012) e GORDON (2012) adotam complementarmente parâmetros espaciais, que demandariam a utilização de Sistemas de Informação Geográfica – SIG e álgebra geométrica em plataforma que não um Banco de Dados (C++ ou Java, por exemplo).

Vale ainda assim ressaltar que o método de estimativa de embarque concebido nesta metodologia apresenta duas relevantes contribuições. Embora a maioria dos autores analisados na literatura utilize dados de localização veicular (AVL) para definir o local de desembarque de viagens em sistemas estruturantes que tiveram seu trecho posterior realizado em modo capilar, sua disponibilidade pode não ser a realidade de todas as cidades em que os SBE estão disponíveis. O algoritmo aqui proposto é baseado exclusivamente em dados de SBE e pode ser utilizado nestes casos. Ademais, o método agrega à análise da taxa de sucesso de estimativa de desembarque a verificação da regularidade dos usuários, estabelecendo relação entre as dimensões comportamento e espaço, tema ainda não abordado pelos autores estudados. A metodologia aqui proposta é aplicada a seguir, de forma a ilustrar as análises propostas, embora, como se verá, não tenham sido empreendidas etapas de validação dos resultados encontrados.

CAPÍTULO IV - APLICAÇÃO METODOLÓGICA

IV.1 - Introdução

Neste Capítulo, a metodologia proposta é testada para caracterizar a demanda do sistema de BRTs em operação na cidade do Rio de Janeiro, em especial do recém-implantado BRT TransCarioca. A aplicação utiliza os dados brutos do Sistema de Bilhetagem Eletrônica do programa de Bilhete Único da Região Metropolitana do Rio de Janeiro – BURMRJ de subsídio ao transporte de passageiros. É importante frisar que estes dados estavam disponíveis para análise como parte de laboratório do Programa de Engenharia de Transportes da COPPE. Estes dados, como se verá a seguir, não incluem todas as transações realizadas no BRT ou todos os embarques neste sistema.

Inicialmente, é apresentado o escopo do caso analisado. Nas três seções seguintes, são apresentados os resultados da aplicação metodológica. A última seção finaliza com as limitações encontradas e considerações gerais sobre a metodologia e o caso estudado.

IV.2 - Escopo do Caso

Para contextualizar e limitar o escopo da aplicação metodológica realizada, nesta seção são apresentados o programa BURMRJ de subsídio tarifário da RMRJ, o Sistema de Bilhetagem Eletrônica empregado e a localização do sistema de BRT na rede de transportes da RMRJ.

IV.2.1 - Programa BURMRJ de Subsídio Tarifário

Embora a utilização de dados de Sistema de Bilhetagem Eletrônica seja o ponto de partida das análises empreendidas, é essencial compreender que por trás das viagens, há um programa de subsídio tarifário que impacta diretamente nos custos das mesmas para os usuários, indiretamente no acesso a oportunidades urbanas (MIHESSEN, 2013; NERI, 2010) e por consequência nos padrões de utilização da rede de transportes.

Bilhete Único da Região Metropolitana do Rio de Janeiro – BURMRJ é como se convencionou chamar nesta pesquisa o rol de políticas de subsídio tarifário ao transporte público de passageiros instituído no âmbito da RMRJ⁶ pelo Governo do Estado do Rio de Janeiro, que inclui, à época de realização desta pesquisa, os seguintes benefícios aos usuários cadastrados no programa: Bilhete Único Intermunicipal – BUI⁷; Tarifa Social Aquaviária – TSA; e Tarifa Social Metro-Ferrovária – TSMF.

O BURMRJ é um programa de repasse de subsídio diretamente a usuários, que no ano de 2014, representou cerca de 550 milhões de reais para o Estado do Rio de Janeiro (SEPLAG-RJ; PWC, 2014), isto é, 0,72% do seu orçamento anual (SEPLAG-RJ, 2013). Segundo o Plano Diretor de Transportes Urbanos da RMRJ (SETRANS-RJ, 2013b), as parcelas de menor renda da população (menos de 2 salários mínimos) são aquelas que mais utilizam o transporte público na RMRJ. Isto é particularmente verdade para ônibus intermunicipais e trens, diretamente subsidiados pelo programa, em que os usuários de baixa renda chegam a quase 80% do total de usuários. Estes dados indicam que os benefícios do BURMRJ podem contribuir para tornar o transporte público na RMRJ mais equitativo, ou seja, com custos menores para as parcelas mais carentes da população. A vinculação ao programa BURMRJ, no entanto, não está atrelado à renda do usuário. De fato, qualquer cidadão pode se inscrever e desfrutar do benefício. Ressalta-se que para garantir tal distribuição progressiva dos benefícios, o programa deveria exigir como condição de vínculo a comprovação da renda (SEREBRISKY et al., 2009), por meio, por exemplo, do Cadastro Único, já empregado no processo de distribuição do programa Bolsa Família.

⁶ Os vinte municípios abrangidos pelo programa são aqueles que compunham a RMRJ quando da instituição da lei, conforme detalhado no Anexo I. Apesar de a configuração político-administrativa da RMRJ ter se alterado desde então, os municípios atendidos permaneceram os mesmos.

⁷ Os modos considerados para efeito do Bilhete Único Intermunicipal, quando houver viagem de caráter intermunicipal, são: ônibus convencionais intermunicipais e municipais, vans intermunicipais, trens, barcas e metrô (conforme detalhado no Anexo II)

IV.2.2 - O SBE do Programa BURMRJ

Para viabilização dos repasses de subsídios aos usuários, foi adotada como solução técnica a utilização do Sistema de Bilhetagem Eletrônica, obrigatório no Estado do Rio de Janeiro desde 2011⁸.

Diversos outros sistemas de transporte metropolitanos do mundo se utilizam de SBE para promover políticas tarifárias como: integração entre modos (Nova Iorque, EUA; e Seul, Coreia do Sul); bônus em recargas e desconto de 10% na passagem em relação ao bilhete comprado em dinheiro (Nova Iorque e Washington, EUA; e Hong Kong, China) e cobrança tarifária conforme distância percorrida (Seul, Coréia do Sul; Paris, França; e Holanda) (PELLETIER; TRÉPANIER; MORENCY, 2011).

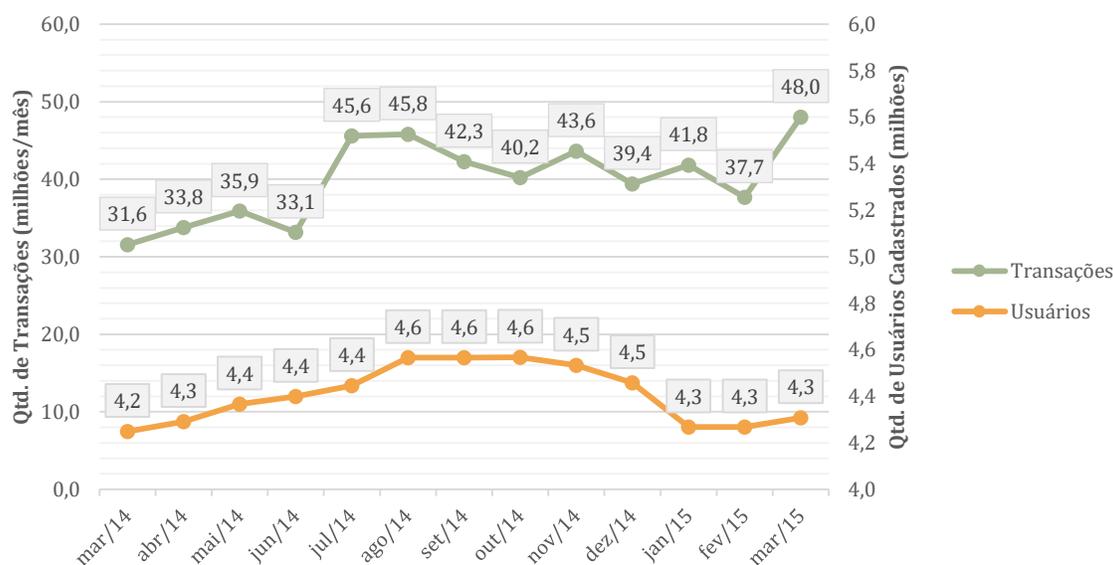
Para estar habilitado a receber o benefício tarifário do BURMRJ, o usuário deve vincular o cartão eletrônico a seu CPF. É importante perceber que, devido à estrutura tarifária e o arranjo institucional do BURMRJ, os dados do SBE analisados só incluem transações de viagens que tiveram algum trecho com benefício (Bilhete Único Intermunicipal ou Tarifa Social). Transações de viagens em que não houve subsídio não fazem parte do SBE analisado, mesmo que tenham sido realizadas por cartões habilitados a receber os benefícios. Isto é, foi disponibilizada para este trabalho apenas parte de todas transações realizadas no sistema de transporte público. A parte do SBE aqui analisada é denominada doravante SBE-BURMRJ.

Foram realizadas no SBE-BURMRJ, no período de um ano, de março de 2014 a fevereiro de 2015, mais de 470,8 milhões de transações, tendo no mês de março de 2015, analisado em maior profundidade a seguir, sido registradas quase 48,0 milhões de transações (Gráfico IV.1). Até o fim deste mês, havia 4,3 milhões de usuários cadastrados no programa, isto é, aproximadamente 36% da população da RMRJ (IBGE, 2014), ainda que nem todos os usuários cadastrados realizem mensalmente transações no sistema de transporte público.

⁸ Obrigatório desde a instituição da Lei Estadual nº 4.291/2011.

Gráfico IV.1. Quantidade de Transações e Usuários compondo o SBE-BURMRJ

Fonte: Elaboração própria. Dados: SBE-BURMRJ



Estavam registradas no SBE-BURMRJ aproximadamente 535 linhas de ônibus intermunicipais, 408 operadores de 62 linhas de vans intermunicipais, 1001 linhas de ônibus municipais, 102 estações de trens, 36 estações de metrô, 3 estações de barcas e 103 estações de BRT. Para as análises empreendidas neste Capítulo, utilizou-se um computador Intel Core i7-4790, 3.60 GHz com 8,00 GB de RAM. Os dados foram armazenados em um banco de dados MySQL, no formato apresentado na metodologia, isto é, tabela de cartões, de linhas e de transações. A base de dados e consultas SQL utilizadas se encontram disponíveis no repositório *on-line*: github.com/gabrieltoliveira.

IV.2.3 - O Sistema de BRTs no Sistema de Transportes da RMRJ

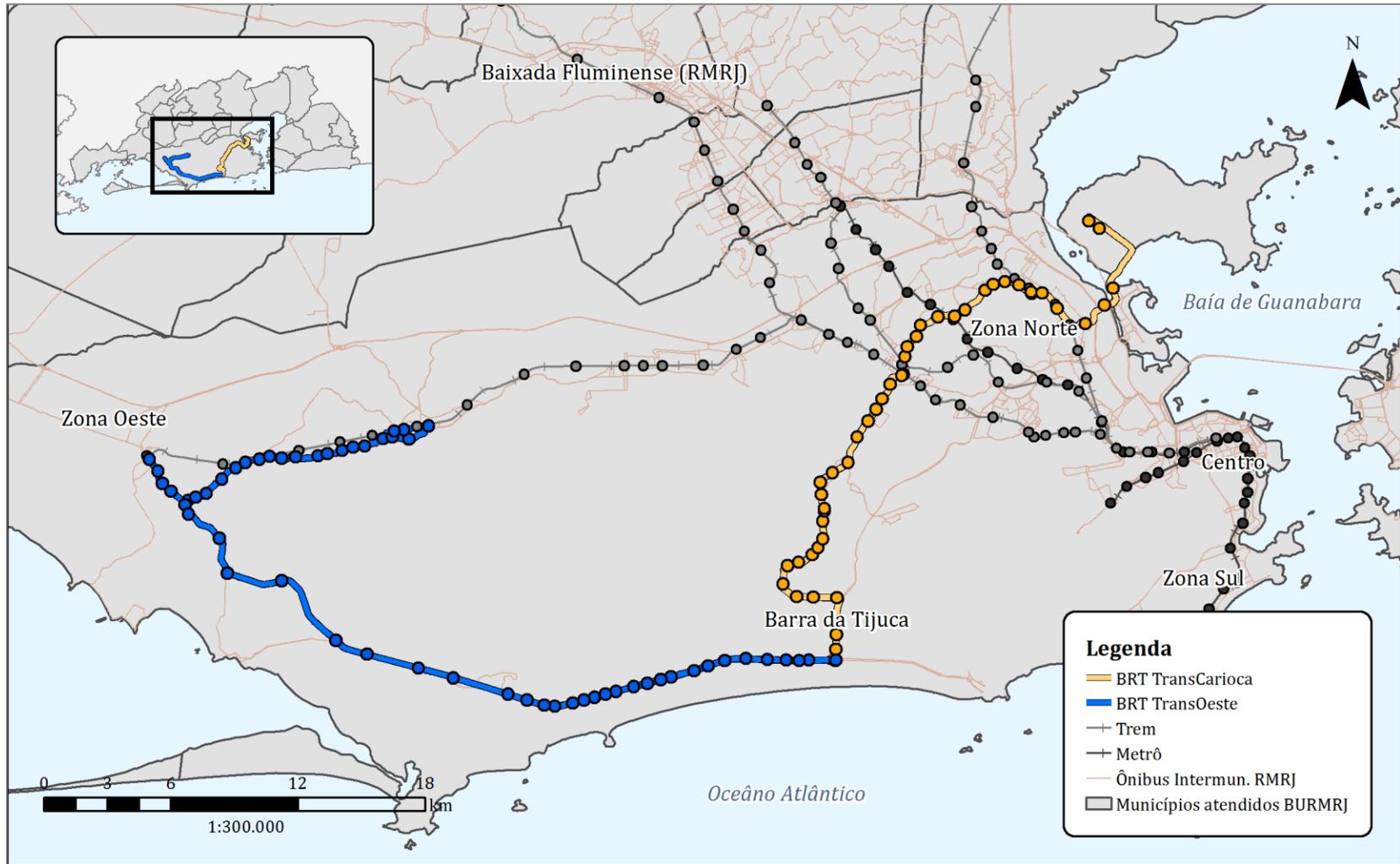
O sistema de BRTs estudado é o sistema atualmente em operação na cidade do Rio de Janeiro, composto pelos corredores a seguir. O contexto de integração com modos de abrangência metropolitana é destacado, por estar diretamente relacionado com os dados do SBE.

- **BRT TransOeste:** Corredor inaugurado em 2012, que conecta a extrema Zona Oeste (Campo Grande e Santa Cruz) do Rio de Janeiro, predominantemente residencial, com o principal terminal de transporte coletivo da região da Barra da Tijuca (Terminal Alvorada). Este corredor possui atualmente 56 km e 56 estações em operação e tem proximidade com um ramal de trem (estação Santa Cruz e Campo Grande) e com linhas de ônibus e vans intermunicipais;
- **BRT TransCarioca:** corredor inaugurado em junho de 2014, que conecta o Aeroporto do Galeão à Zona Norte e à Barra da Tijuca (Terminal Alvorada), constituindo a primeira ligação transversal da rede de transporte público já existente na cidade. Este corredor, de 39 km e 47 estações, possui proximidade com três ramais de trem (estações de Madureira, Mercadão de Madureira, Penha e Olaria), com um ramal do metrô (estação de Vicente de Carvalho) e com linhas de ônibus e vans intermunicipais.

Para confecção de mapas representando o sistema de transportes e os limites administrativos vigentes, foram utilizados os dados georreferenciados listados abaixo:

- Posição georreferenciada das estações de BRT obtidas junto à Secretaria Municipal de Transportes do Rio de Janeiro – SMTR-RJ;
- Traçado e posição georreferenciada das estações de trem e metrô da RMRJ e traçado georreferenciado das linhas intermunicipais de ônibus da RMRJ obtidos no Programa de Engenharia de Transportes – PET-COPPE/UFRJ;

Os dados foram tratados utilizando o *Datum* SIRGAS 2000, com fuso 23S. O Terminal Alvorada é o terminal de integração dos corredores. No Mapa IV.1 a seguir se encontram os corredores de BRT estudados, as cidades que compõem a RMRJ atendidas pelo programa de BURMRJ, os ramais de trem e metrô e as linhas de ônibus intermunicipais.



Mapa IV.1. Inserção do sistema de BRTs TransOeste e TransCarioca no âmbito da RMRJ
Fonte: Elaboração própria. Dados: SMTR-RJ e PET-COPPE-UFRJ

IV.3 - Aplicação de Análise de Série Temporal

Essa seção investiga a evolução da demanda do sistema de BRTs, 3 meses antes e 9 após a inauguração do BRT TransCarioca, em junho de 2014. Para esta análise foi utilizada uma tabela linha-data-quantidade já existente no SBE-BURMRJ original que reúne a quantidade de transações por dia em cada linha.

IV.3.1 - Dados Analisados

Foram analisados os dados do SBE-BURMRJ de 1º de março de 2014 a 31 de março de 2015. A Tabela IV.1 apresenta a quantidade de dados explorada:

Tabela IV.1. Sumário de Dados Pesquisados para a Análise de Série Temporal

Fonte: Elaboração própria. Dados: SBE-BURMRJ

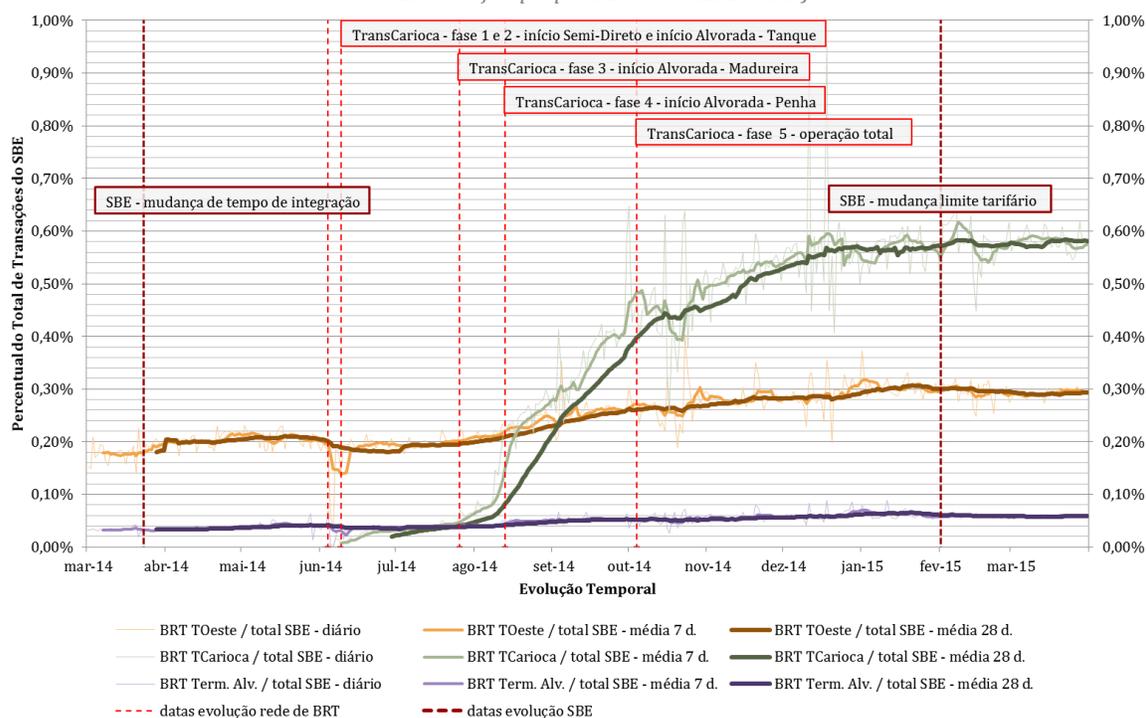
Sistema Analisado		Transações	Dias Analisados	Transações/Dia
SBE-BURMRJ	Total	518.882.046	396	1.305.815
	Total	2.938.072	396	7.419
Sistema de BRT	TransCarioca	1.649.933	303	5.445
	TransOeste	1.288.139	396	3.253

IV.3.2 - Evolução da Demanda de BRTs para usuários BURMRJ

No Gráfico IV.2 foram plotadas a participação dos corredores de BRT TransCarioca e TransOeste no total de transações do SBE-BURMRJ e suas médias móveis de 7 e 28 dias. Foi plotada também a participação no Terminal Alvorada, onde é realizada a integração entre os dois corredores. Para melhor contextualizar a evolução investigada, foram inseridas: (i) marcações em vermelho claro nas datas de inauguração das fases operacionais do BRT TransCarioca; e (ii) marcações em vermelho escuro nas datas de alteração da estrutura tarifária, em que houve aumento do tempo permitido para efeito de integração e do valor limite da tarifa para acesso ao benefício.

Gráfico IV.2. Evolução Temporal da Demanda do Sistema de BRTs

Fonte: Elaboração própria. Dados: SBE-BURMRJ



As importantes variações existentes na escala diária são atenuadas quando se utiliza a média móvel, o que permite observar mais claramente tendências. É possível detectar que a medida que alguns trechos e serviços são inaugurados, há impacto direto na participação do BRT TransCarioca no total de transações BURMRJ. Esta participação parece se estabilizar a partir de meados de dezembro, atingindo uma média de 0,58%.

A participação do BRT TransOeste também evoluiu, passando de 0,20% para 0,30%. Parte deste incremento de 0,10 pp pode estar associado ao fato do terminal Alvorada estar indexado no SBE-BURMRJ como do corredor TransOeste, embora os serviços do TransCarioca partam desta estação. De fato, a participação do Terminal Alvorada evoluiu 0,02 pp, passando de 0,04% para 0,06%, provavelmente devido aos embarques dos passageiros do BRT TransCarioca. Porém, houve um impacto positivo da ordem de 0,08 pp na participação do BRT TransOeste a partir da inauguração do BRT TransCarioca. Este incremento dá indícios da influência indireta desta inauguração na demanda do sistema de BRTs.

Sem uma análise mais elaborada, não é possível observar o impacto indireto de mudanças na estrutura do SBE-BURMRJ na participação dos corredores de BRT. É possível que tais modificações impactem de uma forma homogênea todo o sistema de transporte público, não sendo possível observar sua influência na variável estudada (proporção de transações em uma estação em relação ao total do SBE-BURMRJ).

IV.4 - Aplicação de Análise de Padrões de Regularidade

Esta seção investiga os padrões de regularidade em termos de utilização da rede de BRTs dos usuários do BURMRJ. Busca-se evidenciar as diferenças de padrão existentes entre os usuários considerados regulares e aqueles considerados esporádicos.

IV.4.1 - Dados Analisados

Para esta análise foram utilizados os dados de transação de 28 dias corridos (4 semanas), do dia 1 (domingo) ao 28 (sábado) de março de 2015. Neste período não houve feriados, tendo-se assim 20 dias úteis e 8 dias de fim de semana (4 sábados e 4 domingos). Duas bases principais de transações foram utilizadas: a primeira, contendo apenas as transações dentro do sistema de BRT, incluindo ambos os corredores (TransCarioca e TransOeste); e a segunda, contendo todas as transações realizadas no sistema de transporte público no dia em que os cartões utilizaram o sistema de BRTs. A Tabela IV.2 sumariza a quantidade geral de dados analisada.

Tabela IV.2. Sumário de Dados Pesquisados para Análise de Padrões de Regularidade

Fonte: Elaboração própria. Dados: SBE-BURMRJ

Sistema Analisado		Transações	Transações/ Dia	Usuários Distintos	Transações/ Usuário	Transações/ Usuário/Dia
SBE-BURMRJ	Total	43.186.632	1.542.380	1.707.195	25,30	0,90
	Total	372.573	13.306	80.011	4,66	0,17
BRT	TransCarioca	248.624	8.879	56.664	4,39	0,16
	TransOeste	123.949	4.427	30.039	4,13	0,15
BRT + Outros	Total	1.004.121	35.861	80.011	12,55	0,45
Apenas Outros	Total	631.548	22.555	80.011	7,89	0,28

Houve, no período analisado, mais de 372 mil transações BURMRJ no sistema de BRT. Segundo dados da SMTR-RJ, no período, foram realizados mais de 8.880 mil embarques no sistema – considerando embarques de usuários BURMRJ e de usuários de outros produtos tarifários (outros tipos de bilhetes, tais como bilhete unitário, exclusivamente municipal, entre outros). Neste contexto, as transações BURMRJ correspondem a apenas 4,2% do total de embarques no sistema de BRT. Ainda assim, em termos absolutos, a quantidade de transações BURMRJ analisada é alta se comparada à quantidade média de entrevistas realizadas caso houvesse levantamento em campo.

Pouco mais de 80 mil usuários BURMRJ utilizaram o sistema, dos quais 56.664 (71%) realizaram transação no BRT TransCarioca e 30.039 (37%) no BRT TransOeste. A taxa diária de realização de transação por cartão no sistema de BRT é baixa (0,17 trans./cartão/dia, contra 0,90 para o universo de usuários do SBE), indicando que grande parte o utiliza de forma esporádica. Tal taxa varia pouco segundo o corredor analisado, o que indica pouca diferença de uso entre os dois corredores, fato que é explorado mais profundamente a seguir. A quantidade de transações realizadas pelos usuários BURMRJ fora do sistema de BRT (631.548 transações) corresponde a um universo quase duas vezes superior à quantidade registrada no sistema de BRT, o que indica a importância dos outros modos e da integração modal nas viagens investigadas.

IV.4.2 - Detecção de Usuários Regulares

Para distinguir os usuários regulares daqueles esporádicos foi utilizado o conceito de âncora definido por CHU E CHAPLEAU (2013) e explicado em detalhes na metodologia. Para aplicação da âncora foi utilizada base constituída apenas pelas transações do sistema de BRT, visto que se busca entender a regularidade dos usuários no mesmo. A seguir (Tabela IV.3) são apresentadas a quantidade de pares cartão-estação em função das condições de regularidade analisadas, a saber: [A] a quantidade de semanas distintas em que foi realizada transação na estação *e* para o cartão *c*; [B] o percentual de transações na estação *e* em relação ao total de transações no sistema de BRT para o

cartão *c*. Foram detectados 131.480 pares cartão-estação, dos quais 22.671 (18,3%) seguem a regra de âncora aplicada.

Tabela IV.3. Quantidade de Pares Cartão-Estação (C-E) respeitando Condições de Regularidade [A] e [B]

Fonte: Elaboração própria. Dados: SBE-BURMRJ

[B] Percentual (p) de transações na estação e em relação ao total de transações no BRT para cartão <i>c</i>	[A] Quantidade de semanas distintas em que houve transação na estação e para cartão <i>c</i>									
	Quantidade Absoluta					Quantidade Percentual				
	1	2	3	4	Total	1	2	3	4	Total
p < 10%	9.155	843	88	3	10.089	7,0%	0,6%	0,1%	0,0%	7,7%
10% ≤ p < 20%	7.153	2.645	873	200	10.871	5,4%	2,0%	0,7%	0,2%	8,3%
20% ≤ p < 30%	6.757	2.337	1.335	662	11.091	5,1%	1,8%	1,0%	0,5%	8,4%
30% ≤ p < 40%	6.279	1.612	1.419	1.320	10.630	4,8%	1,2%	1,1%	1,0%	8,1%
40% ≤ p < 50%	633	1.631	1.275	2.201	5.740	0,5%	1,2%	1,0%	1,7%	4,4%
p ≥ 50%	56.304	11.424	6.590	8.741	83.059	42,8%	8,7%	5,0%	6,6%	63,2%
Total de Pares C-E	86.281	20.492	11.580	13.127	131.480	65,6%	15,6%	8,8%	10,0%	100,0%
Total de Pares C-E respeitando condições de âncora					22.671					18,3%

Os pares de cartão-estação que respeitam as condições de âncora são então utilizados para apontar a quantidade de âncoras por cartão e as transações ancoradas. A Tabela IV.4 reúne a quantidade de cartões distintos, de transações e de transações ancoradas realizadas de acordo com a quantidade de âncoras por cartão.

Tabela IV.4. Cartões, Transações e Transações Ancoradas por Grupo de Cartões

Fonte: Elaboração própria. Dados: SBE-BURMRJ

Grupo de Cartões com Quantidade de Âncoras por Cartão	Quantidade de Cartões [A]	Percentual do Total de Cartões [A/Ar]	Quantidade de Transações [B]	Percentual do Total de Transações [B/Br]	Quantidade de Transações Ancoradas [C]	Percentual do Total de Transações do Grupo de Cartões [C/B]	Transações por Usuário por Dia [B/A/28 d.]
0 (1 trans.) *	36.976	46%	36.976	10%	0	0%	0,04
0	62.273	78%	124.314	33%	0	0%	0,07
1	12.351	15%	128.065	34%	102.604	80%	0,37
2	4.973	6%	109.191	29%	96.513	88%	0,78
3	410	1%	10.892	3%	10.083	93%	0,95
4	4	0%	111	0%	109	98%	0,99
Total (T)	80.011	100%	372.573	100%	209.309	56%	0,17
Total para Cart. com Âncora	17.738	22%	248.259	67%	209.309	84%	0,50

Onde: * cartões sem âncora que realizaram apenas 1 transação no período analisado.

Nota-se que embora os cartões com âncora representem apenas 22% do total de cartões BURMRJ do sistema, eles realizaram 67% do total de transações no período. Das

transações realizadas pelos cartões com âncora, 84% se refere a transações ancoradas, indicando que os usuários regulares utilizam com alta recorrência suas estações âncora. No geral, as transações ancoradas correspondem a 56% do total de transações BURMRJ realizadas no sistema de BRTs. Como esperado a quantidade de transações realizada por cartão por dia cresce com o número de âncoras por cartão: cartões com 3 ou 4 âncoras atingem uma taxa similar àquela observada no SBE-BURMRJ como um todo (0,90 trans./cartão/dia). Cartões com âncora têm taxa de utilização (0,50 trans./cartão/dia) sete vezes superior à taxa de cartões sem âncora (0,07 trans./cartão/dia). Por fim, é importante perceber que quase metade (46%) dos cartões realizaram apenas 1 transação no sistema durante o período analisado. A Tabela IV.5 indica distribuição semelhante para os dois corredores de BRT estudados.

Tabela IV.5. Cartões, Transações e Transações Ancoradas por Grupo de Cartões e por Corredor de BRT
Fonte: Elaboração própria. Dados: SBE-BURMRJ

Grupo de Cartões com Quantidade de Âncoras por Cartão	Quantidade de Cartões [A]	Percentual do Total de Cartões [A/Ar]	Quantidade de Transações [B]	Percentual do Total de Transações [B/B _T]	Quantidade de Transações Ancoradas [C]	Percentual do Total de Transações do Grupo de Cartões [C/B]	Transações por Usuário por Dia [B/A/28 d.]
BRT TransCarioca							
0 (1 trans.) *	25.061	44%	25.061	10%	0	0%	0,04
0	43.436	77%	81.923	33%	0	0%	0,07
1	9.130	16%	89.144	36%	73.503	82%	0,35
2	3.782	7%	71.773	29%	64.453	90%	0,68
3	313	1%	5.739	2%	5.301	92%	0,65
4	3	0%	45	0%	43	96%	0,54
Total (τ)	56.664	100%	248.624	100%	143.300	58%	0,16
Total para Cart. com Âncora	13.228	23%	166.701	67%	143.300	86%	0,45
BRT TransOeste							
0 (1 trans.) *	11.915	40%	11.915	10%	0	0%	0,04
0	22.523	75%	42.391	34%	0	0%	0,07
1	4.803	16%	38.921	31%	29.101	75%	0,29
2	2.435	8%	37.418	30%	32.060	86%	0,55
3	275	1%	5.153	4%	4.782	93%	0,67
4	3	0%	66	0%	66	100%	0,79
Total (τ)	30.039	100%	123.949	100%	66.009	53%	0,15
Total para Cart. com Âncora	7.516	25%	81.558	66%	66.009	81%	0,39
Onde: * cartões sem âncora que realizaram apenas 1 transação no período analisado.							

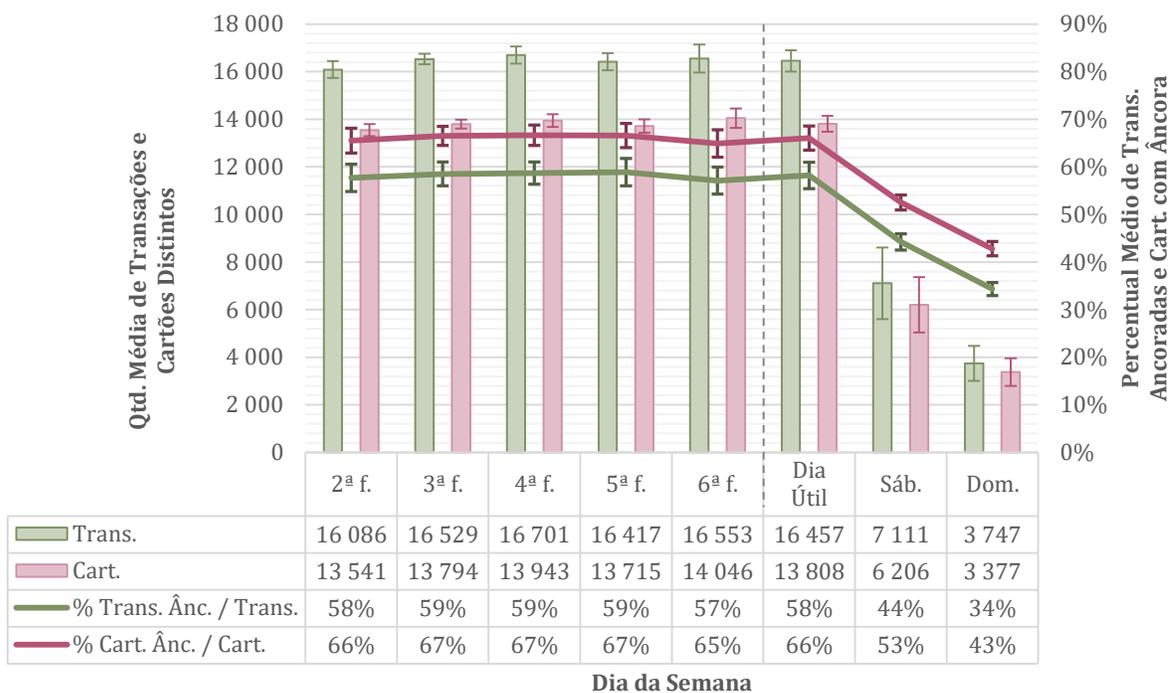
Nota-se que a proporção de cartões com âncora e da quantidade de transações realizadas pelos mesmos variam pouco tanto entre corredores quanto em comparação com os dados gerais do sistema de BRT. Os resultados apontam assim uma uniformidade da regularidade entre os usuários BURMRJ de ambos os corredores. Há apenas uma sutil diferença entre a proporção de transações ancoradas realizadas por cartões com âncora no corredor de BRT TransOeste (81% contra 84% no sistema como um todo e 86% no BRT TransCarioca), indicando que os usuários regulares deste corredor utilizam mais frequentemente outras estações de BRT que não suas estações âncora.

Quando analisada por corredor, a taxa de utilização por usuário por dia é inferior àquela observada para o sistema de BRT em geral, dado o fato de uma parcela dos usuários com âncora utilizarem ambos os corredores. Os usuários do BRT TransCarioca têm uma taxa diária de utilização pouco superior ao BRT TransOeste.

IV.4.3 - Distribuição Temporal da Regularidade

Para averiguar a distribuição temporal dos padrões de regularidade de usuários BURMRJ na rede de BRTs, no Gráfico IV.3 está apresentada a distribuição agregada por dia (dias úteis, média de dias úteis, sábado e domingo) da quantidade (com âncora e total) de transações e de cartões e da proporção de transações e cartões com âncora sobre o total e seus respectivos desvios-padrão – os dados utilizados para sua confecção estão disponíveis no Anexo III.

Gráfico IV.3. Média por Dia da Semana da Proporção de Transações Ancoradas e Cartões com Âncora
 Fonte: Elaboração própria. Dados: SBE-BURMRJ



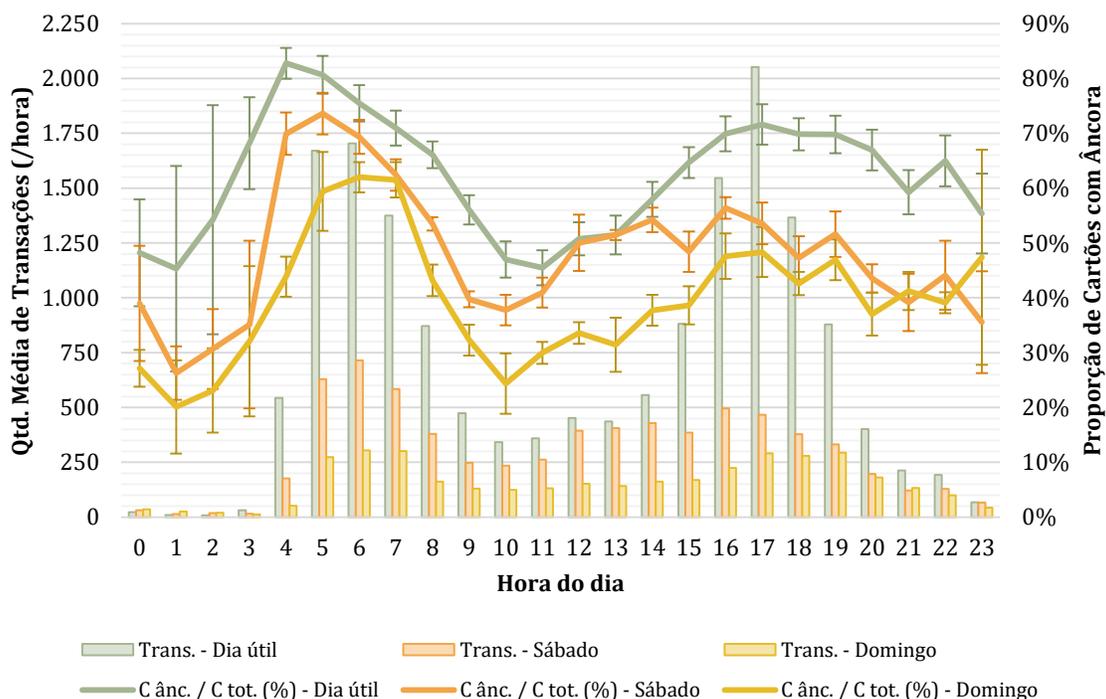
Em primeiro lugar, é importante perceber que a proporção de cartões com âncora é maior quando são analisados períodos de um dia, dada a baixa rotatividade dos mesmos ao longo do mês (os cartões esporádicos se repetem menos ao longo do período, sendo mais numerosos do que os cartões regulares). Nos dias úteis, em média, esta proporção atinge 66% do total de cartões (contra 22% do total de cartões analisados no período que possuem âncora, conforme Tabela IV.4). No sábado a proporção de cartões com âncora cai, em média, 13 pp e no domingo 23 pp, indicando que no fim de semana há proporcionalmente uma maior quantidade de usuários esporádicos. Este resultado é razoável por ser no fim de semana que há maior oportunidade para realização de atividades de lazer e outras atividades não obrigatórias. Em geral, na segunda e sexta-feira a proporção de cartões e transações com âncora é menor do que nos outros dias da semana, indicando também maior utilização por usuários esporádicos, fato que pode estar associado ao retorno ou à realização de atividades durante o fim de semana.

A quantidade de transações e cartões de usuários BURMRJ e a proporção de cartões com âncora e transações ancoradas variam pouco ao longo dos dias úteis, se mantendo próximas às médias. Os desvios-padrão indicam uma baixa variação das médias ao longo das semanas estudadas. Enquanto a variação da quantidade (de cartões e de transações) é maior entre fins de semana, a variação da proporção de cartões e transações com âncora é menor nestes dias – fenômeno que se inverte em dias úteis.

O Gráfico IV.4 apresenta a distribuição horária por tipo de dia (dia útil, sábado e domingo) da quantidade de transações e da proporção de cartões com âncora sobre o total de cartões e seus respectivos desvios-padrão – uma tabela com os dados utilizados para elaborá-lo se encontra no Anexo IV.

Gráfico IV.4. Distribuição Horária da Proporção de Cartões com Âncora sobre Total de Cartões BURMRJ no Sistema de BRTs

Fonte: Elaboração própria. Dados: SBE-BURMRJ



Em termos de utilização por usuários BURMRJ, há, em dias úteis, dois picos bem marcados, um pela manhã, por volta de 6h e outro pela tarde, por volta de 17h. No sábado, o pico da manhã ocorre também às 6h e é mais pronunciado que o pico da tarde.

No domingo, o pico da tarde se assemelha em amplitude ao pico da manhã, mais ocorre de forma mais distribuída.

Em termos de participação de cartões regulares utilizando o sistema de BRT é possível observar também dois picos em dias úteis: um pela manhã e outro pela tarde. Na manhã, o pico é mais acentuado: a proporção chega a mais de 80% do total de cartões no horário de 4h e se mantém acima de 70% até 7h. É importante perceber que este pico se dá antes do pico de utilização, indicando que os usuários regulares utilizam o sistema mais cedo que os usuários esporádicos. No período da tarde, o pico é mais distribuído, provavelmente devido à saída de atividades obrigatórias (trabalho e estudo) ocorrer usualmente de forma escalonada entre 16h e 20h. No entre-pico da manhã (entre 10h e 11h da manhã), há uma queda da participação de usuários recorrentes, provavelmente devido a usuários BURMRJ que utilizam o sistema para atividades esporádicas fora do horário de pico, fugindo de eventuais superlotações.

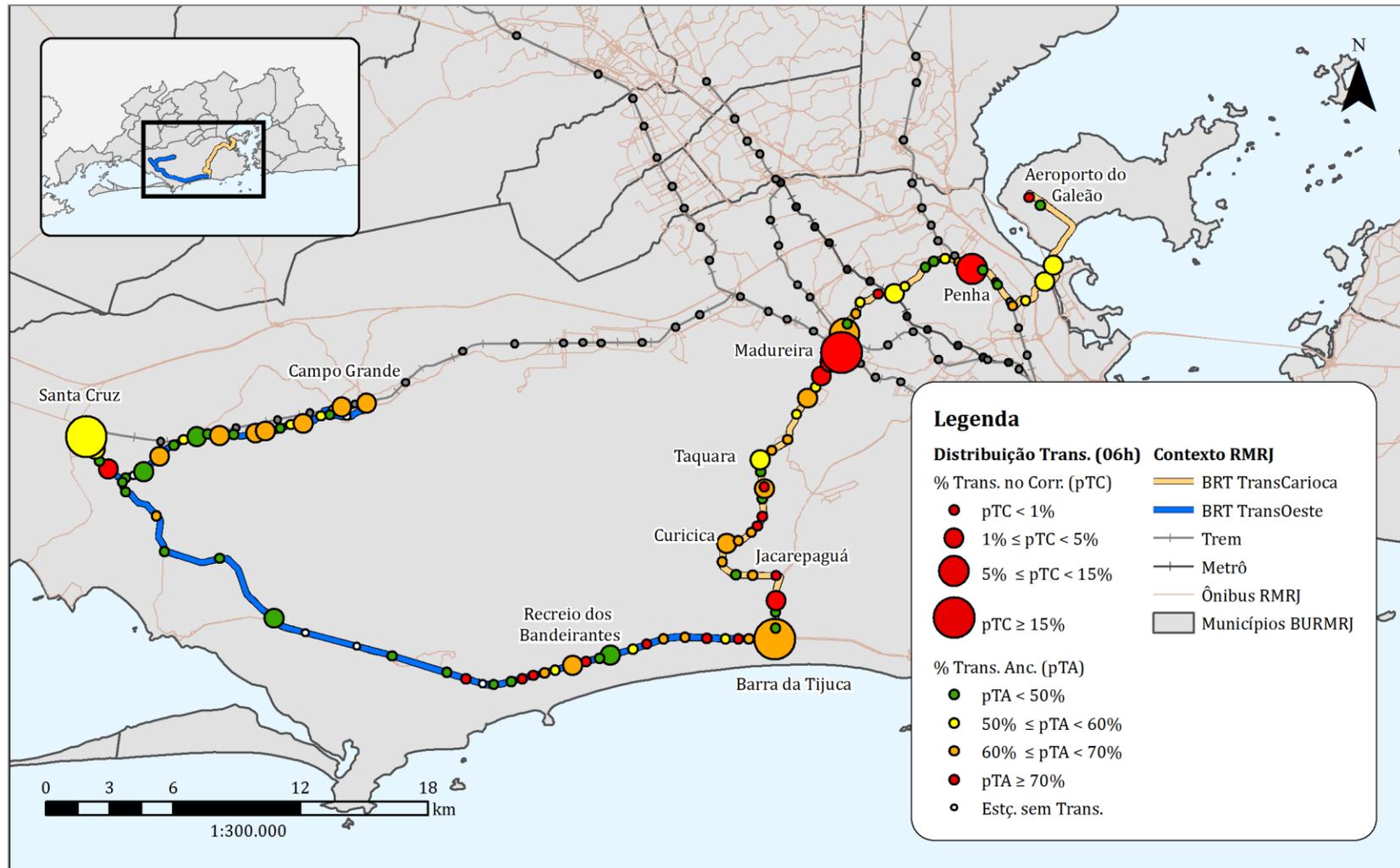
Nos sábados e domingos, é possível observar padrões de utilização similares (pico de participação de usuários regulares pela manhã, vale no entre-pico da manhã e aumento durante a tarde). Porém nestes dias a participação de usuários BURMRJ regulares se mantém inferior àquela observada em dias úteis ao longo de todos os horários do dia, por motivos citados anteriormente. Por fim, é interessante perceber pelas barras de desvio padrão que há pouca variação da participação em relação aos valores médios. A maior variação se dá durante os horários do final da noite e da madrugada, quando a demanda cai.

IV.4.4 - Distribuição Espacial da Regularidade

Nesta seção são investigadas a distribuição espacial das transações do BURMRJ dentro da rede de BRTs e na rede de transporte público da RMRJ. Esta distribuição espacial é importante para entender os padrões de deslocamento previamente à aplicação do processo de estimativa de desembarque que é realizada na próxima seção.

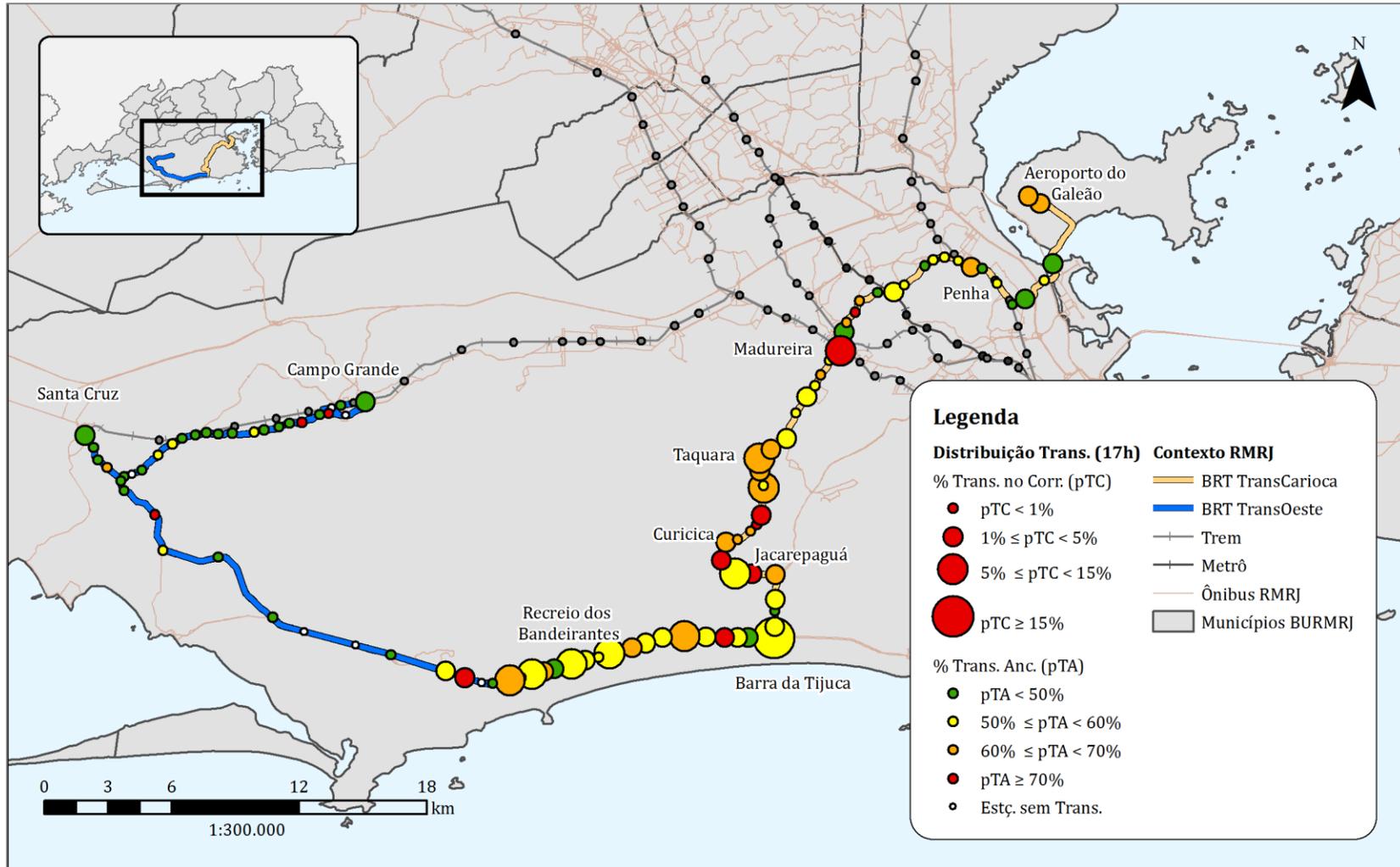
Vale lembrar que, para pertencerem à base de dados do BURMRJ, as transações na rede de BRTs devem ser parte de uma viagem envolvendo ao menos um trecho intermunicipal. É compreensível supor que a maior parte dos deslocamentos na parte da manhã seja no sentido casa-trabalho e, mais especificamente, região metropolitana-polos de atividades na cidade do Rio de Janeiro (MIHESSEN, 2014), em especial, no caso estudado, a região da Baixada de Jacarepaguá (Barra da Tijuca, Recreio dos Bandeirantes, Jacarepaguá e Taquara). Assim, neste horário, as transações no BRT são realizadas após e em local próximo ao desembarque da linha intermunicipal utilizada pelo usuário no caminho de sua casa na região metropolitana ao seu local de trabalho. No horário da tarde, o fluxo se inverte e as transações no BRT são em geral realizadas em primeiro lugar, na proximidade do local de trabalho, enquanto a linha intermunicipal é utilizada em seguida.

Nos mapas a seguir (Mapa IV.2 e Mapa IV.3) estão representadas as quantidades de transações médias em dias úteis nas estações dos corredores de BRT em dois momentos do dia: no horário de pico da manhã (06h) e no horário de pico da tarde (17h). As estações têm tamanho proporcional à razão entre a quantidade de transações na estação sobre o total de transações no corredor no horário estudado (pTC), enquanto sua coloração varia com a proporção de transações ancoradas em relação ao total de transações na estação (pTA). As estações que não tiveram transações BURMRJ no horário de pico da manhã ou no pico da tarde não foram representadas. Os dados utilizados para compô-los estão disponíveis no Anexo V.



Mapa IV.2. Distribuição Espacial de Transações e de Transações Ancoradas no Horário de Pico da Manhã (06h)

Fonte: Elaboração própria. Dados: SBE-BURMRJ



Mapa IV.3. Distribuição Espacial de Transações e de Transações Ancoradas no Horário de Pico da Tarde (17h)

Fonte: Elaboração própria. Dados: SBE-BURMRJ

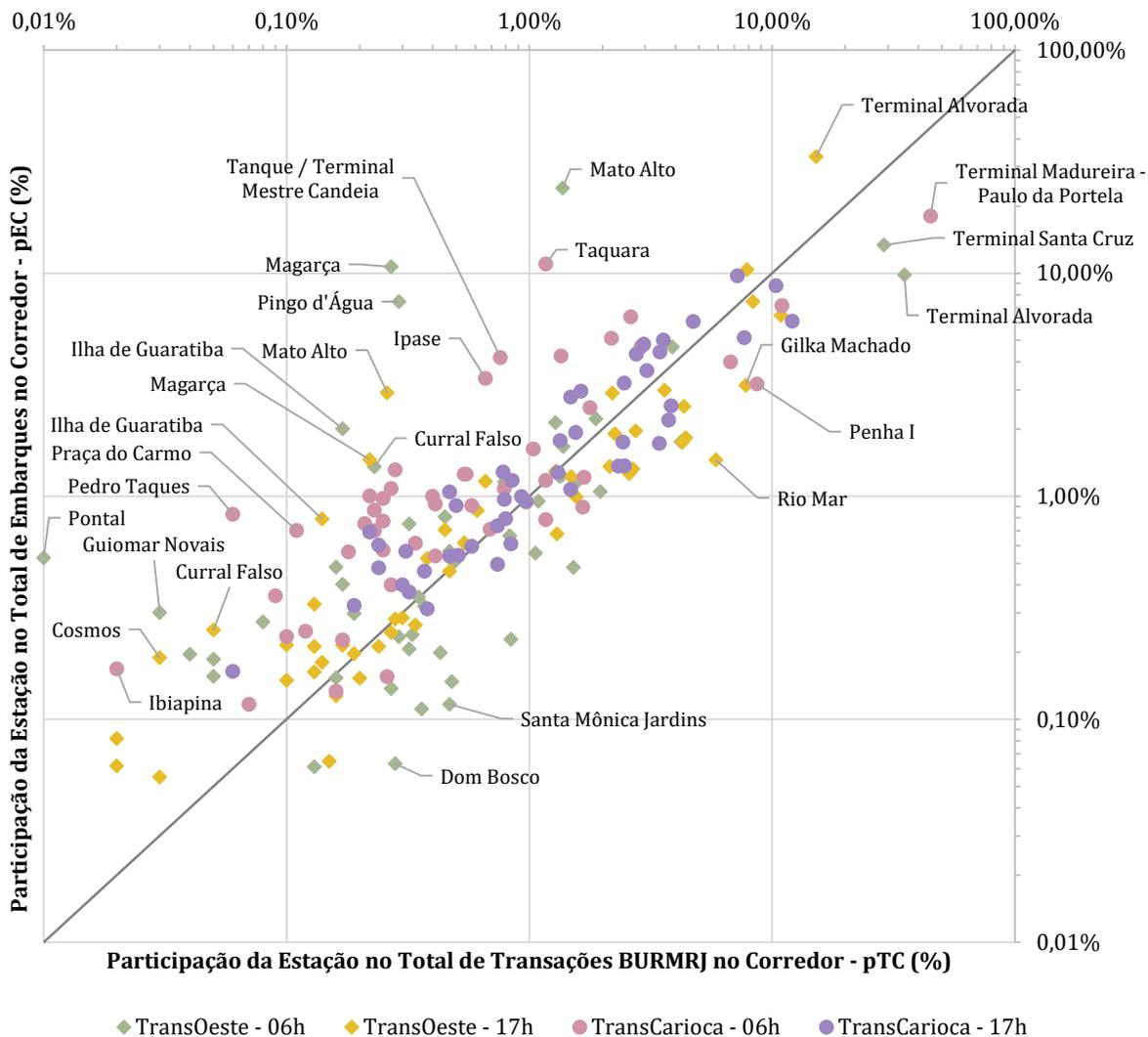
Na parte da manhã, as estações do BRT TransOeste com maior demanda de usuários do BURMRJ (maior pTC) estão localizadas em estações em bairros limítrofes do município do RJ (Santa Cruz e Campo Grande), para os quais convergem linhas de ônibus intermunicipais da RMRJ e pelos quais passa um ramal de trem. O terminal Alvorada concentra uma grande parte da demanda do BRT TransOeste por ser o destino de uma grande quantidade de linhas intermunicipais de ônibus. No BRT TransCarioca, as estações de maior demanda pela manhã são as estações em Madureira e Penha, que estão também próximas a ramais de trem e a uma alta concentração de linhas de ônibus intermunicipais.

Na parte da tarde, por sua vez, as estações do BRT TransOeste com maior demanda são aquelas que se encontram no Recreio e na Barra da Tijuca, indicando retorno de atividades de trabalho distribuídas nesta região. No BRT TransCarioca, há maior utilização nas estações de Jacarepaguá, Curicica, Taquara, Penha e mesmo do Aeroporto do Galeão, locais de concentração de oportunidades de emprego.

Dada a configuração da rede de transporte público da RMRJ, algumas estações podem apresentar diferenças significativas de demanda observada no âmbito do sistema BURMRJ em relação ao total de embarques considerando todos meios de pagamento. De fato, enquanto algumas estações são diretamente servidas por linhas de ônibus e ramais ferroviários intermunicipais, outras não o são. No Gráfico IV.5, foram plotadas a participação de cada estação em relação ao total de embarques registrados no corredor (pEC, com dados de embarques disponibilizados pela SMTR-RJ) em função da participação da estação em relação ao total de transações BURMRJ registradas no corredor (pTC) para os dois corredores nos dois horários de pico e para os dias úteis do período investigado. Foi traçada a reta que define a relação de igualdade entre as proporções ($pTC = pEC$).

Gráfico IV.5. Proporção de Embarques (pEC) em função da Proporção de Transações no Corredor (pTC) para Estações do BRT TransOeste e BRT TransCarioca, no Horário de Pico da Manhã e da Tarde

Fonte: Elaboração própria. Dados: SBE-BURMRJ e SMTRJ-RJ



Algumas estações se destacam por apresentarem proporção de embarques maior do que a proporção de transações BURMRJ – como Mato Alto, Magarça e Pingo D’Água no BRT TransOeste no pico da manhã –, devido basicamente à ausência de linhas intermunicipais chegando a estas estações. Em outras estações, o inverso ocorre: a proporção de transações BURMRJ é superior à proporção de embarques. Nas estações que isso ocorre – como os terminais Santa Cruz e Alvorada, no BRT TransOeste no pico da manhã, e terminal Madureira, no BRT TransCarioca no pico da tarde –, há em geral concentração de linhas intermunicipais.

Quanto à proporção de transações ancoradas em relação ao total de transações (pTA), é possível perceber que aquelas com maior proporção não são exatamente as mesmas que aquelas de maior demanda. O Terminal de Santa Cruz, por exemplo, apresenta alta demanda no pico da manhã, mas proporção relativamente baixa de transações ancoradas, indicando que é utilizada também por usuários esporádicos do sistema. Já o Terminal de Madureira tem alta utilização e alta proporção de usuários regulares.

IV.4.5 - Principais Conclusões da Análise de Padrões de Regularidade

Nesta seção foram revelados os padrões de regularidade do sistema de BRT de usuários do BURMRJ com ênfase na regularidade de sua utilização. Os principais pontos abordados e os resultados obtidos são resumidos a seguir:

- Foram analisadas 373 mil transações BURMRJ, realizadas ao longo de 28 dias consecutivos por mais de 80 mil usuários BURMRJ. Destes, 71% utilizaram o BRT TransCarioca, 31% o BRT TransOeste e 8% utilizaram ambos os corredores no período. O total de transações analisadas corresponde a 4,2% do total de embarques, considerando além do BURMRJ outros produtos tarifários;
- Os cartões com âncora (regularidade de uso) representam 22% do total de cartões do sistema de BRT, mas realizaram 67% do total de transações no período. Quase metade (46%) dos cartões realizaram apenas 1 transação no sistema durante o período analisado, fato que mostra utilização deste sistema por usuários BURMRJ esporádicos. Cartões com âncora têm taxa de utilização diária sete vezes superior a cartões sem âncora;
- Há pouca variação da regularidade em relação a cartões e transações entre corredores quando comparado com dados gerais do sistema de BRT;
- A proporção de cartões com âncora é maior quando analisado o período de um dia, dada a baixa rotatividade dos mesmos ao longo do mês. Esta proporção se mantém em torno de 67% ao longo dos dias úteis e cai no sábado e no domingo,

indicando maior utilização por usuários esporádicos, associada a atividades não obrigatórias;

- Pela manhã, usuários regulares realizam viagens mais cedo que usuários esporádicos. Pela tarde, no entanto, não é observado padrão similar, provavelmente devido a saída de atividades empreendidas ocorrer de forma escalonada. Entre 10 e 11h da manhã, há aumento na proporção de usuários esporádicos, possivelmente aproveitando o entre-pico para realização de atividades, evitando superlotações;
- Há forte relação entre a dinâmica das viagens casa-trabalho na RMRJ, a rede de transporte público intermunicipal e a distribuição espacial da utilização no sistema de BRT:
 - No horário de pico da manhã, a demanda é maior onde há convergência de linhas intermunicipais: nos bairros limítrofes de Santa Cruz e Campo Grande, no BRT TransOeste e em Madureira e Penha, no BRT TransCarioca, onde chegam, além das linhas de ônibus intermunicipais, linhas de trem da RMRJ.
 - No horário de pico da tarde, a demanda se intensifica nos bairros com concentração de atividades de trabalho (Recreio e Barra da Tijuca, no BRT TransOeste e Jacarepaguá, Curicica, Taquara, Penha, no BRT TransCarioca);
- Algumas estações apresentam proporção de embarques maior do que a proporção de transações BURMRJ – como Mato Alto, Magarça e Pingo D’Água no BRT TransOeste no pico da manhã –, devido basicamente à ausência de linhas intermunicipais chegando às mesmas. O inverso ocorre em estações em que há concentração de linhas intermunicipais;
- As estações com maior proporção de transações ancoradas não são exatamente as de maior demanda. O Terminal de Santa Cruz, por exemplo, apresenta alta demanda no pico da manhã, mas proporção relativamente baixa de transações ancoradas.

IV.5 - Aplicação de Estimativa de Desembarque

Esta seção busca aplicar o algoritmo de estimativa de desembarque concebido na metodologia para analisar os padrões espaciais dos deslocamentos dos usuários do BURMRJ no corredor de BRT TransCarioca. A análise de regularidade de comportamento realizada na seção anterior é utilizada para evidenciar as diferenças de padrão existentes entre os usuários considerados regulares e aqueles considerados esporádicos.

IV.5.1 - Dados Analisados

Para esta análise foram utilizados todos os dados de transação dos usuários BURMRJ dos dias em que estes embarcaram em alguma estação do BRT TransCarioca, ao longo do período de 20 dias úteis compreendido entre os dias 1 (domingo) a 28 (sábado) de março de 2015 (período da análise anterior), conforme Tabela IV.6. Em dias úteis, as transações BURMRJ correspondem a 4,5% do total de embarques no sistema (dados SMTR-RJ).

Tabela IV.6. Sumário de Dados Pesquisados para Estimativa de Desembarque
Fonte: Elaboração própria. Dados: SBE-BURMRJ

Sistema Analisado	Transações	Transações / Dia	Usuários Distintos	Transações / Usuário	Transações / Usuário / Dia
SBE-BURMRJ	38.146.631	1.907.331	1.629.056	23,41	1,17
Sistema de BRT	329.141	16.457	69.135	4,76	0,24
BRT TransCarioca	231.287	11.564	48.699	4,75	0,24

IV.5.2 - Montagem de Viagens

No caso da RMRJ foi identificado, a partir de dados do PDTU-RMRJ (2013), que o horário de pico para viagens motorizadas se dá na parte da manhã de 06h às 07h e na parte da tarde de 17h às 18h, e que o tempo médio de viagem em ônibus intermunicipais e no trem é de respectivamente 58 e 47 minutos. O intervalo entre transações que caracteriza uma transferência de trechos de uma mesma viagem foi definido como duas horas durante o horário de pico. Para outros horários o intervalo caracterizando uma

transferência foi definido como uma hora e meia. As viagens foram definidas como tendo intervalo máximo de três horas entre o trecho anterior ao BRT e o trecho posterior ao BRT.

Todas as 231.287 transações realizadas no BRT TransCarioca nos dias analisados (isto é, uma média de 11.564 por dia) foram, a partir das condições de transferência definidas, montadas em viagens com informações de trecho anterior e posterior. As viagens montadas têm o perfil evidenciado na Tabela IV.7.

Tabela IV.7. Sumário de Viagens Montadas
Fonte: Elaboração própria. Dados: SBE-BURMRJ

Trecho A (Anterior)	Trecho B (Principal)	Trecho P _{TRNSF} (Posterior-Transferência)	Quantidade	Quantidade por Dia	% Total
Possui A	Trecho B	Não possui P _{TRNSF}	108 693	5 434	47%
Não possui A	Trecho B	Possui P _{TRNSF}	103 446	5 172	45%
Não possui A	Trecho B	Não possui P _{TRNSF}	17 430	871	8%
Possui A	Trecho B	Possui P _{TRNSF}	1 722	86	1%
Total de Viagens			231 287	11 564	-

Há uma similaridade de quantidade de viagens com trechos A - B e viagens com trechos B - P_{TRNSF}. Este fato indica viagens pendulares, como um passageiro que utiliza:

- Na parte da manhã, no seu trajeto de ida ao trabalho, ônibus 'Duque de Caxias - Penha' (no trecho A) e em seguida a Estação Penha do BRT (trecho B);
- Na parte da tarde, em sua volta, a Estação Rio II do BRT (trecho B) e em seguida o ônibus intermunicipal 'Duque de Caxias - Penha' (agora no trecho P).

IV.5.3 - Estimativa de Desembarque

Aplica-se às viagens montadas o fluxograma de estimativa detalhado na metodologia (Figura III.9). No Anexo VI encontram-se relacionadas as estações de BRT estimadas com base na estimativa de proximidade, para o trem e metrô e para linhas de ônibus e de van. A quantidade de viagens cuja estação de desembarque foi estimada com sucesso

é relacionada para cada etapa do fluxograma na Tabela IV.8. A evolução da taxa acumulada de sucesso de estimativa é representada na Gráfico IV.6.

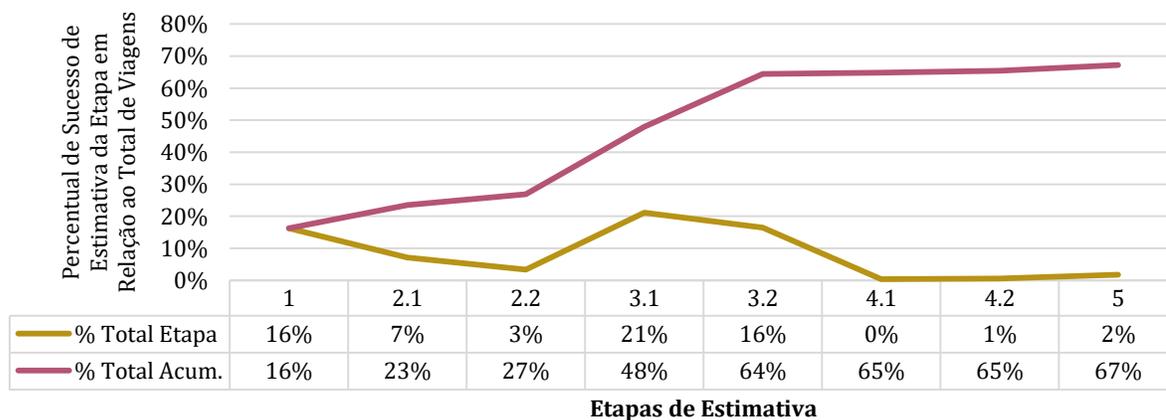
Tabela IV.8. Resultado das Etapas de Estimativa de Desembarque

Fonte: Elaboração própria. Dados: SBE-BURMRJ

Nº	Etapa de Estimativa	Quantidade por Etapa		Quantidade Acumulada	
		Abs.	% Total	Abs.	% Total
1	Direta, em que P _{PVG} é BRT	37 717	16%	37 717	16%
2.1	Trechos espelhados, a partir de B-P _{TRNSF} , em que P é modo estruturante	16 569	7%	54 286	23%
2.2	Trechos espelhados, a partir de B-P _{TRNSF} , em que P é modo capilar	7 865	3%	62 151	27%
3.1	Proximidade, em que P é modo estruturante	48 803	21%	110 954	48%
3.2	Proximidade, em que P é modo capilar	38 066	16%	149 020	64%
4.1	Trechos espelhados, a partir de A-B, em que A é modo estruturante	933	0%	149 953	65%
4.2	Trechos espelhados, a partir de A-B, em que A é modo capilar	1 386	1%	151 339	65%
5	Baseada em Primeira viagem do dia	4 093	2%	155 432	67%

Gráfico IV.6. Evolução do Sucesso de Estimativa de Desembarque ao longo das Etapas do Fluxograma

Fonte: Elaboração própria. Dados: SBE-BURMRJ



Ao final do fluxograma chegou-se a uma estimativa com sucesso para 67% das viagens montadas (155.432 viagens de um total de 231.287). É importante perceber que as etapas de estimativa baseada na proximidade foram aquelas que obtiveram a maior taxa de sucesso (37% do total de viagens considerando as etapas relacionadas a modos estruturantes e a modos capilares). Uma base primária de localização dos veículos de modos capilares (sistemas AVL) poderia incrementar o sucesso da etapa de estimativa de proximidade e o peso desta no sucesso geral da estimativa.

IV.5.4 - Padrões de Regularidade na Estimativa de Desembarque

A partir do processo de detecção de cartões com âncora realizado na seção anterior, o total de viagens com desembarque foi separado para cartões que apresentaram regularidade e cartões com uso esporádico, conforme Tabela IV.9.

Tabela IV.9. Taxa de Sucesso de Estimativa de Desembarque para Cartões com e sem Âncora
 Fonte: Elaboração própria. Dados: SBE-BURMRJ

Cartões	Total de Cartões	Total de Viagens	Total de Viagens com Desembarque Estimado	Taxa de Sucesso de Estimativa
Sem Âncora	35 635	69 890	44 207	62%
Com Âncora	13 064	161 397	114 239	70%
1 Âncora	8 998	82 734	45 958	56%
2 Âncoras	3 753	71 960	60 307	84%
3 Âncoras	310	6 640	5 928	89%
4 Âncoras	3	63	52	83%
Total	48 699	231 287	155 446	67%

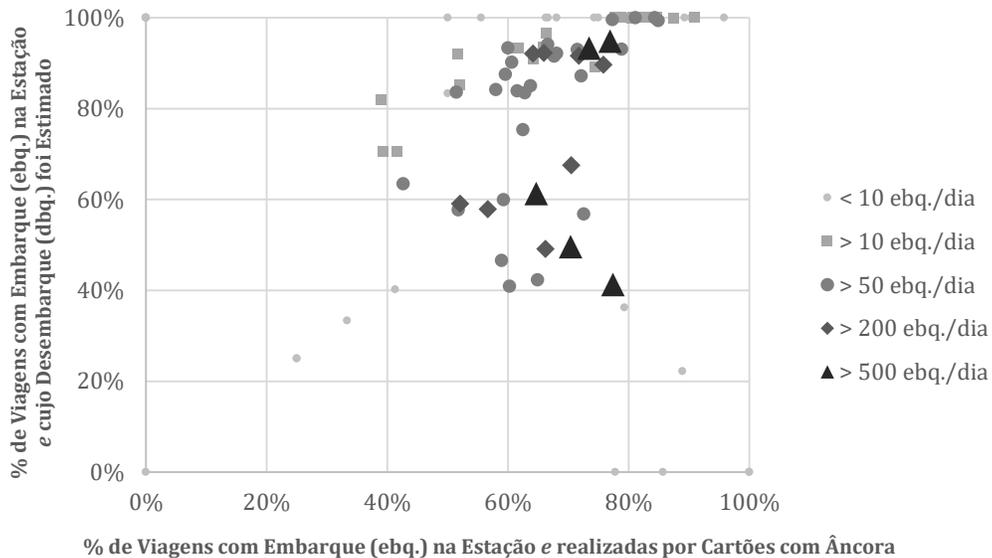
Do total de viagens montadas, 70% foram realizadas por cartões com âncora. De uma forma geral, nota-se uma diferença importante, da ordem de 8 pp, da taxa de sucesso de estimativa de desembarque entre cartões com âncora (70%) em relação aos cartões sem âncora (62%). Porém, quando analisado por quantidade de âncoras, a taxa de sucesso revela-se superior apenas a partir do grupo de cartões com duas âncoras (84% na média ponderada para os grupos de cartões com duas ou mais âncoras, isto é, 22pp superior à taxa para cartões esporádicos). Cartões com apenas uma âncora têm taxa de sucesso de estimativa de 56%, não maior que cartões sem âncora.

Estes fatos provavelmente estão relacionados ao incremento na taxa de sucesso advindo da etapa de estimativa com base em trechos espelhados, que é maior logicamente para cartões com duas ou mais âncoras. A hipótese central desta pesquisa é assim comprovada em parte: é maior a probabilidade de detecção de desembarques para os usuários que apresentam regularidade de uso em no mínimo dois pontos do sistema; para usuários com regularidade em apenas um ponto a detecção não é maior do que para usuários sem regularidade.

No Gráfico IV.7 estão plotadas as relações entre o percentual de viagens realizadas por cartões com âncora e o percentual de viagens cujo desembarque foi estimado com sucesso para cada uma das estações do sistema de BRT. Não foi encontrada uma relação direta entre as duas variáveis, embora seja possível observar que as estações com maiores quantidades de embarques são aquelas com maior percentual de viagens realizadas por cartões com âncora e que o percentual de estimativa é superior a 40% para a maioria das estações.

Gráfico IV.7. Relação entre Viagens realizadas por Cartões com Âncora e Viagens cujo Desembarque foi Estimado com Sucesso para cada Estação do Sistema de BRT

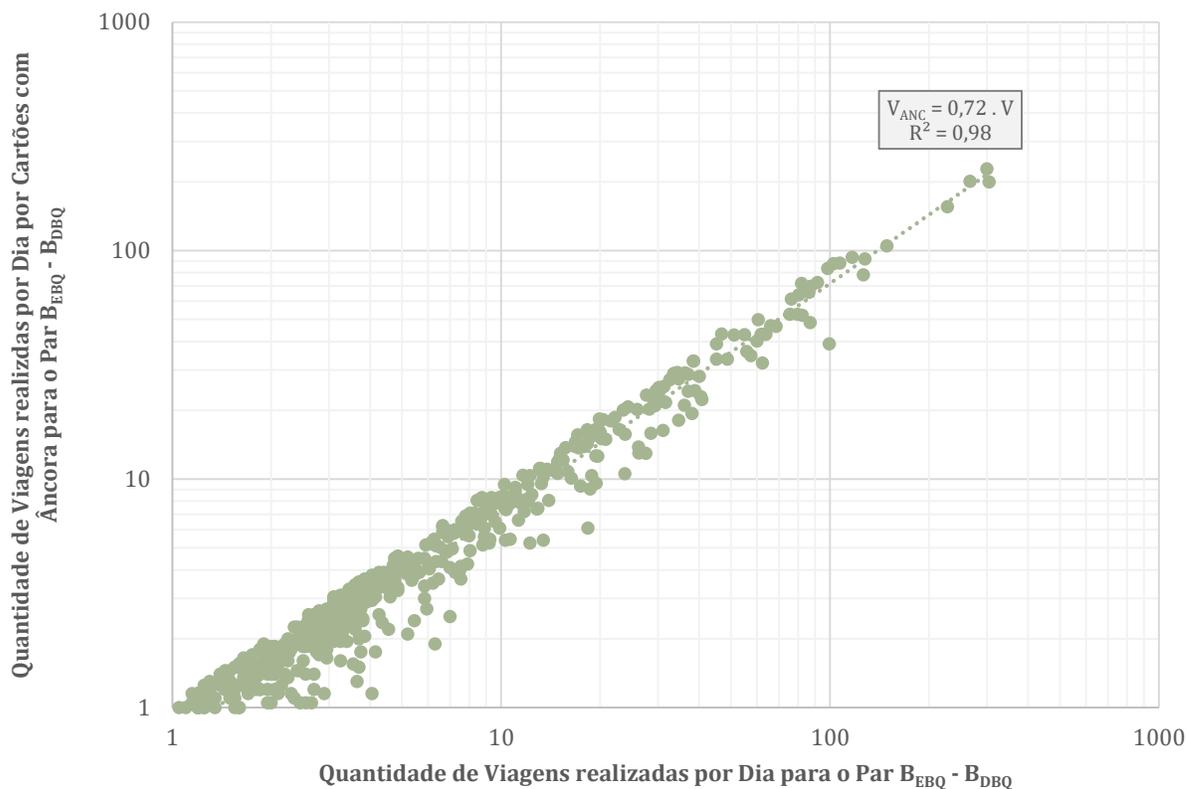
Fonte: Elaboração própria. Dados: SBE-BURMRJ



Quando analisadas apenas viagens cujo desembarque foi estimado com sucesso, nota-se que a proporção de viagens realizadas por cartões com âncora se mantém relativamente constante para cada um dos pares de estação de embarque e desembarque (notados como EBQ e DBQ no Gráfico IV.8).

Gráfico IV.8. Proporção de Viagens Ancoradas para cada Par $B_{EBQ} - B_{DBQ}$

Fonte: Elaboração própria. Dados: SBE-BURMRJ



IV.5.5 - Distribuição Espacial de Viagens com Desembarque Estimado

Nesta subseção é realizada uma análise da distribuição espacial das viagens cujo desembarque foi estimado com sucesso. É dada uma ênfase aos horários de pico detectados anteriormente: pico da manhã às 06h e pico da tarde às 17h. Nestes horários a quantidade de viagens realizadas e a taxa de sucesso de estimativa são mostrados na Tabela IV.10. No horário de pico da manhã a taxa de sucesso é relativamente menor que no horário de pico da tarde. Isto pode ser explicado, como é visto a seguir, pelo fato de os desembarques no horário de pico da manhã estarem distribuídos em uma gama maior de estações do que no horário de pico da tarde.

Tabela IV.10. Taxa de Sucesso de Estimativa de Desembarque para o Horário de Pico da Manhã e da Tarde
 Fonte: Elaboração própria. Dados: SBE-BURMRJ

Horário	Total de Viagens	Total de Viagens com Desembarque Estimado	Taxa de Sucesso de Estimativa
Pico da Manhã (06h)	26 777	15 926	59%
Pico da Tarde (17h)	27 996	22 016	77%
Total	231 287	155 446	67%

Na Tabela IV.11 são apresentadas as distribuições de origem e destino em relação aos dois ramais do sistema de BRT para as viagens estudadas. Para esta análise o Terminal Alvorada foi classificado como parte das estações do BRT TransCarioca para evidenciar a utilização das estações do BRT TransOeste. A grande maioria das viagens se concentra apenas no BRT TransCarioca (85% no pico da manhã, 88% no pico da tarde). Na parte da manhã, 14% dos passageiros têm como destino alguma estação do BRT TransOeste que não o Terminal Alvorada.

Tabela IV.11. Distribuição de pares Origem-Destino por Ramal
 Fonte: Elaboração própria. Dados: SBE-BURMRJ

Horário de Pico da Manhã (06h)			
Origem \ Destino	TransCarioca	TransOeste	Total Origem
TransCarioca	85%	14%	99%
TransOeste	1%	-	1%
Total Destino	86%	14%	100%
Horário de Pico da Tarde (17h)			
Origem \ Destino	TransCarioca	TransOeste	Total Origem
TransCarioca	88%	2%	90%
TransOeste	10%	-	10%
Total Destino	98%	2%	100%

A partir das viagens cujo desembarque foi estimado com sucesso construiu-se o Gráfico IV.9 com embarques e desembarques para cada estação e o fluxo de passageiros ao longo da linha no pico da manhã e no pico da tarde.

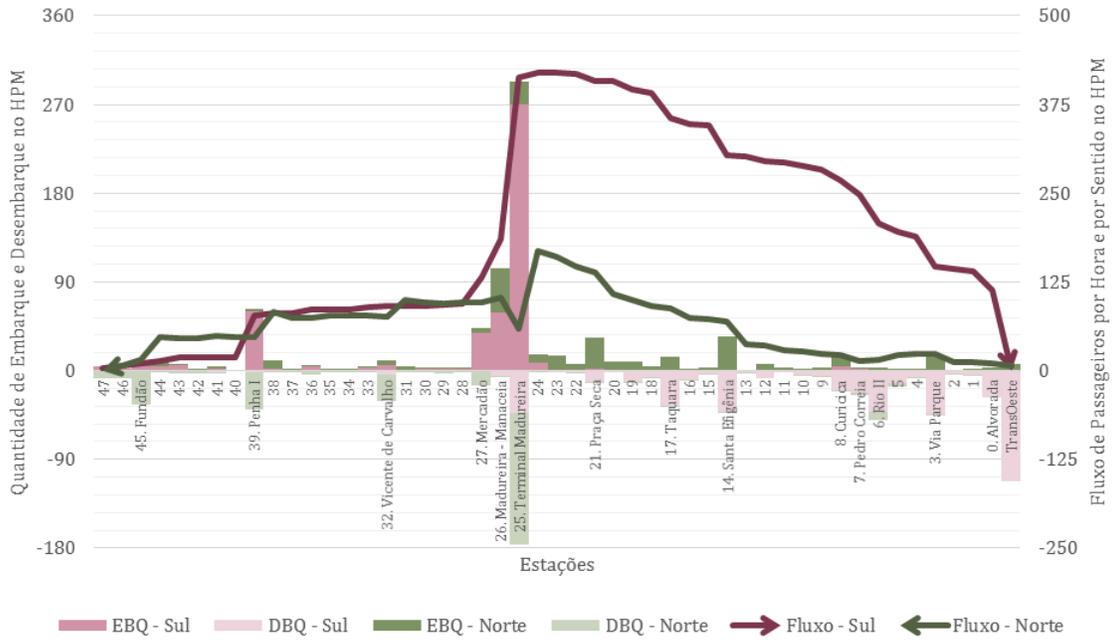
No horário de pico da manhã é possível perceber que o fluxo é maior no sentido Sul do que no sentido Norte, ultrapassando 400 passageiros BURMRJ por hora naquele sentido e estando abaixo de 200 neste. Este fato tem estreita relação com a grande concentração de empregos presentes na Baixa de Jacarepaguá, Barra da Tijuca e Recreio dos Bandeirantes, se comparado com outras regiões atendidas pelo corredor. A maior quantidade de embarques e desembarques acontece nas estações do Terminal Madureira e Penha, onde há estações de trem e alta concentração de linhas intermunicipais. No horário de pico da tarde, o fluxo é majoritariamente concentrado no sentido Norte, chegando a quase 800 passageiros BURMRJ por hora, quase o dobro do fluxo do horário de pico da manhã. O fluxo no sentido Sul não chega a 200 passageiros por hora, um quarto da quantidade de passageiros se movimentando no outro sentido.

Estimando uma frequência de 12 ônibus articulados por hora nestes horários, o carregamento (exclusivamente de passageiros BURMRJ) fica em torno de 33 passageiros BURMRJ por veículo no sentido Sul no pico da manhã e 66 no sentido Norte no pico da tarde. Considerando a capacidade de um ônibus articulado em 180 passageiros por veículo, o percentual de usuários BURMRJ em relação ao total de passageiros por veículo corresponde a quase 20% no primeiro caso e quase 40% no segundo. Estes valores podem ser considerados mínimos, uma vez que o percentual de sucesso na estimativa de desembarque foi de 67%.

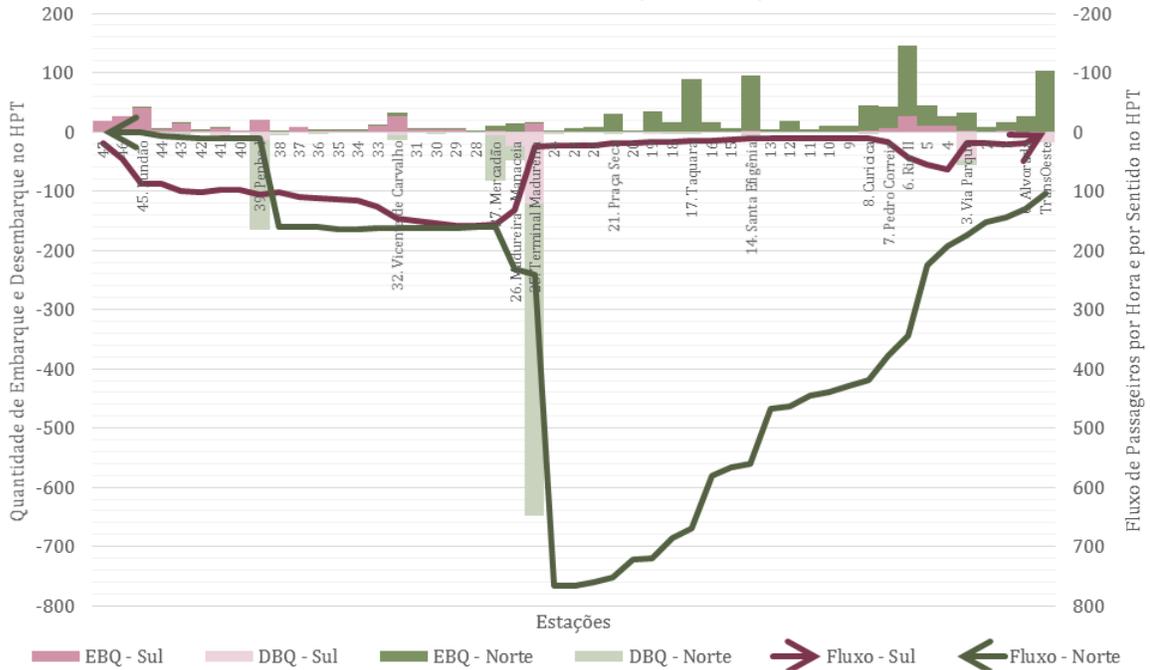
Gráfico IV.9. Quantidade de Embarques (EBQ) e Desembarques (DBQ) e Fluxo de Passageiros por Sentido para Viagens cujo Embarque foi Estimado com Sucesso

Fonte: Elaboração própria. Dados: SBE-BURMRJ

Horário de Pico da Manhã (HPM = 06h)



Horário de Pico da Tarde (HPT = 17h)



Observação:

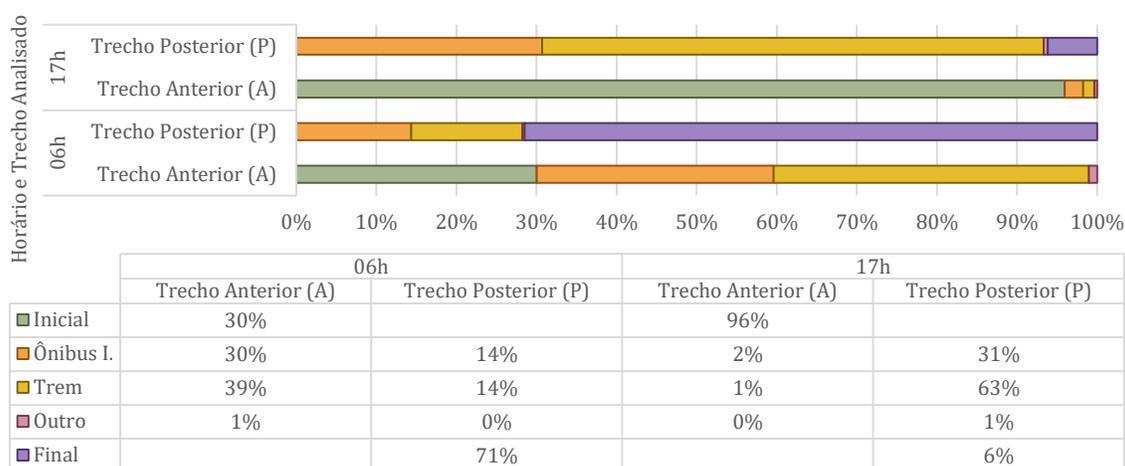
Embarques (EBQ): Valores representados em números positivos.

Desembarques (DBQ): Valores representados em números negativos.

As viagens montadas permitem também analisar a divisão modal nas integrações com modos complementares nos trechos anteriores ou posteriores ao trecho de BRT. O Gráfico IV.10 revela a divisão modal para viagens cujo desembarque foi estimado com sucesso, no pico da manhã e no pico da tarde. No caso de nenhuma transação ter sido incluída como trecho anterior ou posterior da mesma viagem, o trecho no BRT foi designado como trecho inicial e trecho final da viagem, respectivamente.

Gráfico IV.10. Divisão Modal nos Trechos Complementares (A e P) no Horário de Pico da Manhã e da Tarde para Viagens cujo Desembarque foi Estimado com Sucesso

Fonte: Elaboração Própria. Dados: SBE-BURMRJ



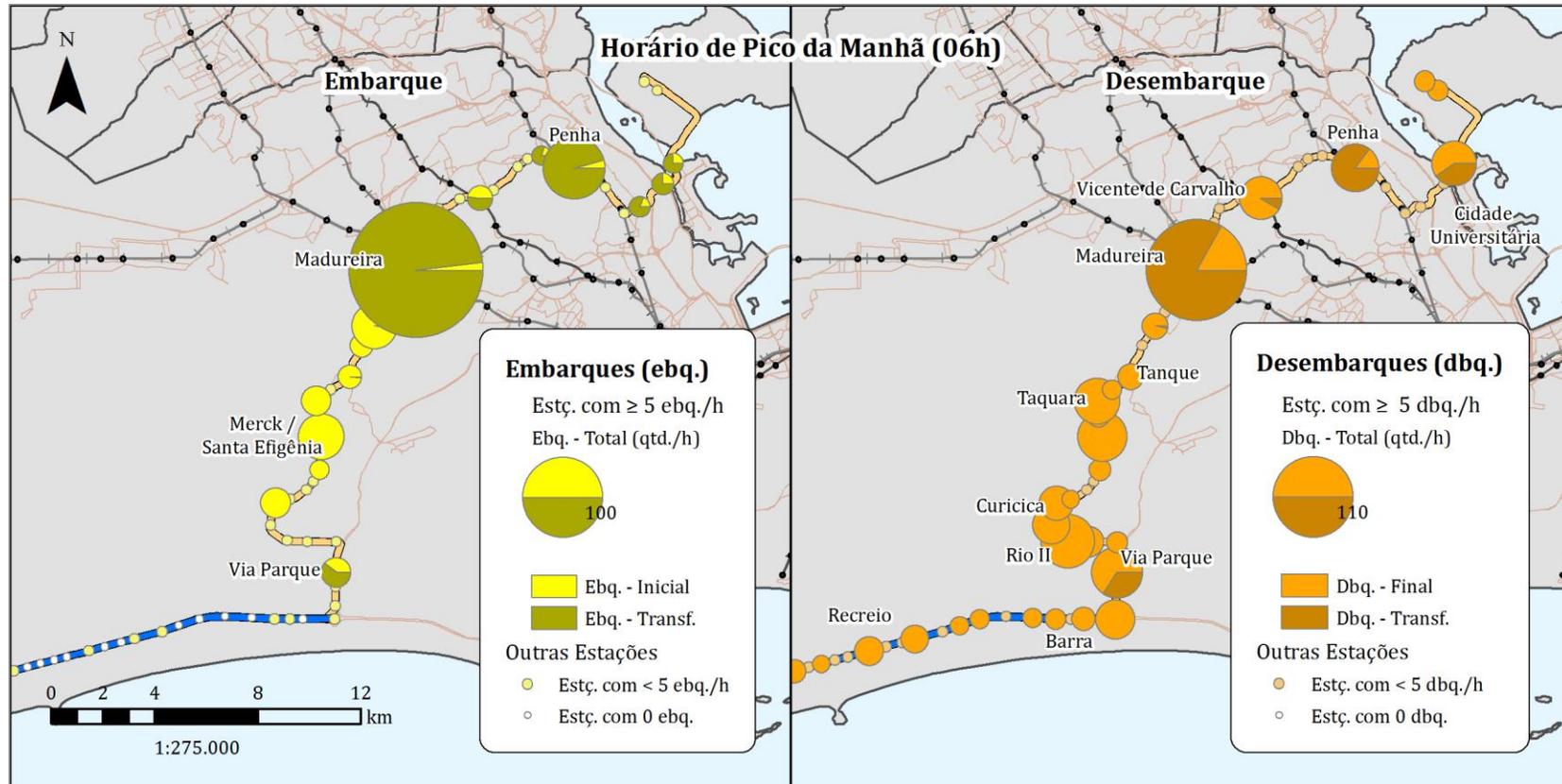
Na parte da manhã, o sistema é utilizado majoritariamente por usuários vindos de suas residências na RMRJ que integram com o BRT e seguem para oportunidades de emprego localizadas nas proximidades do corredor na Baixada de Jacarepaguá e Barra da Tijuca, diretamente acessíveis a partir do corredor (70% das viagens possuem trecho anterior ao BRT e 71% teve o BRT como trecho final da viagem). Apenas uma pequena parcela inicia sua viagem no BRT (30%) e integra com linhas intermunicipais que atendem outras regiões das cidades da RMRJ (29% das viagens). Na parte da tarde, o sentido se inverte e se concentra, o BRT é utilizado quase em sua totalidade no primeiro trecho (96%) da viagem de retorno dos usuários que em também sua quase totalidade integram com outros modos (94%) no trecho posterior. Uma quantidade diminuta de usuários (4%) utiliza outro modo antes do BRT, que acaba sendo para 6% o seu trecho final. Há assim forte relação dos padrões de intermodalidade com a dinâmica casa-trabalho.

O trem, que é o modo mais utilizado tanto na parte da manhã quanto da tarde, é impactado pela concentração de sentido na parte da tarde. Sua participação passa de 39% no trecho anterior no pico da manhã para 63% do trecho posterior no pico da tarde. Os ônibus intermunicipais não sofrem o mesmo efeito e têm participação quase constante nos trechos anterior da parte da manhã (30%) e posterior da parte da tarde (31%). Outros modos têm participação ínfima nas viagens dos usuários do BURMRJ.

No Mapa IV.4 e Mapa IV.5 estão plotadas as estações do BRT TransCarioca e algumas estações do BRT TransOeste localizadas na Barra da Tijuca e Recreio dos Bandeirantes, com tamanho proporcional à quantidade de embarques e desembarques que foram realizados nas mesmas. Gráficos de pizza indicam, no caso dos embarques, a proporção de embarques iniciais de viagem e de transferências de outros modos. No caso de desembarques, indicam a proporção de desembarques finais de viagens e de transferências para outros modos.

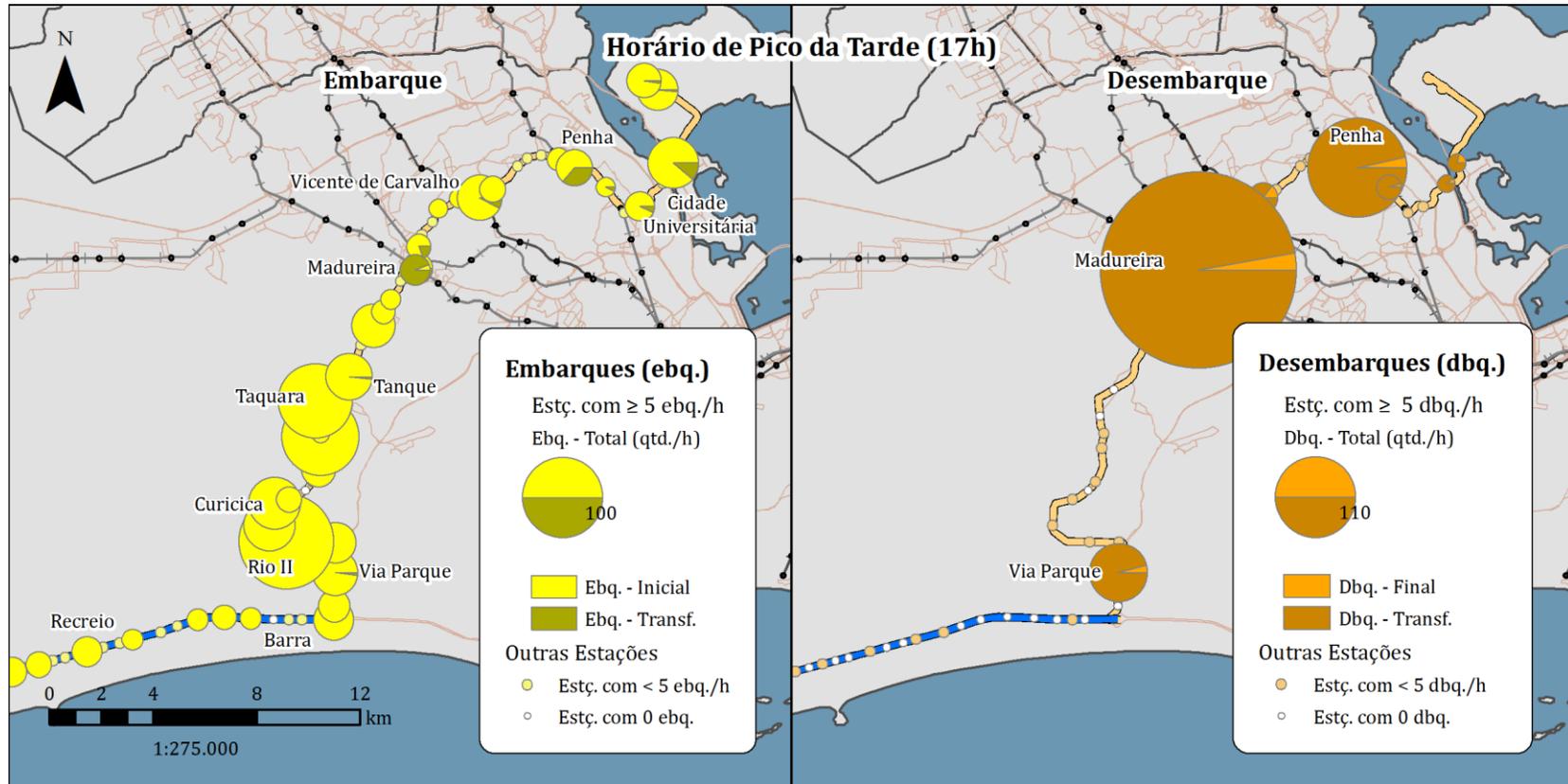
No pico da manhã, os embarques se encontram bem concentrados em poucas estações. As estações com maior quantidade de embarques são aquelas que apresentam maior proporção de transferência modal (Madureira e Penha). Estações com quantidade de embarque intermediário, como Merck/Santa Efigênia e Praça Seca, são em geral o início de viagens, fato que pode estar atrelado tanto a pessoas saindo de suas residências quanto pessoas retornando de atividades laborais noturnas. Os desembarques por sua vez se encontram distribuídos entre diversas estações. As estações da Baixada de Jacarepaguá (Tanque, Taquara, Curicica, Rio II) e aquelas do BRT TransOeste localizadas na Barra da Tijuca e Recreio dos Bandeirantes são em geral estações de desembarque final de viagens. Madureira e Penha, grandes concentradoras de desembarques, se caracterizam por alta proporção de transferência para outros modos. Estações como Via Parque, Vicente de Carvalho e Fundão (localizado na Cidade Universitária) são tanto destinos finais como estações de transferência para outros modos.

No pico da tarde, os embarques seguem distribuição similar à encontrada para os desembarques do pico da manhã. Há, porém uma concentração ainda mais marcada de desembarques, como já discutido anteriormente, nas estações de Madureira e Penha. Nestas estações e na estação do Via Parque, cujo total de desembarques também foi expressivo, a maioria dos usuários sai do sistema para continuar a viagem em outro modo.



Mapa IV.4. Distribuição Espacial de Embarques e Desembarques no Horário de Pico da Manhã (06h)

Fonte: Elaboração própria. Dados: SBE-BURMRJ



Mapa IV.5. Distribuição Espacial de Embarques e Desembarques no Horário de Pico da Tarde (17h)

Fonte: Elaboração própria. Dados: SBE-BURMRJ

IV.5.6 - Principais Conclusões da Estimativa de Desembarque

Nesta seção foram revelados os padrões de embarque e desembarque dos usuários do BRT TransCarioca, com ênfase na regularidade. Os principais pontos abordados e os resultados obtidos são resumidos a seguir:

- A partir da base de transações BURMRJ realizadas no BRT TransCarioca em 20 dias úteis, foram montadas 231.287 viagens, uma média de 11.564 viagens / dia;
- O fluxograma concebido na metodologia foi capaz de estimar uma estação de desembarque para 67% das viagens montadas (155.432 viagens). Uma base primária de localização dos veículos de modos capilares poderia incrementar o sucesso da estimativa. No entanto a taxa atingida já tem relevância em relação à quantidade de dados disponibilizados para análise;
- Foi encontrada diferença importante (8 pp) na taxa de sucesso de estimativa entre cartões com âncora (70% de sucesso) e cartões sem âncora (62%). Porém, quando analisado por quantidade de âncoras, a taxa de sucesso revela-se superior apenas a partir do grupo de cartões com duas âncoras (84%) – para cartões com apenas uma âncora a taxa chega apenas a 56%. A hipótese central desta pesquisa é assim comprovada em parte: é maior a probabilidade de detecção de desembarques para usuários com regularidade de uso em no mínimo dois pontos do sistema;
- A taxa de sucesso é maior para o pico da tarde, quando há maior concentração de desembarques em poucas estações do sistema;
- A grande maioria das viagens se concentra apenas no BRT TransCarioca (85% no pico da manhã, 88% no pico da tarde). Na parte da manhã, 15% dos passageiros têm como destino alguma estação do BRT TransOeste que não o Terminal Alvorada;
- Foi possível, a partir das viagens cujo desembarque foi estimado, montar um fluxo de usuários do BURMRJ ao longo das estações do BRT. Na parte da manhã, há maior concentração no sentido Sul, para acesso às oportunidades urbanas

(emprego, serviços, comércio, lazer) na Baixada de Jacarepaguá e Barra da Tijuca;

- A integração modal tem forte papel no deslocamento dos usuários BURMRJ. Em geral a integração com outros modos ocorre em 70% das viagens no pico da manhã (no trecho anterior ao BRT) e em 96% das viagens no pico da tarde (no trecho posterior ao BRT);
- A distribuição das viagens em mapa indica que as estações com maior quantidade de embarques e desembarques (Madureira e Penha) são aquelas onde acontecem proporcionalmente maior quantidade de transferência de ou para outros modos. Foi encontrada similaridade entre as estações de desembarque do pico da manhã e de embarque no pico da tarde, indicando a realização de atividades laborais nestas. No pico da tarde, há forte concentração de desembarques em poucas estações.

Antes de serem utilizados para fins de supervisão da operação e fiscalização, estes resultados devem ser validados por meio de pesquisas de campo, similarmente ao realizado por MUNIZAGA et al. (2014). Particularmente, recomenda-se que sejam analisados os resultados para a etapa de estimativa com base em proximidade, que levou em conta percentual de utilização de uma estação de BRT em relação ao total para o conjunto de estações possíveis para atribuir o desembarque de uma transação. Para esta etapa seria interessante validar as suposições construídas por meio de uma etapa de verificação espacial georreferenciada das estações cruzadas por cada linha de ônibus do sistema de transporte público complementar ao sistema de BRT.

IV.6 - Considerações Finais do Capítulo

Neste Capítulo a metodologia concebida foi testada para a análise da demanda de passageiros do sistema de BRT da cidade do Rio de Janeiro dos usuários do programa BURMRJ, utilizando-se para tanto exclusivamente dados primários de SBE. A análise contemplou três dimensões: a evolução da demanda ao longo do tempo, a regularidade de comportamento dos usuários no sistema e o local (espaço) de embarque e desembarque das viagens nele realizadas. Retomando o conceito de caracterização da demanda, definido anteriormente (Figura II.2), é possível verificar que parte das análises que são realizadas geralmente com pesquisas manuais, puderam ser reproduzidas ao longo desta aplicação (Tabela IV.12).

Tabela IV.12. Análises relativas à Caracterização da Demanda realizadas em cada etapa da Metodologia
Fonte: Elaboração própria

Análise	Etapa da Metodologia			Observações
	ST	PR	ED	
Contagem de Volume de Passageiros	P	P	V	Contagem de usuários na análise de série temporal e de padrões de regularidade. Quantificação de volume (fluxo) por sentido na etapa de estimativa de desembarque.
Contagem de Embarque e Desembarque de Passageiros	-	P	V	Quantificação de embarque realizada na etapa de análise padrões de regularidade. Quantificação de embarque e desembarque realizada na etapa de estimativa de desembarque.
Pesquisas atitudinais e de preferência	-	P	-	Na etapa de análise de padrões de regularidade foi verificado o comportamento dos passageiros regulares e esporádicos. Estes padrões podem ser estendidos a pesquisas atitudinais e de preferência.
Contagem de passageiros por tipo tarifário	D	D	-	Embora não tenha sido realizada análise por tipo tarifário, esta seria possível, inclusive sendo de interesse analisar sua relação com os padrões de regularidade.
Contagem de Carregamento de Passageiros	-	-	D	Carregamento quantificado na etapa de estimativa de desembarque, embora sejam necessários dados sobre oferta para obter precisão nesta análise.
Pesquisa de aderência a viagens programadas	-	-	D	Com dados detalhados sobre a oferta, seria possível na etapa de Estimativa de Desembarque analisar a aderência a viagens programadas.
Pesquisa Origem-Destino	-	-	D	Nesta pesquisa, foi analisada apenas viagens no sistema de transporte público. Uma pesquisa de origem-destino completa envolve, dentre outros fatores, a detecção de local exato de origem e destino da viagem, motivo e trechos realizados em modos não motorizados ou privados.
Onde:	ST: Análise de Série Temporal / PR: Análise de Padrões de Regularidade / ED: Estimativa de Desembarque / P: Análise desenvolvida parcialmente na etapa em questão / V: Análise desenvolvida integralmente na etapa em questão / D: Análise possível de desenvolver na etapa em questão			

Em todas as etapas exploradas, a quantidade de transações analisadas foi expressiva. Na etapa de série temporal foi utilizado universo de 2.938.072 transações. Na etapa de padrões de regularidade o universo foi de 372.573 transações. Por fim, na etapa de estimativa de desembarque o fluxograma concebido foi aplicado a 231.287 transações. Estes quantitativos dão peso e representatividade aos resultados encontrados. Algumas das análises, como de carregamento e aderência às viagens programadas, não puderam ser desenvolvidas pela falta de dados sobre a oferta (localização dos veículos ou horário programado de viagens). Estes dados enriqueceriam as análises empreendidas, como demonstrado no trabalho de outros autores (GORDON, 2012; GUERRA; BARBOSA; KELLI, 2014; MUNIZAGA; PALMA, 2012; ZHAO, 2004).

Em termos de aplicação, houve contribuição no sentido de melhor compreender os padrões de comportamento da demanda no caso de um sistema de BRT com a utilização deste tipo de dados, até o presente momento realizada por apenas um autor (TAO et al., 2014). A aplicação chegou também ao teste e validação parcial da hipótese central da pesquisa: é maior a taxa de sucesso de estimativa de desembarque para os usuários de utilização regular em no mínimo dois pontos do sistema.

Algumas ressalvas e limitações quanto a esta aplicação existem: (i) por disponibilidade de dados, foram analisados apenas viagens de passageiros do BRT usuários do BURMRJ, isto é, apenas viagens de âmbito intermunicipal, pouco menos de 5% do total de embarques do sistema de BRT; (ii) o sistema de BRT enfrenta uma grande quantidade de evasão tarifária (G1 GLOBO, 2015), já que estes usuários permanecem invisíveis para a bilhetagem eletrônica, não sendo possível detectar seus padrões, embora DEVILLAINÉ et al. (2013) apontem algumas medidas a serem consideradas nestes casos; (iii) para serem utilizadas por parte dos agentes operadores e fiscalizadores, os resultados das etapas do fluxograma e suas respectivas taxas de sucesso devem ser validadas por meio de pesquisas de campo, similarmente ao realizado por MUNIZAGA et al. (2014); (iv) a análise de regularidade se limitou em dizer se o usuário era regular, não tendo buscado perfis diferenciados de utilização e regularidade que poderiam aprofundar a associação com os resultados de estimativa de desembarque.

CAPÍTULO V - CONCLUSÃO

No mundo, numerosos autores já se dedicaram a aplicações variadas de dados de Sistema de Bilhetagem Eletrônica para traçar o perfil da demanda de sistemas de transporte público. Seguindo a linha de trabalhos como de BAGCHI E WHITE (2005), CHU E CHAPLEAU (2013), ZHAO (2004), GUERRA (2011), MUNIZAGA (2012; 2014) e GORDON (2012), esta pesquisa estruturou uma metodologia que permite guiar a análise: (i) da evolução ao longo do tempo da demanda de um sistema em específico, (ii) da regularidade dos seus usuários, avaliada individualmente, e (iii) da estimativa do local de desembarque no caso de viagens realizadas em sistemas dotados de estações.

A metodologia concebida foi aplicada no caso do sistema de BRT da cidade do Rio de Janeiro, que conta atualmente com dois corredores, o BRT TransOeste e o BRT TransCarioca, utilizando-se, para tanto, dados do SBE do programa de subsídio tarifário BURMRJ. A evolução foi traçada a partir de dados de quase 3 milhões de transações. Os padrões de regularidade foram analisados a partir de 372 mil transações envolvendo 80 mil cartões, dos quais 22% foram considerados usuários regulares. A estimativa de desembarque foi testada em mais de 231 mil transações, tendo sido bem-sucedida em 155 mil casos (67%). Os resultados foram analisados do ponto de vista de sua distribuição temporal e espacial. A aplicação comprovou o potencial deste tipo de dados em caracterizar a demanda de um sistema de transporte público, objetivo central da pesquisa, e validou numericamente parte da hipótese central formulada, qual seja, é maior a taxa de sucesso de estimativa de desembarque para usuários que apresentam regularidade em no mínimo dois pontos do sistema se comparada àquela de usuários esporádicos (84% para aquele grupo contra 62% para este, isto é, uma diferença de 22pp).

A seguir são tratadas algumas recomendações do ponto de vista tecnológico e sistêmico que poderiam aprofundar as análises e recomendações para pesquisas futuras que se interessem em avançar nos limites das aplicações já realizadas.

Recomendações Tecnológicas e Sistêmicas

Nas cidades que contam com SBE, os sistemas de transporte público são, em sua maioria, abertos, contando com um validador para registro da entrada do usuário na estação ou veículo. Em geral, este fato está ligado à necessidade de a transação ser realizada rapidamente para evitar a formação de filas. Uma evolução tecnológica possível seria a implementação de um sistema de reconhecimento de saída que registre o momento e local de saída do usuário e que opere, no entanto, a distâncias maiores que em uma transação tarifária convencional.

Incentivos por parte do governo federal poderiam ser pensados para estimular cidades a utilizarem esta tecnologia. O Sistema de Informações em Mobilidade Urbana, em desenvolvimento pelo Ministério das Cidades, poderia recomendar a utilização destes dados para a publicação de forma padronizada de indicadores de mobilidade básicos, como distância percorrida no transporte público. Além de fácil implementação e de permitir a comparação de cidades em todo território nacional, esta medida estimularia os corpos técnicos das respectivas secretarias a manipularem tais recursos.

Caso consiga ser definido o local de desembarque do usuário no sistema com sucesso e confiabilidade, outras modalidades tarifárias poderiam ser pensadas como, por exemplo, a automatização de tarifa por quilômetro sendo paga após detecção do desembarque, similarmente ao que é realizado em sistemas fechados da Holanda, Londres, Washington e Seul (PELLETIER; TRÉPANIER; MORENCY, 2011).

Por fim, é recomendável que o sistema de bilhetagem seja único e abranja todos os benefícios e sistemas existentes no território metropolitano. No caso do Rio de Janeiro, por exemplo, há uma série de “bilhetes únicos” (ex: intermunicipal, municipal do Rio de Janeiro, municipal de Niterói, expressos, etc.). É essencial também que o cartão possa ser habilitado para o passe semanal, mensal ou anual, ou seja, sem limite de utilização no período contratado. Somente assim o bilhete poderá, por um lado, garantir a confiança do cidadão em seu uso e, por outro, englobar uma eventual análise de todas as viagens realizadas pelo mesmo (OLIVEIRA; SILVA; NASSI, 2016).

Recomendações de Pesquisa

Poucas pesquisas tiveram acesso aos dados socioeconômicos dos usuários, em função principalmente da segurança e sigilo pessoais (PELLETIER; TRÉPANIER; MORENCY, 2011). É de se mencionar, no entanto, que este tipo de dados permitiria adicionar outra variável – o perfil socioeconômico do usuário – à gama de análises para a caracterização da demanda a partir de dados do SBE. Seria então possível estudar – recorrendo-se ao sequenciamento metodológico proposto e sob a luz do conceito de equidade (OLIVEIRA; MOURA; ROCHA, 2015) – que parcelas da população, em termos de renda, gênero ou idade por exemplo, apresentam evolução ao longo de tempo; quais são as que apresentam maior regularidade de viagem; e como se distribuem os deslocamentos espaciais na rede de transportes. Pesquisas sobre equidade de utilização de sistemas de transporte público a partir de dados de SBE já foram realizadas para apontar a diferença de padrões de viagens entre etnias (DUMAS, 2015) e entre zonas de uma cidade (AMAYA; MUNIZAGA, 2013).

Atualmente os dados utilizados nas análises correspondem a transações passadas e armazenadas no SBE. CHU E CHAPLEAU (2013) argumentam que seria possível estudar o processamento dinâmico dos dados, com uma decalagem mínima de sua efetivação por parte do usuário, podendo-se produzir informações em tempo real sobre a utilização do sistema. O monitoramento *on-line*, por exemplo, da quantidade de embarques em cada estação poderia ser utilizado como alternativa mais precisa para a detecção de eventuais picos de demanda, atualmente realizada por meio de supervisão de imagens de câmeras de segurança, e assim apoiar intervenções táticas no sistema.

Pela disponibilidade de dados ao longo do tempo em todos os pontos da rede de transporte público, os SBEs permitiriam ainda detectar eventuais efeitos de rede com a implantação dos corredores de BRT do Rio de Janeiro. Em especial, destaca-se a investigação do impacto nas transferências e no tempo de viagem. Outro ponto importante a ser explorado trata da regularidade do horário de chegada dos usuários ao transporte público (que tende a ser mais concentrada em sistemas estruturantes), por meio, por exemplo, da utilização do *reliability buffer time* (WILSON, 2016).

A metodologia empregada utilizou alguns princípios e métodos de prospecção de informações de grandes bases de dados. Porém, não se buscou investigar as técnicas e ferramentas mais atuais existentes para classificação e detecção de padrões, campo conhecido como mineração de dados (*data mining* na expressão em inglês). Para que seja possível evoluir neste frutífero campo a partir do ponto de finalização desta pesquisa, as bases de dados utilizadas e as consultas empreendidas estão disponíveis no seguinte repositório *on-line*: github.com/gabrieltoliveira.

Enfim, pela grande quantidade de dados gerados de forma contínua e abrangente e o grau de precisão e desagregação dos resultados encontrados, é notável que os SBE têm a capacidade de progredir em uma nova era os sistemas de transporte público, ao transformar sua operação, fiscalização e planejamento de ricos em dados pobres a ricos em informações. Esta pesquisa buscou traçar um ensaio extensivo da utilização de dados de SBE e espera-se que possa constituir um referencial teórico e prático sobre a aplicação desta tecnologia na caracterização da demanda e em sua utilização no processo de planejamento de transportes.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMAYA, M.; MUNIZAGA, M. Estimación de Zona de Residencia en Base a Sistemas Tecnológicos de Transporte Público. XVI Congreso Chileno de Ingeniería de Transportes. **Anais...** Santiago, 2013. Disponível em: <<http://repositorio.uchile.cl/>>. Acesso em: 13 dez. 2015.
- ATTANUCCI, J.; WILSON, N.H.M. **Bus Transit Monitoring Manual: Volume 1: Data Collection Program Design**. US Department of Transportation, 1981.
- BAGCHI, M.; WHITE, P. R. The potential of public transport smart card data. **Transport Policy**, v. 12, n. 5, p. 464–474, 2005.
- BANKS, J. H. Transportation Planning. **Introduction to Transportation Engineering**. McGraw-Hill, 1998.
- BARRY, J.J.; NEWHOUSER, R.; RAHBEE, A.; SAYEDA, S. Origin and destination estimation in New York City with automated fare system data. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, n. 1817, p. 183–187, 2002.
- BUNEMAN, K. Automated and Passenger-Based Transit Performance Measures. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, n. 992, p. 23-28, 1984.
- CARVALHO, C. H. R. DE. Panorama da Bilhetagem no Brasil. In: **Bilhetagem Automática e Gestão nos Transportes Públicos - Série Cadernos Técnicos Volume 1**. ANTP, p. 8–20, 2003.
- CENEVIVA, C. **Curitiba e sua Rede Integrada de Transporte**. Disponível em: <<http://siteresources.worldbank.org/>>. Acesso em: 1 jun. 2015.
- CENTRAL-RJ. **PDTU 2003 - Pesquisa Origem Destino**. Disponível em: <<http://www.central.rj.gov.br/>>. Acesso em: 7 dez. 2015.
- CHU, A.; CHAPLEAU, R. Smart Card Validation Data as a Multi-Day Transit Panel Survey to Investigate Individual and Aggregate Variation in Travel Behavior. In: **Transport Survey Methods: Best Practice for Decision Making**. Emerald Goup Publishing Limited, p. 649–671, 2013.
- CHU, A.; SPURR, T.; CHAPLEAU, R. **Travel demand characterization for a large urban transit infrastructure using smart card transaction data**. 13th WCTR. **Anais...** Rio de Janeiro, p. 1–14, 2013.
- CUI, A. **Bus Passenger Origin-Destination Matrix Estimation Using Automated Data Collection Systems**. Dissertação de Mestrado – Massachusetts Institute of Technology. 2006.
- DEVILLAINÉ, F. G. **Estimación de viajes y actividades en base a sistemas tecnológicos de transporte público**. Dissertação de Mestrado – Universidad de Chile. 2012.
- DEVILLAINÉ, F.; MUNIZAGA, M.; PALMA, C.; ZÚÑIGA, M. Towards a Reliable Origin-Destination Matrix

- from Massive Amounts of Smart Card and GPS Data: Application to Santiago. In: **Transport Survey Methods: Best Practice for Decision Making**. Emerald Goup Publishing Limited, p. 695–709, 2013.
- DEVILLAIN, F.; MUNIZAGA, M.; TRÉPANIÉ, M. Detection of Activities of Public Transport Users by Analyzing Smart Card Data. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, v. 2276, p. 48–55, 2012.
- DOS SANTOS, R. T.; AMICCI, A. G. N.; MALBURG, C. H. R.; et al. Demanda por investimentos em mobilidade urbana no Brasil. **BNDES Setorial**, v. 41, p. 79–134, 2015.
- DUMAS, R. A. **Analyzing Transit Equity Using Automatically Collected Data**. Dissertação de Mestrado – Massachusetts Institute of Technology. 2015.
- ECO, U. **Como se faz uma tese**. 2a ed. São Paulo: Editora Perspectiva, 1985.
- FARZIN, J. M. **Summary of fraudulent farecard use patterns in São Paulo’s public transit network**. 2007. Disponível em: <<http://www.wctrs-society.com/>>. Acesso em: 10 mai. 2015
- FARZIN, J. M. Constructing an Automated Bus Origin – Destination Matrix Using Farecard and Global Positioning System Data in São Paulo , Brazil. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, n. 2072, p. 30–37, 2008.
- G1 GLOBO. **Passageiros andam na pista exclusiva do BRT para não pagar passagem**. Disponível em: <<http://g1.globo.com/>>. Acesso em: 6 out. 2015.
- GEGO. **Nossa história**. Disponível em: <<http://www.metrobus.go.gov.br/>>. Acesso em: 1 jun. 2015.
- GERMANI, E. Tecnologia da Bilhetagem Automática. In: **Bilhetagem Automática e Gestão nos Transportes Públicos - Série Cadernos Técnicos Volume 1**. ANTP, p. 70–91, 2003.
- GORDON, J. B. **Intermodal Passenger Flows on London’s Public Transport Network**. Dissertação de Mestrado – Massachusetts Institute of Technology. 2012.
- GOULET-LANGLOIS, G. **Exploring Regularity and Structure in Travel Behavior Using Smartcard Data**. Dissertação de Mestrado – Massachusetts Institute of Technology. 2015.
- GUERRA, A. L. **Determinação de Matriz Origem/Destino Utilizando Dados do Sistema de Bilhetagem Eletrônica**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Minas Gerais. 2011.
- GUERRA, L.; BARBOSA, H. M.; KELLI, L. Estimativa de matriz origem/destino utilizando dados do sistema de bilhetagem eletrônica: proposta metodológica. **Transportes**, v. 22, n. 3, p. 26–38, 2014.
- IBGE. **Nota Técnica - Estimativas da População dos Municípios Brasileiros com data de referência em 1º de Julho de 2014**. 2014.
- ITDP. **Padrão de Qualidade de BRT 2014**. 2014a.

- ITDP. **Bus Rapid Transit Nearly Quadruples Over Ten Years**. Disponível em: <<https://www.itdp.org/>>. Acesso em: 1 dez. 2014b.
- JACOBS, J. **Morte e Vida de Grandes Cidades**. 3ª ed. São Paulo: Martins Fontes, 1961.
- KUSAKABE, T.; ASAKURA, Y. Behavioural data mining of transit smart card data: A data fusion approach. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, v. 46, p. 179–191, 2014.
- LIANFU, Z.; SHUZHI, Z.; YONGGANG, Z.; ZIYIN, Z. Study on the method of constructing bus stops OD matrix based on IC card data. **2007 International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, WiCOM 2007**, p. 3142–3145, 2007.
- MA, X.; WU, Y.-J.; WANG, Y.; CHEN, F.; LIU, J. Mining smart card data for transit riders' travel patterns. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, v. 36, p. 1–12, 2013.
- MIHESSEN, V. D. Mobilidade urbana e liberdades reais - Transporte como política inclusiva. ANPET. **Anais...** Belém, 2013.
- MIHESSEN, V. D. **Mobilidade Urbana e Mercado de Trabalho no Rio de Janeiro Metropolitano**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal Fluminense. 2014.
- MILKOVITS, M. Modeling the Factors Affecting Bus Stop Dwell Time: Use of Automatic Passenger Counting, Automatic Fare Counting, and Automatic Vehicle Location Data. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, v. 2072, p. 125–130, 2008.
- MOJICA, C. H. **Examining changes in transit passenger travel behavior through a Smart Card activity analysis**. Dissertação de Mestrado – Massachusetts Institute of Technology. 2008.
- MORENCY, C.; TRÉPANIÉ, M.; AGARD, B. Measuring transit use variability with smart-card data. **Transport Policy**, v. 14, n. 3, p. 193–203, 2007.
- MUNIZAGA, M.; DEVILLAINÉ, F.; NAVARRETE, C.; SILVA, D. Validating travel behavior estimated from smartcard data. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, v. 44, p. 70–79, 2014.
- MUNIZAGA, M.; PALMA, C. Estimation of a disaggregate multimodal public transport Origin-Destination matrix from passive smartcard data from Santiago, Chile. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, v. 24, p. 9–18, 2012.
- NERI, M. C. **Impactos Sociais do Bilhete Único Intermunicipal no Grande Rio**. Rio de Janeiro, 2010.
- NTU. **Avaliação Comparativa das Modalidades de Transporte Público Urbanos**. 2009.
- NUÑEZ, C.; MUNIZAGA, M.; GSCHWENDER, A. Cálculo de indicadores de calidad de servicio del sistema de transporte público de Santiago a partir de datos pasivos. XVI Congreso Chileno de Ingeniería de Transportes. **Anais...** Santiago, 2013. Disponível em: <<http://www.sochitrán.cl/>>. Acesso em: 29 nov. 2015.

- OLIVEIRA, G. T. DE; MOURA, I. B. DE; ROCHA, J. P. Análise da Equidade de Impactos do BRT TransCarioca na Mobilidade de Usuários com Diferentes Níveis de Renda. ANPET. **Anais...** Ouro Preto, 2015.
- OLIVEIRA, G. T. DE; SILVA, A. J. DE O. DA; NASSI, C. D. Detecção de padrões de mobilidade urbana em dia atípico a partir de sistema de bilhetagem eletrônica: análise das viagens na RMRJ durante o carnaval. **Journal of Transport Literature**, v. 10, n. 4, p. 20–24, 2016.
- ORTEGA-TONG, M. A. **Classification of London’s Public Transport Users Using Smart Card Data**. Dissertação de Mestrado – Massachusetts Institute of Technology. 2013.
- ORTÚZAR, J. DE D. **Estado de la Práctica en Encuestas de Movilidad Metropolitanas y su Importancia en Planificación Estratégica**. Disponível em: <<http://www.sochitran.cl/>>. Acesso em: 7 dez. 2015.
- ORTÚZAR, J. DE D.; WILLUMSEN, L. G. **Modelling Transport, 4th Edition**. 4th ed. 2011.
- PAGET-SEEKINS, L. Bus rapid transit as a neoliberal contradiction. **Journal of Transport Geography**, v. 48, p. 115–120, 2015.
- PCC. **Aqui o progresso anda de ônibus**. Disponível em: <<http://www.curitiba.pr.gov.br/>>. Acesso em: 20 mai. 2006.
- PELLETIER, M.-P.; TRÉPANIER, M.; MORENCY, C. Smart card data use in public transit: A literature review. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, v. 19, n. 4, p. 557–568, 2011.
- REICHMAN, S. **Les transports: servitude ou liberté**. 1ere ed. 1983.
- ROSSI, J. W.; NEVES, C. DAS. **Econometria e séries temporais com aplicações a dados da economia brasileira**. Rio de Janeiro: LTC, 2014.
- SEPLAG-RJ. **Estado do Rio terá orçamento de R\$ 75,9 bilhões em 2014**. Disponível em: <<http://www.rj.gov.br/>>. Acesso em: 1 jul. 2015.
- SEPLAG-RJ; PWC. **Estudos Financeiros de Longo Prazo do Programa BUI**. 2014.
- SEREBRISKY, T.; GÓMEZ-LOBO, A.; ESTUPIÑÁN, N.; MUÑOZ-RASKIN, R. Affordability and Subsidies in Public Urban Transport: What Do We Mean, What Can Be Done? **Transport Reviews**, v. 29, n. 6, p. 715–739, 2009.
- SETRANS-RJ. **PDTU Pesquisas de Origem e Destino - Aspectos da Realização das Pesquisas de Campo Domiciliar e Interceptação**. 2013a.
- SETRANS-RJ. **PDTU 2013 - Plano Diretor de Transporte Urbano - RJ**. Rio de Janeiro, 2013b.
- STM-SP. **Pesquisa de Origem e Destino RMSP 1997 - Síntese das Informações Pesquisa Domiciliar e Linha de Contorno**. Disponível em: <<http://www.metro.sp.gov.br/>>. Acesso em: 7 dez. 2015.

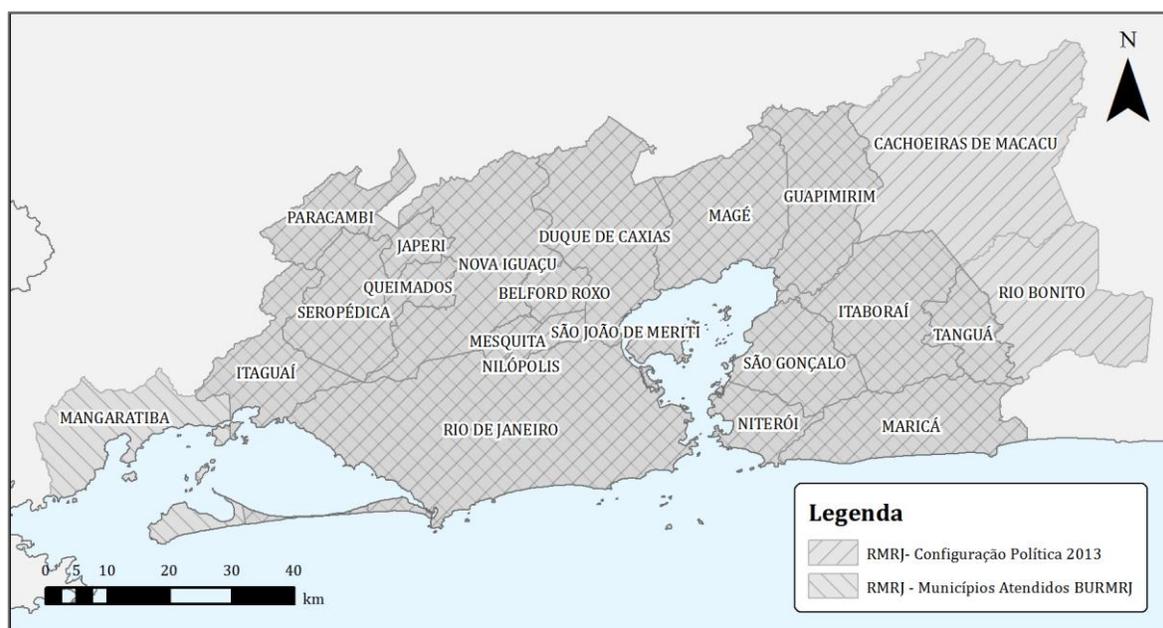
- STM-SP. **Pesquisa Origem e Destino RMSP 2007 - Síntese das Informações Pesquisa Domiciliar**. Disponível em: <<http://www.stm.sp.gov.br/>>. Acesso em: 7 dez. 2015.
- SUZUKI, H.; CERVERO, R.; IUCHI, K. **Transforming Cities with Transit**. The World Bank, 2013.
- TAO, S.; CORCORAN, J.; MATEO-BABIANO, I.; ROHDE, D. Exploring Bus Rapid Transit passenger travel behaviour using big data. **Applied Geography**, v. 53, p. 90–104, 2014.
- TRANSMILENIO S.A. **TransMilenio: Historia**. Disponível em: <<http://www.transmilenio.gov.co/>>. Acesso em: 1 jun. 2015.
- TRÉPANIER, M.; TRANCHANT, N.; CHAPLEAU, R. Individual Trip Destination Estimation in a Transit Smart Card Automated Fare Collection System. **Journal of Intelligent Transportation Systems**, v. 11, p. 1–14, 2007.
- UN-HABITAT; PETRELLA, L.; HOGAN, J.; VAGGIONE, P. **Urban Planning for City Leaders**. UN-HABITAT, 2012.
- VUCHIC, V. R. **Urban Transit: Operations, Planning and Economics**. John Wiley & Sons, 2005.
- WANG, W.; ATTANUCCI, J. P.; WILSON, N. H. M. Bus Passenger Origin-Destination Estimation and Related Analyses Using Automated Data Collection Systems. **Journal of Public Transportation**, v. 14, n. 4, p. 131–150, 2011.
- WILSON, N. H. M. Opportunities provided by automated data collection systems. In: J. C. Munoz; L. Paget-Seekins (Orgs.); **Restructuring public transport through Bus Rapid Transit**. Policy Press, p. 263–280, 2016.
- WILSON, N. H. M.; ZHAO, J.; RAHBEE, A. The potential impact of automated data collection systems on urban public transport planning. In: N. H. M. Wilson; A. Nuzzolo (Orgs.); **Schedule-Based Modeling of Transportation Networks: Theory and applications**. Springer, 2009.
- WRIGHT, L.; HOOK, W. **Bus Rapid Transit Planning Guide**. New York: ITDP, 2007.
- ZHAO, J. **The Planning and Analysis Implications of Automated Data Collection Systems : Rail Transit OD Matrix Inference and Path Choice Modeling Examples**. Dissertação de Mestrado – Massachusetts Institute of Technology. 2004.
- ZHAO, J.; RAHBEE, A.; WILSON, N. H. M. Estimating a rail passenger trip origin-destination matrix using automatic data collection systems. **Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering**, v. 22, n. 5, p. 376–387, 2007.
- ZHONG, C.; MANLEY, E.; MÜLLER ARISONA, S.; BATTY, M.; SCHMITT, G. Measuring variability of mobility patterns from multiday smart-card data. **Journal of Computational Science**, v. 9, p. 125–130, 2015.

ANEXO I: MUNICÍPIOS ABRANGIDOS PELO PROGRAMA BURMRJ

O programa de BURMRJ abrange os seguintes municípios, conforme detalhado no art. 1º, § 2º do Decreto Estadual nº 42.262/2010: Belford Roxo, Duque de Caxias, Guapimirim, Itaboraí, Itaguaí, Japeri, Magé, Mangaratiba, Maricá, Mesquita, Nilópolis, Niterói, Nova Iguaçu, Paracambi, Queimados, Rio de Janeiro, São Gonçalo, São João de Meriti, Seropédica e Tanguá.

A abrangência da RMRJ foi desde então alterada e abrange hoje os seguintes 21 municípios conforme Art. 1º da Lei Estadual Complementar nº 158/2013: Rio de Janeiro, Belford Roxo, Duque de Caxias, Guapimirim, Itaboraí, Japeri, Magé, Maricá, Mesquita, Nilópolis, Niterói, Nova Iguaçu, Paracambi, Queimados, São Gonçalo, São João de Meriti, Seropédica, Tanguá, Itaguaí, Rio Bonito e Cachoeiras de Macacu.

A diferença de abrangência entre os municípios contemplados pelo programa BURMRJ e aqueles que atualmente compõem a RMRJ é apresentada no mapa abaixo:



Anexo – Mapa 1. Municípios abrangidos pelo programa BURMRJ e inseridos na RMRJ segundo configuração político-administrativa de 2013

Fonte: Elaboração própria.

ANEXO II: MODOS CONSIDERADOS PARA EFEITO DO BURMRJ

O programa de BURMRJ abrange os seguintes modos de transporte, conforme detalhado no art. 4º do Decreto nº 42.262/2010:

“Art. 4º O usuário, devidamente cadastrado, poderá utilizar o Bilhete Único no deslocamento entre dois ou mais municípios da Região Metropolitana do Estado do Rio de Janeiro, ficando assegurado o benefício nos seguintes modais de transporte coletivo:

I. Ônibus convencionais, dotados de duas portas, de empresas com concessão ou permissão de linhas rodoviárias intermunicipais, delegadas pelo Estado do Rio de Janeiro;

II. Veículos de baixa capacidade de pessoas físicas, com permissão de linhas intermunicipais de transporte complementar [vans intermunicipais], delegadas pelo Estado do Rio de Janeiro;

III. Ônibus convencionais, dotados de duas portas, de empresas com concessão ou permissão de linhas municipais, delegadas pelos municípios que compõem a Região Metropolitana do Rio de Janeiro, quando houver integração com serviço intermunicipal.

IV. Metrô de empresa com concessão de linhas metroviárias, delegada pelo Estado do Rio de Janeiro, quando houver integração com serviço de transporte intermunicipal;

V. Trens de empresa com concessão de linhas ferroviárias, delegada pelo Estado do Rio de Janeiro, quando houver serviço de transporte intermunicipal;

VI. Barcas de empresa com concessão de linhas aquaviárias, delegada pelo Estado do Rio de Janeiro, quando houver integração com serviço de transporte intermunicipal ou municipal.”

ANEXO III: RELAÇÃO DIÁRIA COMPLETA DE TRANSAÇÕES E CARTÕES

Anexo – Tabela 1. Quantidade de Transações, Transações Ancoradas, Cartões e Cartões com Âncora por dia

Fonte: Elaboração própria. Dados: SBE-BURMRJ

Data	Dia da Semana	Trans.	Trans. Ânc.	% Trans. Ânc. / Trans.	Cart.	Cart. com Ânc.	% Cart. Ânc. / Cart.
2015-03-01	Dom.	3 921	1 278	33%	3 480	1 419	41%
2015-03-02	2ª f.	15 789	8 521	54%	13 302	8 219	62%
2015-03-03	3ª f.	16 497	9 136	55%	13 696	8 777	64%
2015-03-04	4ª f.	16 834	9 511	57%	14 062	9 151	65%
2015-03-05	5ª f.	16 724	9 533	57%	13 981	9 103	65%
2015-03-06	6ª f.	17 167	9 495	55%	14 509	9 226	64%
2015-03-07	Sáb.	8 137	3 575	44%	7 013	3 674	52%
2015-03-08	Dom.	4 312	1 454	34%	3 849	1 624	42%
2015-03-09	2ª f.	16 502	9 651	58%	13 777	9 207	67%
2015-03-10	3ª f.	16 851	10 067	60%	14 092	9 568	68%
2015-03-11	4ª f.	17 033	10 370	61%	14 203	9 781	69%
2015-03-12	5ª f.	16 825	10 446	62%	14 000	9 795	70%
2015-03-13	6ª f.	16 997	10 310	61%	14 297	9 843	69%
2015-03-14	Sáb.	7 939	3 710	47%	6 824	3 733	55%
2015-03-15	Dom.	4 255	1 545	36%	3 777	1 693	45%
2015-03-16	2ª f.	16 371	10 129	62%	13 814	9 502	69%
2015-03-17	3ª f.	16 549	10 240	62%	13 800	9 528	69%
2015-03-18	4ª f.	16 851	10 317	61%	14 005	9 611	69%
2015-03-19	5ª f.	16 112	9 871	61%	13 482	9 154	68%
2015-03-20	6ª f.	15 663	9 239	59%	13 444	8 896	66%
2015-03-21	Sáb.	4 512	2 003	44%	4 191	2 208	53%
2015-03-22	Dom.	2 499	867	35%	2 403	1 043	43%
2015-03-23	2ª f.	15 682	8 857	56%	13 272	8 589	65%
2015-03-24	3ª f.	16 220	9 258	57%	13 586	8 842	65%
2015-03-25	4ª f.	16 085	9 035	56%	13 500	8 641	64%
2015-03-26	5ª f.	16 005	8 829	55%	13 396	8 481	63%
2015-03-27	6ª f.	16 384	8 770	54%	13 933	8 518	61%
2015-03-28	Sáb.	7 857	3 292	42%	6 794	3 416	50%

ANEXO IV: RELAÇÃO HORÁRIA DE TRANSAÇÕES E CARTÕES

Anexo – Tabela 2. Quantidade Média de Transações por Hora por dia de Semana

Fonte: Elaboração própria. Dados: SBE-BURMRJ

Hora do Dia	Dia útil					Média	Sáb.	Dom.	Média Total
	2ª f.	3ª f.	4ª f.	5ª f.	6ª f.				
0	16	21	23	26	26	22	32	36	26
1	8	9	8	12	14	10	14	27	13
2	7	9	11	10	9	9	18	20	12
3	24	29	35	36	32	31	16	13	26
4	546	541	564	551	520	544	177	52	421
5	1 587	1 703	1 752	1 697	1 613	1 670	630	274	1 322
6	1 685	1 704	1 734	1 665	1 730	1 703	715	305	1 362
7	1 349	1 375	1 393	1 372	1 384	1 374	584	301	1 108
8	875	868	876	891	848	871	380	162	700
9	488	480	480	467	453	473	248	131	392
10	376	350	333	324	331	343	235	124	296
11	351	361	358	365	364	360	262	132	313
12	456	426	462	421	497	452	395	153	401
13	408	443	445	408	482	437	406	142	390
14	514	533	545	550	645	557	429	162	483
15	794	836	841	815	1 120	881	386	169	709
16	1 393	1 460	1 493	1 452	1 930	1 545	496	224	1 207
17	2 194	2 214	2 143	2 176	1 532	2 052	468	291	1 574
18	1 349	1 397	1 409	1 407	1 269	1 366	378	279	1 070
19	867	912	908	900	805	878	332	295	717
20	359	403	420	396	430	401	198	181	341
21	188	212	219	214	234	213	121	133	189
22	190	180	192	194	205	192	130	100	170
23	63	66	61	69	82	68	66	44	64
Soma Total	16 086	16 529	16 701	16 417	16 553	16 457	7 111	3 747	13 306

ANEXOS

Anexo – Tabela 3. Percentual Médio de Cartões com Âncora por Hora por dia de Semana

Fonte: Elaboração própria. Dados: SBE-BURMRJ

Hora do Dia	Dia útil					Média	Sáb.	Dom.	Média Total
	2ª f.	3ª f.	4ª f.	5ª f.	6ª f.				
0	37%	47%	51%	52%	55%	48%	39%	27%	44%
1	24%	52%	50%	50%	51%	45%	26%	20%	39%
2	43%	71%	45%	60%	53%	54%	31%	23%	46%
3	71%	69%	67%	67%	67%	68%	35%	32%	58%
4	82%	82%	83%	82%	84%	83%	70%	44%	75%
5	80%	81%	81%	81%	81%	81%	74%	59%	77%
6	74%	76%	76%	76%	76%	75%	69%	62%	73%
7	68%	73%	71%	71%	72%	71%	62%	62%	68%
8	65%	66%	66%	65%	68%	66%	53%	43%	61%
9	55%	55%	57%	56%	56%	56%	40%	32%	50%
10	45%	47%	47%	47%	48%	47%	38%	24%	42%
11	44%	44%	46%	47%	46%	45%	41%	30%	43%
12	49%	50%	51%	52%	52%	51%	50%	34%	48%
13	51%	52%	50%	53%	51%	51%	51%	31%	49%
14	57%	59%	57%	58%	59%	58%	54%	38%	55%
15	63%	66%	64%	65%	65%	65%	48%	39%	59%
16	71%	70%	71%	69%	69%	70%	56%	48%	65%
17	73%	72%	73%	72%	68%	72%	54%	48%	66%
18	72%	71%	71%	70%	66%	70%	47%	43%	63%
19	69%	72%	72%	71%	65%	70%	52%	47%	64%
20	68%	68%	69%	69%	62%	67%	44%	37%	59%
21	60%	61%	59%	61%	55%	59%	39%	41%	54%
22	66%	68%	65%	66%	61%	65%	44%	39%	58%
23	57%	58%	54%	58%	50%	55%	36%	47%	51%
Média Total	60%	64%	62%	63%	62%	62%	48%	40%	57%

ANEXO V: RELAÇÃO HORÁRIA DE TRANSAÇÕES E CARTÕES POR ESTAÇÃO

BRT TransCarioca:

Anexo – Tabela 4. Quantidade Média Horária de Transações e Cartões por Estação no BRT TransCarioca

Fonte: Elaboração própria. Dados: SBE-BURMRJ

Estação	Qtd. Média Trans. por Hora (06h)	Prop. de Trans. no Corredor (06h)	Prop. de Trans. Âncoradas (06h)	Qtd. Média Trans. por Hora (17h)	Prop. de Trans. no Corredor (17h)	Prop. de Trans. Âncoradas (17h)
Terminal Madureira - Paulo da Portela	597,6	45,0%	73%	131,9	10,4%	74%
Madureira - Manaceia	145,8	11,0%	55%	38,75	3,1%	47%
Penha I	115	8,7%	73%	48,8	3,8%	64%
Mercadão	89,6	6,8%	63%	20,65	1,6%	42%
Santa Efigênia	38,2	2,9%	63%	97,55	7,7%	63%
Praça Seca	34,8	2,6%	66%	31,3	2,5%	57%
Vicente de Carvalho	29	2,2%	56%	37,55	3,0%	58%
Campinho	23,6	1,8%	72%	6,4	0,5%	57%
Via Parque	22,3	1,7%	71%	43,85	3,5%	57%
Penha II	22,05	1,7%	65%	3,85	0,3%	58%
Curicica	17,9	1,4%	69%	45,35	3,6%	65%
Taquara	15,6	1,2%	52%	91,5	7,2%	64%
Pinto Teles	15,5	1,2%	74%	7,35	0,6%	69%
Maré	15,6	1,2%	56%	12,3	1,0%	53%
Terminal Fundão - Aroldo Melodia	13,75	1,0%	54%	60,2	4,7%	47%
Santa Luzia	10,55	0,8%	59%	19,65	1,6%	46%
Tanque / Terminal Mestre Candeia	10,05	0,8%	61%	35	2,8%	59%
Guaporé	9,15	0,7%	58%	9,35	0,7%	50%
Ipase	8,7	0,7%	52%	2,8	0,2%	50%
Olaria - Cacique de Ramos	7,65	0,6%	44%	9,95	0,8%	53%
Capitão Menezes	7,3	0,6%	60%	9,45	0,7%	60%
Recanto das Palmeiras - Jardim São Luiz	7,15	0,5%	73%	18,85	1,5%	75%
Galeão - Tom Jobim 1	5,5	0,4%	75%	29,55	2,3%	68%
Vila Kosmos - Nossa Senhora do Carmo	5,4	0,4%	59%	11,75	0,9%	53%
Aracy Cabral	5,35	0,4%	68%	17,05	1,3%	61%
Marambaia	4,45	0,3%	81%	6,45	0,5%	50%
Praça do Bandolim	3,75	0,3%	61%	10,8	0,9%	63%
Vila Sapê - IV Centenário	3,6	0,3%	74%	4,65	0,4%	77%
Pastor José Santos	3,6	0,3%	61%	10,15	0,8%	50%
Centro Metropolitano	3,4	0,3%	71%	30,8	2,4%	62%
Vila Queiroz	3,3	0,3%	68%	4,85	0,4%	74%
Vaz Lobo	3,3	0,3%	55%	5,95	0,5%	66%
Pedro Correia	3,3	0,3%	68%	43,6	3,4%	76%
Merck	3,05	0,2%	75%	5,95	0,5%	56%
Otaviano	3	0,2%	47%	2,4	0,2%	67%
Rio II	2,9	0,2%	47%	153,75	12,1%	58%
André Rocha	2,8	0,2%	38%	16,65	1,3%	62%
Arroio Pavuna	2,45	0,2%	63%	10,7	0,8%	64%
Galeão - Tom Jobim 2	2,3	0,2%	46%	31,35	2,5%	66%
Hospital Sarah	2,1	0,2%	67%	47,6	3,8%	72%
Divina Providência	1,6	0,1%	41%	4,05	0,3%	48%
Praça do Carmo	1,4	0,1%	4%	3,05	0,2%	52%
Lourenço Jorge	1,35	0,1%	19%	18,85	1,5%	59%
Cardoso de Moraes - Viúva Garcia	1,15	0,1%	70%	3	0,2%	38%
Aeroporto de Jacarepaguá	0,9	0,1%	39%	10,05	0,8%	44%
Pedro Taques	0,75	0,1%	13%	3,9	0,3%	31%
Ibiapina	0,2	0,0%	0%	0,75	0,1%	33%

BRT TransOeste:*Anexo – Tabela 5. Quantidade Média Horária de Transações e Cartões por Estação no BRT TransOeste**Fonte: Elaboração própria. Dados: SBE-BURMRJ*

Estação	Qtd. Média Trans. por Hora (06h)	Prop. de Trans. no Corredor (06h)	Prop. de Trans. Âncorada (06h)	Qtd. Média Trans. por Hora (17h)	Prop. de Trans. no Corredor (17h)	Prop. de Trans. Âncoradas (17h)
Terminal Alvorada	132,1	35,2%	70%	118,9	15,2%	50%
Terminal Santa Cruz	108,7	28,9%	58%	28,25	3,6%	47%
Terminal Campo Grande	15,85	4,2%	67%	17,2	2,2%	47%
Santa Eugênia	14,6	3,9%	39%	5,15	0,7%	32%
Parque São Paulo	7,35	2,0%	65%	2,2	0,3%	36%
General Olímpio	7,05	1,9%	57%	3,55	0,5%	27%
Três Pontes	5,85	1,6%	69%	1,45	0,2%	52%
Prefeito Alim Pedro	5,7	1,5%	69%	4,2	0,5%	27%
Vilar Carioca	5,2	1,4%	65%	1	0,1%	25%
Mato Alto	5,15	1,4%	35%	2	0,3%	18%
Gláucio Gil	5,1	1,4%	68%	65,2	8,3%	55%
Cajueiros	5	1,3%	74%	2,1	0,3%	64%
Cesarão III	4,8	1,3%	48%	1,35	0,2%	48%
Salvador Allende	4,8	1,3%	48%	61,75	7,9%	54%
Icurana	4,1	1,1%	68%	2,65	0,3%	58%
São Jorge	4	1,1%	68%	2,35	0,3%	85%
Novo Leblon	3,15	0,8%	75%	16,8	2,2%	54%
31 de Outubro	3,1	0,8%	52%	0,75	0,1%	33%
Recreio Shopping	2,95	0,8%	46%	85	10,9%	61%
Santa Veridiana	2,2	0,6%	18%	0,8	0,1%	38%
Gastão Rangel	1,85	0,5%	0%	1,85	0,2%	0%
Bosque da Barra	1,8	0,5%	69%	11,65	1,5%	46%
Cesarão I	1,75	0,5%	46%	1	0,1%	40%
Santa Mônica Jardins	1,75	0,5%	80%	33,4	4,3%	59%
Vendas de Varanda	1,7	0,5%	68%	1,05	0,1%	71%
Américas Park	1,6	0,4%	53%	21,45	2,7%	72%
Gilka Machado	1,4	0,4%	79%	60,9	7,8%	60%
Pedra de Itaúna	1,35	0,4%	70%	20,2	2,6%	57%
Cesarinho	1,3	0,4%	4%	1,6	0,2%	56%
Rio Mar	1,25	0,3%	60%	45,95	5,9%	69%
Pina Rangel	1,2	0,3%	58%	1,1	0,1%	32%
Cosmos	1,2	0,3%	46%	0,2	0,0%	0%
Pontões/ Barrasul	1,1	0,3%	59%	10,2	1,3%	60%
Pingo d'Água	1,1	0,3%	9%	4,8	0,6%	53%
Dom Bosco	1,05	0,3%	71%	34,5	4,4%	75%
Magarça	1	0,3%	20%	1,7	0,2%	32%
Guignard	1	0,3%	75%	12,2	1,6%	53%
Curral Falso	0,85	0,2%	18%	0,4	0,1%	0%
Benvindo de Novaes	0,7	0,2%	50%	10,1	1,3%	43%
Inhoaíba	0,65	0,2%	46%	0,15	0,0%	33%
Ilha de Guaratiba	0,65	0,2%	23%	1,1	0,1%	18%
Interlagos	0,6	0,2%	67%	20,9	2,7%	55%
Nova Barra	0,6	0,2%	67%	33,85	4,3%	65%
Parque Esperança	0,5	0,1%	20%	1,2	0,2%	75%
Ana Gonzaga	0,3	0,1%	50%	0,2	0,0%	25%
Julia Miguel	0,2	0,1%	0%	0,15	0,0%	0%
Gelson Fonseca	0,2	0,1%	0%	3,65	0,5%	53%
Recanto das Garças	0,15	0,0%	0%	1,25	0,2%	48%
Guiomar Novais	0,1	0,0%	100%	3	0,4%	20%
Pontal	0,05	0,0%	0%	17,6	2,3%	59%

ANEXO VI: RELAÇÃO DE ESTAÇÕES ESTIMADAS COM BASE EM PROXIMIDADE

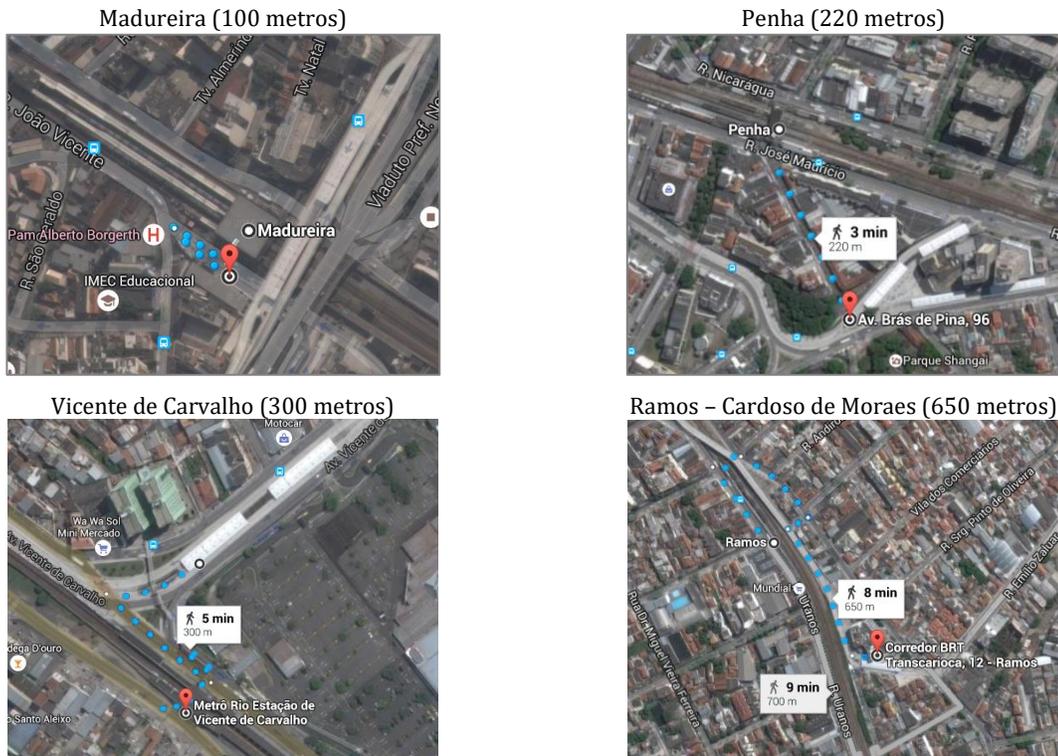
Estações de BRT próximas a estações de Trem e Metrô:

Anexo – Tabela 6. Relação de Estações com Base em Proximidade de Estações de Trem e Metrô

Fonte: Elaboração própria. Dados: SBE-BURMRJ

Modo	Ramal	Estação Trem/Metrô	Estação BRT
Metrô	Mt_L2	Vicente de Carvalho	Vicente de Carvalho
Trem	DEO-SCU-JAP	Madureira	Terminal Madureira - Paulo da Portela
Trem	BRX	M. de Madureira	Mercadão
Trem	SAR	Bonsucesso	Cardoso de Moraes - Viúva Garcia
Trem	SAR	Ramos	Cardoso de Moraes - Viúva Garcia
Trem	SAR	Olaria	Olaria
Trem	SAR	Penha	Penha I
Trem	SAR	Penha Circular	Penha I
Trem	SAR	Bonsucesso - Transferência	Cardoso de Moraes - Viúva Garcia

Exemplo de detecção de estações de BRT próximas a estações de Trem e Metrô:



Anexo – Figura 1. Distância por Caminhada de Estações de Trem e Metrô para a Estação de BRT mais Próxima

Fonte: Google Maps

Estações de BRT próximas a linhas de Ônibus e Vans:

A estimativa com base em proximidade para linhas de ônibus e van são utilizadas apenas para pares A - B realizados mais de cinco vezes ao dia e onde a proporção de B corresponda a mais da metade (50%) das viagens em que A tenha sido utilizado.

Anexo – Tabela 7. Relação de Estações com Base em Proximidade de Linhas de Ônibus e Vans

Fonte: Elaboração própria. Dados: SBE-BURMRJ

Modo	Linha Ônibus / Van (A)	Estação BRT (B)	Qtd. (A-B) /Dia	Prop. (A-B/ total A)
Ônibus I.	Piabetá - Penha	Penha I	216	69%
Ônibus I.	Jardim Redentor - Cascadura	Terminal Madureira - Paulo da Portela	174	61%
Ônibus I.	Nova Iguaçu - Méier (via Norte Shopping)	Terminal Madureira - Paulo da Portela	111	61%
Ônibus I.	Cascadura - Vila Norma (via Vila Tiradentes)	Terminal Madureira - Paulo da Portela	101	56%
Ônibus I.	Charitas - Aeroporto Internacional (via Cidade Universitária)	Terminal Fundão - Aroldo Melodia	90	84%
Ônibus I.	Parque São Vicente - Méier	Terminal Madureira - Paulo da Portela	86	53%
Ônibus I.	Jardim Botânico - Cascadura	Terminal Madureira - Paulo da Portela	84	53%
Ônibus I.	Cosmorama - Cascadura	Terminal Madureira - Paulo da Portela	83	58%
Ônibus I.	Nova Iguaçu - Cascadura	Terminal Madureira - Paulo da Portela	78	59%
Ônibus I.	Nova Iguaçu - Penha	Vicente de Carvalho	72	66%
Ônibus I.	Duque de Caxias - Pilares (via Cidade Alta)	Penha I	58	64%
Ônibus I.	Duque de Caxias - Rocha Miranda	Vicente de Carvalho	46	91%
Ônibus I.	Madureira - Jardim Novo Rio	Terminal Madureira - Paulo da Portela	43	59%
Ônibus I.	Nova Iguaçu - Méier	Terminal Madureira - Paulo da Portela	40	62%
Ônibus I.	Duque de Caxias - Penha	Penha I	36	66%
Ônibus I.	Duque de Caxias - Marçílio Dias (via Mercado São Sebastião)	Penha I	36	89%
Ônibus I.	Duque de Caxias - Freguesia (via Jacarepaguá)	Terminal Madureira - Paulo da Portela	34	53%
Ônibus I.	Duque de Caxias - Jardim Metrôpole	Terminal Fundão - Aroldo Melodia	31	87%
Ônibus I.	Duque de Caxias - Freguesia (via Rocha Miranda)	Terminal Madureira - Paulo da Portela	27	55%
Ônibus I.	Duque de Caxias - Pilares	Penha I	24	56%
Ônibus I.	Nova Aurora - Madureira (via Barros Filho)	Terminal Madureira - Paulo da Portela	22	62%
Ônibus I.	Jardim Botânico - Cascadura (via Vilar dos Teles)	Terminal Madureira - Paulo da Portela	17	53%
Ônibus I.	Barra da Tijuca - Queimados	Via Parque	16	79%
Ônibus I.	Duque de Caxias - Freguesia (via Madureira)	Terminal Madureira - Paulo da Portela	13	51%
Ônibus I.	Barra da Tijuca - Duque de Caxias	Via Parque	12	71%
Van Interm.	PIABETA X PENHA	Penha I	10	73%
Ônibus I.	Shopping Sendas - Madureira	Terminal Madureira - Paulo da Portela	9	57%
Ônibus I.	Jardim Paraíso - Sepetiba	Terminal Santa Cruz	9	53%
Ônibus I.	Duque de Caxias - Engenho da Rainha	Penha I	9	51%
Ônibus I.	Barra da Tijuca - Mesquita	Terminal Fundão - Aroldo Melodia	8	60%
Ônibus I.	Barra da Tijuca - Belford Roxo	Via Parque	8	74%
Ônibus I.	Barra da Tijuca - Nova Iguaçu	Via Parque	7	81%
Ônibus I.	Nova Iguaçu - Praça Seca (via Brigada Paraquedista)	Praça Seca	6	51%
Ônibus I.	Magé - Central	Maré	5	55%
Ônibus I.	Barra da Tijuca - São João de Meriti	Terminal Fundão - Aroldo Melodia	5	59%
Van Interm.	NOVA IGUAÇU X CASCADURA	Terminal Madureira - Paulo da Portela	5	76%