



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**ANÁLISE DE DADOS DE GPS E BILHETAGEM ELETRÔNICA PARA  
DETERMINAÇÃO DO CARREGAMENTO E MATRIZ DE ORIGEM-DESTINO NO  
SISTEMA DE TRANSPORTE PÚBLICO POR ÔNIBUS DE JOÃO PESSOA**

**DIEGO RIBEIRO DE OLIVEIRA GALDINO**

João Pessoa - PB

Junho de 2018

DIEGO RIBEIRO DE OLIVEIRA GALDINO

**ANÁLISE DE DADOS DE GPS E BILHETAGEM ELETRÔNICA PARA  
DETERMINAÇÃO DO CARREGAMENTO E MATRIZ DE ORIGEM-DESTINO NO  
SISTEMA DE TRANSPORTE PÚBLICO POR ÔNIBUS DE JOÃO PESSOA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Civil e Ambiental referente ao Curso de Engenharia Civil do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba como requisito necessário para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Dr. Nilton Pereira de Andrade

JOÃO PESSOA

2018

**Catálogo na publicação**  
**Seção de Catalogação e Classificação**

G149a Galdino, Diego Ribeiro de Oliveira.

ANÁLISE DE DADOS DE GPS E BILHETAGEM ELETRÔNICA PARA  
DETERMINAÇÃO DO CARREGAMENTO E MATRIZ DE ORIGEM-DESTINO  
NO SISTEMA DE TRANSPORTE PÚBLICO POR ÔNIBUS DE JOÃO  
PESSOA / Diego Ribeiro de Oliveira Galdino. - João  
Pessoa, 2018.

74 f. : il.

Orientação: Nilton Pereira de Andrade.  
Monografia (Graduação) - UFPB/CT.

1. Sistema de Transporte Público. 2. Bilhetagem  
Eletrônica. 3. Carregamento de Ônibus. 4. Matriz  
Origem-Destino. 5. Big Data. I. Pereira de Andrade,  
Nilton. II. Título.

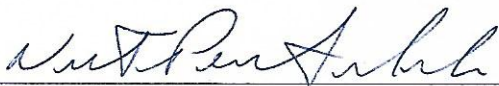
UFPB/BC

## FOLHA DE APROVAÇÃO

DIEGO RIBEIRO DE OLIVEIRA GALDINO

### ANÁLISE DE DADOS DE GPS E BILHETAGEM ELETRÔNICA PARA DETERMINAÇÃO DO CARREGAMENTO E MATRIZ DE ORIGEM-DESTINO NO SISTEMA DE TRANSPORTE PÚBLICO POR ÔNIBUS DE JOÃO PESSOA

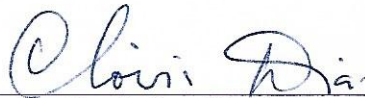
Trabalho de Conclusão de Curso defendido em 15/06/2018 perante a seguinte  
Comissão Julgadora:



Prof. Dr. Nilton Pereira de Andrade

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO



Prof. Dr. Clovis Dias

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

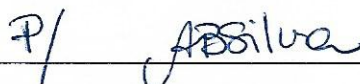
APROVADO



Prof.ª. Ma. Sheila Azevedo Freire

Curso de Arquitetura e Urbanismo do UNIPÊ

APROVADO



Prof.ª. Ana Cláudia Fernandes Medeiros Braga

Matrícula Siape: 1668619

Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil

Prof.ª Andrea Brasiliano  
Vice - Coordenadora - CCGEC  
Siape 1549557

## AGRADECIMENTOS

Quero agradecer, em primeiro lugar, a Deus, pela força e coragem durante toda esta longa caminhada.

Agradeço ao meu orientador, prof. Nilton Pereira de Andrade, por aceitar me orientar neste tema e por não medir esforços nas buscas pelos dados necessários para o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço aos meus pais, Djacira Ribeiro e Manoel Galdino, pelo investimento e incentivo na minha educação, por acreditarem nas minhas decisões e por todo amor que me dão mesmo eu não merecendo tanto.

Agradeço aos meus avós Aluizio, Zuila e Maria, aos meus irmãos Júnior e Fabiano, aos meus tios e primos por todo o apoio, acolhimento e palavras certas.

Agradeço à minha namorada, a melhor que eu poderia querer, Fernanda Diniz, por estar sempre ao meu lado desde o início desta graduação, e por me ajudar todos os dias a ser uma pessoa melhor. Meus dias são mais alegres e leves contigo.

Agradeço ao meu grande amigo e *brother from another mother*, Ycaro Ravel, por todos os anos de convívio desde a infância, todos os momentos que passamos juntos mesmo estando longe, todas as teorias que criamos para explicar diversos assuntos que não tínhamos experiência alguma e todas as conversas diárias que tivemos ao menos para saber quão ruim foi o dia do outro. Além de ter me ajudado com todo o conhecimento de ciência de dados necessário para este trabalho.

Agradeço aos amigos de graduação que ganhei e que partilharam dessa longa e dura jornada ao meu lado, em especial a Beatriz de Araújo pela parceria em inúmeros trabalhos em grupos e por ser amiga também no pessoal.

Agradeço aos engenheiros Carlos Leandro e Camila Maia por me acompanharem e acreditarem no meu trabalho de estágio na Concremat.

Agradeço à SEMOB-JP, na pessoa de Adalberto Araújo, e à SINTUR-JP, através do Eduardo Varandas, pela disponibilidade de informações importantes para este trabalho.

E, por fim, agradeço aos amigos que o Movimento Empresa Júnior (MEJ) me proporcionou, em especial ao Paulo por todo o empreendedorismo que desenvolvemos e compartilhamos desde 2015.

*“Faça o teu melhor, na condição que você tem, enquanto você não tem condições melhores, para fazer melhor ainda.”*

*(Mário Sergio Cortella)*

## RESUMO

O conhecimento da demanda por transportes é um dos principais fatores para se obter sucesso na qualidade e eficiência do sistema de transporte público. Sua determinação, geralmente, passa por modelos matemáticos que analisam diversas variáveis socioeconômicas, porém nos últimos anos uma metodologia vem se tornando cada vez mais presente. O avanço tecnológico dos sensores vem permitindo que diversas cidades brasileiras, como João Pessoa, implantem sistemas de GPS e bilhetagem eletrônica em seus ônibus e analisem esses milhões de dados diários gerados a favor de seus sistemas de transporte público. Este trabalho fez uso de conceitos e técnicas de Big Data para analisar esses dados de GPS e bilhetagem eletrônica com o objetivo de estimar o carregamento e a matriz origem-destino das linhas de ônibus analisadas. Os resultados obtidos foram extremamente satisfatórios, mesmo utilizando um banco de dados reduzido. Essa metodologia permite que os produtos de carregamento e matriz origem-destino sejam determinados sem a necessidade do trabalho manual de agentes ou pesquisadores, reduzindo bastante os custos envolvidos nas coletas de dados e aumentando a periodicidade de resposta à formatação dinâmica de demanda por transportes nas cidades.

**Palavras-chave:** Sistema de Transporte Público. Bilhetagem Eletrônica. Carregamento de Ônibus. Matriz Origem-Destino. Big Data.

## ABSTRACT

Knowledge of the demand for transportation is one of the main factors in achieving success in quality and efficiency of public transportation system. Its determination usually goes through mathematical models that analyze several socioeconomic variables, even though in recent years a methodology has become increasingly present. The technological progress of sensors has allowed several Brazilian cities, such as João Pessoa, to implant GPS systems and Smart Cards in their buses and to analyze these millions of daily data generated in favor of their public transportation systems. This work made use of concepts and techniques of Big Data to analyze this GPS data and Smart Cards in order to estimate the loading and the origin-destination matrix of the analyzed bus lines. The results obtained were extremely satisfactory, even using a reduced database. This methodology allows the product of loading and source-destination matrix to be determined without the need for the manual labor of agents or researchers, greatly reducing the costs involved in data collection and increasing the frequency of response to the dynamic format of demand for transportation in cities.

**Key words:** Public Transportation System. Smart Card. Bus Loading. Origin-Destination Matrix. Big data.



## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 – Microrregião de João Pessoa e sua mancha urbana. ....  | 23 |
| Figura 2 – Rede do Sistema de Transporte Público Urbano por ônibus de João Pessoa/PB. ....  | 26 |
| Figura 3 – Rota da linha 301 (Mangabeira Pedro II).....   | 27 |
| Figura 4 – Tela principal do Anaconda Navigator e localização, em vermelho, do Jupyter Notebook. ....                                       | 34 |
| Figura 5 – Aplicativo Jupyter Notebook com botão <i>launch</i> na tela do Anaconda Navigator .....  | 35 |
| Figura 6 – Recorte de um Jupyter Notebook, utilizado neste trabalho, com células de entrada ( <i>input</i> ) e saída ( <i>output</i> )..... | 35 |
| Figura 7 – Página principal da plataforma Kepler.gl .....   | 36 |
| Figura 8 – Código utilizado para correlacionar cartões às paradas de ônibus em estudo .....   | 38 |
| Figura 9 – Visualização do resultado do cruzamento dos cartões com as paradas.....  | 38 |
| Figura 10 – Código utilizado para o rastreamento dos cartões .....  | 39 |
| Figura 11 – Código utilizado para a aplicação das condições de filtro .....   | 39 |
| Figura 12 – Visualização do resultado do rastreamento dos cartões e estimativas de desembarques .....                                       | 40 |
| Figura 13 – Mapa de círculos proporcionais de embarques realizados na viagem 70742 .....  | 46 |
| Figura 14 – Mapa de círculos proporcionais de embarques realizados na viagem 70822 .....  | 49 |
| Figura 15 – Mapa de linhas de deslocamentos no pico da manhã.....   | 59 |
| Figura 16 – Mapa 3D de arcos de deslocamentos no pico da manhã.....   | 60 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 - Dados sobre o Sistema de Transporte Coletivo Convencional de João Pessoa .....   | 25 |
| Tabela 2 – Primeiras linhas do arquivo de GPS da linha 301 no dia 21/03/2018 .....  | 32 |
| Tabela 3 – Primeiras linhas do arquivo de bilhetagem eletrônica da linha 301 no dia 21/03/2018.....                               | 33 |
| Tabela 4 – Dados do rastreamento de cartões para o cenário 1.....   | 41 |
| Tabela 5 – Dados do rastreamento de cartões para o cenário 2.....   | 41 |
| Tabela 6 – Dados do rastreamento de cartões para o cenário 3.....   | 41 |
| Tabela 7 – Resumo do rastreamento com as duas melhores viagens .....  | 42 |
| Tabela 8 – Embarques separados por tipo de acesso na viagem 70742.....  | 44 |
| Tabela 9 – Total de embarques por parada de ônibus da viagem 70742 .....  | 44 |
| Tabela 10 – Embarques separados por tipo de acesso na viagem 70822.....   | 47 |
| Tabela 11 – Total de embarques por parada de ônibus da viagem 70822 .....   | 47 |
| Tabela 12 – Comparação dos carregamentos extrapolado (viagem 70742, cenário 3) e real (pesquisa em campo no dia 04/05/2017) ..... | 54 |
| Tabela 13 – Numeração dos bairros para melhor formatação da matriz origem-destino.....  | 57 |
| Tabela 14 – Matriz Origem Destino amostral com base no rastreamento do cenário 3.....   | 57 |
| Tabela 15 – Matriz Origem Destino extrapolada com base no rastreamento do cenário 3.....  | 58 |

## LISTA DE GRÁFICOS

|   |    |
|---|----|
| Gráfico 1 – Evolução do rastreamento de cartões e embarques (linha 301, viagem 70742).....      | 42 |
| Gráfico 2 – Evolução do rastreamento de cartões e embarques (linha 301, viagem 70822).....      | 43 |
| Gráfico 3 – Carregamento amostral de passageiros (linha 301, viagem 70742, cenário 1) .....     | 50 |
| Gráfico 4 – Carregamento extrapolado de passageiros (linha 301, viagem 70742, cenário 1) .....  | 51 |
| Gráfico 5 – Carregamento extrapolado de passageiros (linha 301, viagem 70742, cenário 2) .....  | 51 |
| Gráfico 6 – Carregamento extrapolado de passageiros (linha 301, viagem 70742, cenário 3) .....  | 52 |
| Gráfico 7 – Carregamento real da linha 301 (dia 04/05/2017, das 06:24h às 7:40h).....           | 53 |
| Gráfico 8 – Carregamento extrapolado de passageiros (linha 301, viagem 70822, cenário 1) .....  | 55 |
| Gráfico 9 – Carregamento extrapolado de passageiros (linha 301, viagem 70822, cenário 2) .....  | 55 |
| Gráfico 10 – Carregamento extrapolado de passageiros (linha 301, viagem 70822, cenário 3) ..... | 56 |

## SUMÁRIO

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO</b>   | <b>13</b> |
| 1.1      | Apresentação do problema  | 13        |
| 1.2      | Objetivos da pesquisa   | 15        |
| 1.3      | Abordagem metodológica  | 15        |
| 1.4      | Estruturação do trabalho  | 16        |
| <b>2</b> | <b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>  | <b>17</b> |
| 2.1      | Demanda de passageiros por transportes  | 17        |
| 2.2      | Oferta de transporte público coletivo   | 18        |
| 2.3      | Equilíbrio entre a oferta e a demanda por transporte  | 19        |
| 2.4      | Estimativa de demanda por transporte público coletivo e métodos para coleta de dados de deslocamentos | 19        |
| 2.5      | Big Data e Análise de Dados com Python  | 20        |
| 2.5.1    | <i>Aplicação em transporte público coletivo no Brasil</i>   | 21        |
| 2.6      | Considerações finais  | 21        |
| <b>3</b> | <b>ESTUDO DE CASO</b>   | <b>22</b> |
| 3.1      | A cidade de João Pessoa   | 22        |
| 3.2      | O sistema de transporte público urbano por ônibus de João Pessoa                                      | 23        |
| 3.3      | Caracterização da linha 301 (Mangabeira Pedro II)   | 26        |
| <b>4</b> | <b>METODOLOGIA</b>  | <b>28</b> |
| 4.1      | Obtenção dos dados  | 28        |
| 4.2      | Determinação da Origem e Destino  | 29        |
| 4.3      | Determinação do carregamento de linha de ônibus   | 30        |
| <b>5</b> | <b>DESENVOLVIMENTO DO MODELO</b>  | <b>31</b> |
| 5.1      | Solicitação e aquisição dos dados   | 31        |
| 5.1.1    | <i>Sistema de Posicionamento Global (GPS) dos ônibus</i>  | 32        |
| 5.1.2    | <i>Sistema de Bilhetagem Eletrônica (SBE)</i>   | 33        |
| 5.2      | Ferramentas utilizadas  | 33        |
| 5.3      | Tratamento inicial dos dados coletados e associação dos embarques às viagens                          | 36        |
| 5.4      | Rastreamento dos cartões  | 38        |
| <b>6</b> | <b>ANÁLISE DOS RESULTADOS</b>   | <b>40</b> |
| 6.1      | Resultados do rastreamento de cartões   | 40        |
| 6.2      | Embarques   | 43        |

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| 6.2.1    | <i>Viagem 70742</i> .....  | 43        |
| 6.2.2    | <i>Viagem 70822</i> .....  | 46        |
| 6.3      | Carregamentos .....  | 49        |
| 6.3.1    | <i>Viagem 70742</i> .....  | 49        |
| 6.3.2    | <i>Viagem 70822</i> .....  | 54        |
| 6.4      | Matriz Origem Destino .....  | 56        |
| <b>7</b> | <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES</b> .....                  | <b>62</b> |
|          | <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....                            | <b>64</b> |
|          | <b>ANEXO</b> .....   | <b>68</b> |
|          | Anexo I: Rota da Linha 302 (Cidade Verde) .....                    | 68        |
|          | Anexo II: Rota da Linha 303 (Mangabeira Pedro II).....             | 69        |
|          | Anexo III: Rota da Linha 2300 (Circular).....                      | 70        |
|          | Anexo IV: Rota da Linha 2303 (Mangabeira – Rangel – Pedro II)..... | 71        |
|          | Anexo V: Rota da Linha 2307 (Mangabeira – Rangel – Pedro II).....  | 72        |
|          | Anexo VI: Rota da Linha 5307 (Cidade Verde).....                   | 73        |

## **1 INTRODUÇÃO**

Notícias a respeito da redução de passageiros nos transportes públicos, bem como o aumento de veículos individuais, são recorrentes em todo o país. Crédito facilitado para financiamento de veículos particulares, aumento do custo do óleo diesel, aumento da tarifa do transporte público, redução da frota de ônibus, entre outros, são responsáveis pelo decaimento da qualidade do transporte público no Brasil.

Esse ciclo vicioso aumenta o congestionamento e torna a mobilidade nas cidades cada vez mais onerosa e deficitária, principalmente para a população que depende exclusivamente do transporte público para chegar ao trabalho ou à faculdade. Essas mudanças provocadas nas cidades acontecem em ritmo mais acelerado do que o das soluções propostas e implantadas. A cada ano esses problemas se tornam mais complexos e o não acompanhamento deles, no mesmo ritmo pelo menos, dificulta ainda mais o progresso da cidade.

E se ao invés de esperar por 10, 20 ou 30 anos para gastar milhões de reais em pesquisas de mobilidade, que mostrarão que a cidade possui uma dinâmica completamente diferente do que se imagina, fosse possível conhecer e agir diariamente no ajuste da oferta de transporte à demanda requerida? Quantos milhões de reais não são perdidos todos os anos na cidade de João Pessoa devido aos problemas de congestionamento, baixa qualidade do transporte público, altos tempos de viagens e grandes percursos realizados para se ter integração, por exemplo?

Este trabalho traz uma ótica moderna do trabalho com respostas mais rápidas aos problemas identificados no sistema de transporte público urbano. Será mostrado como a análise de dados pode ajudar as cidades a se posicionarem melhor nas problemáticas enfrentadas, podendo visualizar os problemas e as soluções ao mesmo tempo.

### **1.1 Apresentação do problema**

Na frase “O consumo é o objetivo e o desígnio único de qualquer produção”, presente na obra “Uma Investigação sobre a Natureza e as Causas da Riqueza das

Nações”, com primeira publicação em 1776, Adam Smith expressa de forma clara e direta a importante relação entre dois dos principais mecanismos por trás das tendências da economia de mercado: A oferta e a procura. A Lei da Oferta e da Procura trata-se de um dos princípios básicos da economia e está presente em todo e qualquer sistema de produção, seja de produtos ou serviços. A primeira se refere à quantidade total de um produto ou serviço que um setor pode oferecer, enquanto que a segunda se trata do interesse existente em relação ao produto ou serviço em questão. O equilíbrio entre as duas é o que se busca para a máxima eficiência de custos e benefícios do sistema.

Em Transporte Público Urbano (TPU), o estudo da oferta e da procura por viagens, sendo essa mais conhecida no setor como demanda, é um dos mais realizados e importantes para o correto planejamento de sistemas urbanos de transportes. Do lado da demanda está a população que anseia por deslocamentos, seja por conta de trabalho, educação, saúde, lazer ou outros, e na oferta estão as operadoras de transporte público coletivo – como empresas de ônibus, trens e metrô – e de transporte privado individual – como táxis, moto-táxis e Uber. A gestão pública exerce papel intermediário e de defensor das qualidades e benefícios dos serviços ofertados à população, ao mesmo tempo em que zela em contrato pelos interesses econômicos do setor ofertante de tais serviços.

Devido aos extensos e custosos métodos de previsão de demanda por viagens, com durações de meses e custos de unidades de milhões para cidades com portes semelhantes ao de João Pessoa, principalmente por conta da coleta manual dos dados; à dinamicidade que é intrínseca ao tema por conta de diversas variáveis que influenciam as decisões para geração de viagens; à baixa recorrência e atualização dos estudos de demandas nas cidades, com períodos praticados de 5, 10 ou 20 anos – porém, em João Pessoa, o único Plano Diretor de Transportes Urbanos foi apresentado em 1985; entre outros motivos, os sistemas de transportes públicos sofrem com grandes defasagens na tentativa de se chegar ao equilíbrio da curva oferta x demanda.

Tal desequilíbrio no sistema prejudica tanto a população com serviços de transportes disponíveis precários, muitas vezes a custos altos, quanto às operadoras que perdem mais clientes a cada ano e nenhuma decisão significativa é tomada pelo conjunto público-privado. Dados da NTU, publicados em 2017 e

2018, apontam para sucessivas perdas de demanda de passageiros no sistema de ônibus na ordem de 20% e o endividamento de mais de 30% das empresas em operação para o período de 2014 a 2017. No período de 2014 a 2016, cerca de 10% das empresas de ônibus no Brasil declararam falência, encerraram suas atividades, deixaram de participar ou perderam disputas de novas licitações.

Dessa forma, fica evidente a importância de se ajustar a oferta de transporte público à demanda por viagens para que o sistema possa se equilibrar com vista na máxima relação saudável entre os atores envolvidos.

## **1.2 Objetivos da pesquisa**

O objetivo geral da pesquisa é avaliar o uso da análise de dados de geolocalização dos ônibus e de cartões de bilhetagem eletrônica dos passageiros para determinação de carregamento de ônibus e dimensionamento da oferta de ônibus para dias típicos e hora de pico do sistema.

Especificamente, para o cumprimento do objetivo geral, propõe-se:

- Cruzar informações dos cartões de bilhetagem eletrônica com a geolocalização dos ônibus;
- Rastrear cartões com duas ou mais validações no sistema das linhas de ônibus em estudo;
- Estimar desembarque de cada cartão rastreado;
- Determinar o carregamento de pico para a linha 301; e
- Gerar a matriz origem-destino referente à linha 301.

## **1.3 Abordagem metodológica**

Para este trabalho, foi necessário o estudo a respeito da relação da oferta e da demanda por transporte público. Entender quais variáveis são responsáveis pela determinação de como a cidade se deslocará a cada novo período (dia, mês, ano). A revisão bibliográfica foi importante para o completo embasamento do trabalho proposto.



Além das características da engenharia de transportes e mobilidade urbana inerentes ao tema, foi necessário o desenvolvimento de técnicas com as ferramentas de Tecnologia da Informação como a linguagem Python, o Big Data e a visualização de dados. Essas técnicas podem ser aplicadas a diversos setores e, por isso, crescem pelo mundo todo pelas mãos de diversos profissionais.

A partir da união das áreas de engenharia de transportes e tecnologia da informação foi possível obter resultados impressionantes para a pequena dimensão do caso estudado. Os resultados aqui estimados se mostraram fortemente correlacionados aos reais encontrados em pesquisas de campo. Foi possível gerar carregamento de viagem de ônibus e matriz de origem-destino sem as pesquisas convencionais nos domicílios, nos ônibus e nos terminais, apenas trabalhando com os dados no computador.

#### **1.4 Estruturação do trabalho**

Este trabalho está dividido em 7 capítulos, começando por esta introdução e finalizando nas considerações finais. O capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica dos temas de oferta e demanda por transporte público, métodos de coleta de dados de deslocamentos, aplicação do Big Data na engenharia de transportes e suas ferramentas.

O capítulo 3 versa sobre o estudo de caso selecionado. O bairro de Mangabeira, na cidade de João Pessoa/PB, foi selecionado devido à sua influência na cidade na geração e atração de viagens de transporte público. Em especial, a linha 301 foi tomada como estudo de caso para a aplicação da metodologia apresentada no capítulo 4. Nesse capítulo, são apresentados os procedimentos escolhidos para a estruturação do modelo responsável por estimar o carregamento e a matriz origem-destino da linha de ônibus analisada.

O capítulo 5 mostra a criação do modelo proposto. Todos os procedimentos, algoritmos e considerações realizadas para a formulação do modelo responsável pelos produtos de carregamento e matriz origem-destino que são detalhados e discutidos no capítulo 6.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

A revisão da literatura deve ser elaborada de modo a listar informações relacionadas ao tema pesquisado. Assim, este capítulo tem como objetivo agrupar as definições, os referenciais teóricos, os estudos acadêmicos e os casos práticos referentes à utilização da análise de dados de GPS e bilhetagem eletrônica no sistema de transporte público.

### **2.1 Demanda de passageiros por transportes**

Sabe-se que as pessoas viajam para satisfazer necessidades – como trabalho, lazer, educação e saúde – em diversas localizações e torna-se essencial saber como essas atividades estão distribuídas no espaço. Segundo Ortuzar (2011), a demanda por transportes é altamente qualitativa e diferenciada e, além da característica espacial, apresenta diversas outras demandas específicas por transportes a depender do horário do dia, do dia da semana, do propósito da viagem, de necessidades por diferentes velocidades e frequências e outras. Essas diversas demandas específicas tornam a análise desse tema mais complexa e a não consideração de todas elas em um sistema pode prejudicar o equilíbrio entre a oferta e a demanda por transporte.

Kawamoto (1994) fala que a demanda por transporte não pode ser prevista sem que se tenha conhecimento da demanda presente. É preciso analisá-la em primeiro momento a fim de que as relações dela com o espaço, demografia e atividades socioeconômicas sejam compreendidas e, posteriormente, sejam utilizadas como base para as novas previsões. Quanto à demanda presente, é necessário conhecer a movimentação das pessoas entre as zonas integrantes da grande área em estudo, traduzindo o volume atual desse fluxo de pessoas na matriz origem-destino. Só assim, a partir da matriz origem-destino e das relações com o espaço, demografia e atividades econômicas, por exemplo, será possível compreender novas demandas no futuro.

Assim como Ortuzar (2011), Ferraz e Torres (2004) abordam a variação da demanda ao longo do tempo e reconhecem a necessidade do seu conhecimento para o planejamento adequado da oferta, “de modo a proporcionar um atendimento

eficiente (economia de recursos) e de qualidade (satisfação dos usuários)”. Ainda por Ferraz e Torres (2004), cada período de análise (ano, mês, semana, dia, hora e minuto) tem sua importância no dimensionamento da oferta. A variação anual da demanda proporciona a previsão da demanda futura total; A variação mensal é utilizada na fixação da tarifa e no planejamento econômico-financeiro das empresas; As variações semanais e diárias permitem a determinação da frota total necessária em cada dia da semana e do mês e da manutenção preventiva das vias e veículos; e a variação horária, detalhada a partir de períodos menores (minutos) dentro dela, possibilita determinar a seção crítica que representa o segmento de maior carregamento de cada linha em cada período do dia e, dessa forma, dimensionar corretamente a frota e horários em cada linha.

Como mencionado, o conhecimento da variação da demanda no espaço e no tempo é fundamental para o correto dimensionamento da oferta de transportes.

## **2.2 Oferta de transporte público coletivo**

A principal característica da oferta de transportes, abordada por Kawamoto (2004) e Ortuzar (2011), é o fato de ser um serviço, não um bem. Começar a análise da oferta por essa ótica permite esclarecer fatos importantes como o consumo instantâneo do serviço assim que ele é produzido, pelo contrário todo o seu benefício é perdido. Em outras palavras, os serviços do sistema de transportes necessitam ser utilizados ao longo do tempo e espaço onde são disponibilizados e, dessa forma, volta-se à necessidade de se estimar a demanda com alta acuracidade para que recursos sejam poupados a partir da adequação da oferta à previsão da demanda – saber exatamente quando e onde há consumidores para esse serviço.

Dentro de um sistema de transportes estão inseridos tanto elementos de infraestrutura (vias e terminais) quanto de modos e veículos que, habitualmente, cada um é operado por um grupo ou companhia diferente. Essa configuração gera uma complexa relação entre autoridades públicas, empresas de grandes construções, operadores de transporte, passageiros e público geral. Dentro dessa relação, o principal foco deste trabalho é nos operadores de transportes e na gestão

pública que estabelece regras e padrões mínimos de funcionamento do sistema de transportes.

### **2.3 Equilíbrio entre a oferta e a demanda por transporte**

Por Ortuzar (2011), o objetivo do planejamento de transportes é garantir a satisfação de certa demanda de deslocamento de pessoas ou produtos, a partir de diferentes propósitos, por meio de diversos modos de transportes e traduzindo-se em uma capacidade de operação em todo o sistema de transportes. Percebe-se que oferta e demanda caminham juntas no processo de entrega dos serviços de transportes dentro do grande sistema.

Kawamoto (1994) trata da função demanda e oferta como dependentes de variáveis como custo total médio do usuário, tempo de viagem, qualidade da viagem e outras de nível de serviço, porém este trabalho não propõe funções de previsões, mas sim verificações da demanda atual, concordante com as condições atuais do sistema, para subsídio na determinação da oferta mais adequada.

### **2.4 Estimativa de demanda por transporte público coletivo e métodos para coleta de dados de deslocamentos**

A literatura é ampla quanto a pesquisas a respeito de estimativa de demanda por transporte. Muitas variáveis são estudadas a fim de relacioná-las com a geração de demanda por transportes e, de acordo com Kawamoto (1994), as variáveis que influem no nível de utilização do sistema de transporte são as socioeconômicas da área de influência (população, número de empregos etc.), custos de uso e nível do próprio serviço. Para tanto, modelos matemáticos – como mínimos quadrados, máxima verossimilhança, máxima probabilidade, mínima informação (Fratar) (CASCETTA, 1984; SPIES, 1987; LOGIE & HYND, 1990; GUR & BEM-SHABAT, 1997 apud FERREIRA, 1999) – são utilizados para encontrar a relação entre tais variáveis e delas com o deslocamento das pessoas.

Em relação às pesquisas de deslocamento das pessoas, um dos principais produtos utilizados é a matriz origem-destino e para sua obtenção há diversos métodos de pesquisas como censitários, de pesquisas domiciliares, de pesquisas

de abordagem, de cartão, de observação, de volume de tráfego por regiões, entre outros (FERREIRA, 1999). Esses métodos apresentam altos custos de realização ou necessitam da participação direta dos usuários, o que torna o processo mais demorado e com mais interferências.

Desses métodos, destaca-se o de cartão – que consiste na entrega de cartões marcados aos passageiros nas plataformas de embarques para posterior coleta desses cartões nas plataformas de desembarques – como sendo o mais direto para comparação com a metodologia proposta neste trabalho.

Além dele, um outro método que está relacionado com os produtos deste trabalho é o de embarque/desembarque, ou sobe/desce. Trata-se de uma pesquisa de embarque e desembarque realizada por pesquisadores viajando dentro do ônibus, no mínimo um por porta, os quais fazem a contagem do total de passageiros que entram e/ou saem em cada porta e em cada parada de ônibus. A partir dessas informações é possível descobrir o nível de ocupação do ônibus, com variações no espaço e tempo da viagem.

## **2.5 Big Data e Análise de Dados com Python**

Existem diversas definições para *Big Data*, porém uma das mais conhecidas pelo seu público é dada pela Gartner Inc. e, em tradução para o português, diz que

“Big Data é um grande volume, uma alta velocidade e/ou uma alta variedade de ativos de informações que exigem formas inovadoras e econômicas de processamento de informações que permitem uma melhor percepção, tomada de decisões e automação de processos.”

Segundo Taurion (2013), conforme citado por Galdino (2016), faz uma analogia em que as ferramentas de Big Data representarão para as corporações e para a sociedade a mesma importância que o microscópio representou para a medicina. Uma ferramenta de análise onde se pode extrair informações, prever incidentes e ter a capacidade de corrigi-los quando existentes, ou até mesmo evitá-los.

A análise desse grande volume, alta velocidade e alta variedade de dados não pode ser feita por um banco de dados, ferramentas ou metodologias tradicionais e exige a aplicação de novas tecnologias de processamento de dados para que se consiga extrair as informações necessárias do *Big Data*.

Uma linguagem de programação muito utilizada nos últimos anos para análise e visualização de dados é a Python. Python apresenta características de alto nível, de propósito geral, orientada a objetos e dinâmica, e torna possível a simplificação da análise de grandes volumes de dados. Suas diversas bibliotecas facilitam todo o trabalho de tratamento, processamento e visualização dos dados.

### **2.5.1 Aplicação em transporte público coletivo no Brasil**

Arbex e Torres (2017) desenvolvem o trabalho de análise de dados do sistema de bilhetagem eletrônica (SBE) e GPS dos ônibus da cidade de São Paulo/SP, para análise da demanda e da oferta do transporte coletivo na cidade, através de algoritmo próprio desenvolvido em Python, como bom exemplo de aplicação de tal linguagem à área de transporte público urbano.

Segundo os autores, em São Paulo existem mais de 20 mil pontos de ônibus, mais de 1300 linhas e cerca de 15mil ônibus. Por dia, são geradas mais de 13 milhões de transações de bilhetagem eletrônica e 24 milhões de dados de GPS da rede de transportes da cidade. A partir do algoritmo pronto, o cruzamento das localizações com as transações demorou cerca de 20 minutos para um dia útil, por exemplo. Sem esse tipo de tecnologia, tal análise não seria possível em tão pouco tempo.

## **2.6 Considerações finais**

A compreensão da necessidade de se chegar ao equilíbrio entre oferta e demanda por transporte público é fundamental para dar sentido ao modelo proposto neste trabalho. A literatura consultada mostra que diversos modelos são desenvolvidos e testados a cada ano e isso reforça ainda mais a importância de se conhecer os deslocamentos realizados no sistema de transporte. As metodologias mais modernas que utilizam grandes volumes de dados de mobilidade urbana se

mostram mais rápidas e precisas na identificação do formato de mobilidade existente na região do estudo.

Nos próximos capítulos serão apresentados os conceitos e casos práticos objetivos deste trabalho.

### **3 ESTUDO DE CASO**

Este capítulo tem como finalidade descrever a cidade, o bairro e a linha de ônibus escolhida para a realização do estudo, bem como o seu sistema de transporte público urbano.

#### **3.1 A cidade de João Pessoa**

João Pessoa, capital do estado da Paraíba, foi fundada pelos portugueses em 1585 às margens do Rio Sanhauá com o nome de Cidade Real de Nossa Senhora das Neves. Ao longo de sua história, a terceira cidade mais antiga do País teve ainda os nomes Filipéia de Nossa Senhora das Neves, Friederickstadt e Cidade da Parahyba. O seu crescimento se deu em direção ao mar e é em sua orla que se encontra o ponto mais oriental das Américas, a Ponta do Seixas.

Está localizada na porção mais oriental da Paraíba, entre 08°07' de latitude sul e 341°52' de longitude oeste. Limita-se ao norte com o município de Cabedelo através do rio Jaguaribe; ao sul com o município do Conde e pelo rio Gramame; a leste com o Oceano Atlântico; e, a oeste com os municípios de Bayeux pelo rio Sanhauá e Santa Rita pelos rios Mumbaba e Paraíba, respectivamente.

A capital paraibana possui área total de 211,475 km<sup>2</sup>, o que corresponde a 0,37% da área total do Estado, e, entre os anos 2000 e 2010, sua população aumentou de 597.934 para 723.514 habitantes (IBGE, 2010), um acréscimo de 21,0% e resultando em uma densidade média de 3.421hab/km<sup>2</sup>.

João Pessoa é uma das microrregiões do estado da Paraíba, instaurada pela Constituição do Estado da Paraíba de 5 de outubro de 1989, pertencente à mesorregião Zona da Mata Paraibana. Sua microrregião inclui ainda outros cinco municípios: Bayeux, Cabedelo, Conde, Lucena e Santa Rita. A área total da microrregião é de 1.264.104 km<sup>2</sup> e possui 1.124.931 habitantes, segundo estimativa

do IBGE para 2015. João Pessoa possui a maior população da microrregião, com 70,4%, e ocupa apenas 16,7% da área total.

Devido às pequenas distâncias físicas entre as sedes dos municípios da microrregião de João Pessoa, é grande a interação dos demais municípios com João Pessoa especialmente quanto à absorção de mão de obra, atendimentos de saúde, educação e atratividades de cultura e lazer. Essa população flutuante causa significativa pressão nos serviços públicos da capital paraibana, em particular no serviço de transporte. A Figura 1 mostra a mancha urbana da Microrregião de João Pessoa em 2014.

Figura 1 – Microrregião de João Pessoa e sua mancha urbana.



Fonte: Consórcio IDOM-COBRAPE, 2014.

### **3.2 O sistema de transporte público urbano por ônibus de João Pessoa**

Em 1985, foi apresentado o primeiro e único Plano Diretor de Transportes Urbanos de João Pessoa – PDTU, elaborado pela Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes – GEIPOT. Porém, ao longo das últimas décadas, a cidade sofreu um processo de crescimento e mudanças no uso do solo de maneira



distinta das previstas pelo Plano, como por exemplo o crescimento para a região sul, originando novos bairros, incluindo o mais populoso da cidade – Mangabeira – , além da alta taxa de verticalização nos bairros da orla.

O grande crescimento por toda cidade fez nascer diversos polos comerciais e de serviços em um forte processo de descentralização área central. Isso mostra como a dinâmica dos deslocamentos passou a ser diferente da verificada no PDTU. À época do Plano, a estrutura de deslocamentos da cidade era predominantemente rádio concêntrica e foi implementada com base em corredores de transporte público. Atualmente, existem 7 grandes corredores: Avenidas Cruz das Armas, 2 de Fevereiro, D. Pedro II, Min. José Américo de Almeida (Beira Rio), Epiácio Pessoa, Tancredo Neves e o Acesso Oeste.

Esse crescimento da cidade remodelou as necessidades de deslocamentos da população que a cada nova configuração urbana enfrenta outros grandes problemas quanto à integração do sistema para os diversos polos comerciais, industriais e residenciais. Segundo o IBGE (2010), 70% da população de João Pessoa possui renda familiar de até 2,5 salários mínimos e é essa parcela que está mais propensa a utilizar o sistema de transporte público da cidade. Uma solução para esse problema de integração foi entregue em abril de 2005 com o novo Terminal de Integração do Varadouro.

Com o Terminal de Integração do Varadouro foi possível permitir que passageiros trocassem de linhas sem pagar outra tarifa dentro do espaço físico do terminal. Dessa forma, passageiros de bairros que não possuíam viagens diretas aos principais polos de demandas da cidade puderam ir ao terminal e escolher a melhor linha para a continuação do seu deslocamento. Outras soluções foram o Sistema de Bilhetagem Eletrônica (2005), o Sistema de Integração Temporal Municipal (2008) e o Sistema de Integração Temporal Metropolitana (2009).

Essas soluções foram importantes para o progresso do sistema de transporte público urbano da cidade, porém nos dias de hoje é perceptível o congestionamento causado pela sobreposição de diversas linhas de ônibus que passam pelo centro da cidade em direção ao Terminal de Integração do Varadouro. A cidade ainda é dependente do terminal físico e novos problemas são gerados a cada ano devido a essa dependência.

Na configuração atual do sistema de ônibus de João Pessoa, segundo a Semob-JP (2018), a frota cadastrada é de 540 veículos, porém apenas 465 deles estão em operação, com idade média de 5,047 anos. Esses veículos estão distribuídos em 101 linhas convencionais que realizam nos dias úteis cerca de 4.277 viagens diárias (jan/jun de 2017) e transportam mensalmente cerca de 5.957.489 passageiros (jan/junho de 2017). A Tabela 1 apresenta esses e outros dados disponíveis no site da SEMOB-JP.

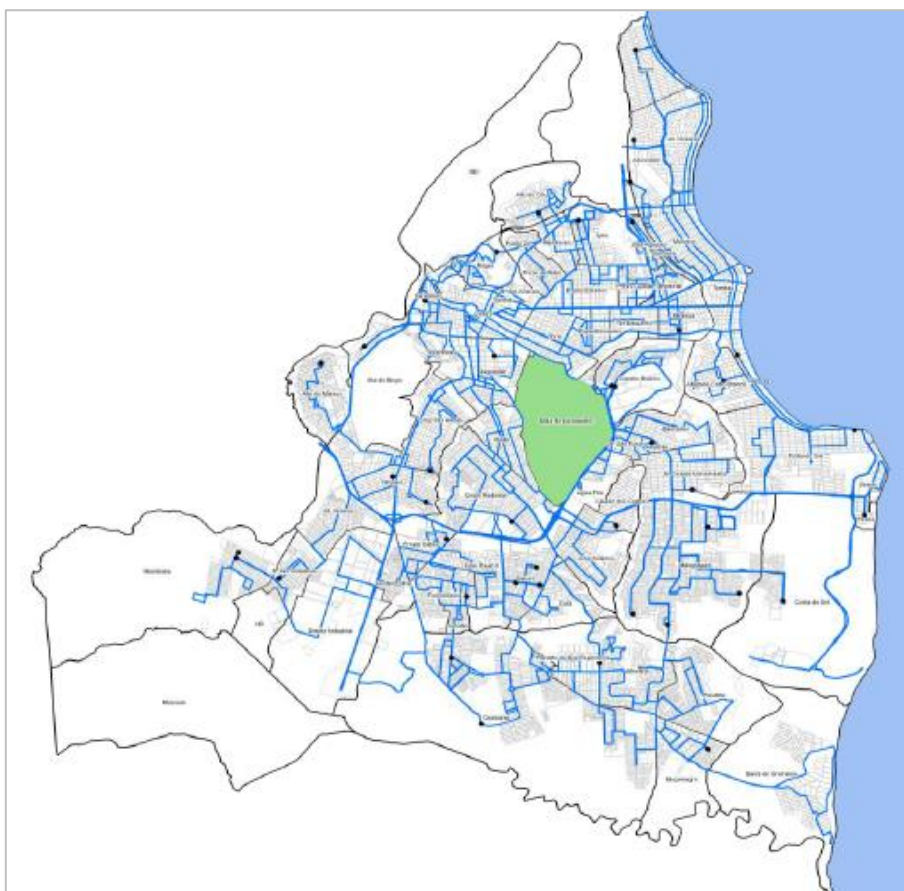
Tabela 1 - Dados sobre o Sistema de Transporte Coletivo Convencional de João Pessoa

|   |   |
|---|---|
| <b>Linha de Ônibus:</b>                           | 101 linhas convencionais                |
| <b>Frota total cadastrada</b>                     | 540                                     |
| <b>Frota em operação</b>                          | 465                                     |
| <b>Veículos eficientes</b>                        | 442                                     |
| <b>Idade média da frota</b>                       | 5,047 anos                              |
| <b>Passageiros transportados / mês</b>            | 5.957.489 (Jan/jun – 2017)              |
| <b>Viagens previstas/dias úteis</b>               | 4.277 (Jan/jun – 2017)                  |
| <b>Pontos de paradas</b>                          | 2.007                                   |
| <b>Índice de passageiros P/ Quilômetro (IPK )</b> | 1,87 (Jan/jun – 2017)                   |
| <b>Passageiros por Viagem/Dia</b>                 | 53,44 (Jan/jun – 2017)                  |
| <b>Preço da passagem de ônibus</b>                | R\$ 3,55                                |
| <b>Empresas Concessionárias</b>                   | Unitrans e Nossa Senhora dos Navegantes |

Fonte: SEMOB-JP, 2018.

A rede do sistema de transporte público por ônibus de João Pessoa, com seus terminais de bairros, pode ser visualizada na Figura 2 a seguir.

Figura 2 – Rede do Sistema de Transporte Público Urbano por ônibus de João Pessoa/PB.



Fonte: SEMOB-JP, 2016.

### 3.3 Caracterização da linha 301 (Mangabeira Pedro II)

Como mencionado na subseção anterior, João Pessoa cresceu muito para a região sul e sudeste, fazendo surgir o bairro de Mangabeira que hoje é o mais populoso da cidade com 75.988 habitantes (IBGE, 2010). Caso fosse uma cidade, Mangabeira seria a 6ª maior cidade, em população, do estado da Paraíba.

Outros índices comprovam o tamanho e importância do bairro para toda a cidade. O bairro possui o 2º maior mercado público, a 2ª maior avenida e o 2º maior polo comercial de João Pessoa, segundo o IBGE. Estão ainda localizadas no bairro as sedes da Academia da Polícia Militar e Civil, Detran, Inmetro, Unidade Prisional de Segurança Média e Máxima, Casa da Cidadania e o Mangabeira Shopping.

Como uma das mais carregadas de todo o sistema da cidade, a linha de ônibus 301 faz a ligação do bairro de Mangabeira com o bairro Centro. Sua

operação é realizada pela empresa Transnacional, pertencente ao consórcio Unitrans, e atende aos moradores dos bairros de Mangabeira, Bancários, Castelo Branco, Torre e Centro, além de passar por polos importantes da cidade como o Mercado Público de Mangabeira, o Shopping Sul nos Bancários, a Universidade Federal da Paraíba em Castelo Branco e o Mercado Central. Seus principais corredores são a Av. Josefa Taveira e a Av. D. Pedro II.

Segundo a Semob-JP (2018), a linha 301 possui 13 veículos na frota dos dias úteis, 8 na frota dos sábados e 5 na frota dos domingos. São realizadas 98 viagens nos dias úteis, 81 aos sábados e 51 aos domingos. Seu ponto de retorno de viagem é o Terminal de Integração do Varadouro e na Figura 3 é mostrada sua rota.

Figura 3 – Rota da linha 301 (Mangabeira Pedro II)



Fonte: SEMOB-JP, 2018.

Como o foco deste trabalho é a determinação do carregamento da linha 301 a partir do rastreamento de cartões eletrônicos, faz-se necessário que se analise não somente a linha do caso como também outras que por ventura tenham características ou rotas similares com a linha 301. As demais linhas de ônibus utilizadas são a 302, 303, 2300, 2303, 2307 e 5307 que possuem o mesmo sentido do bairro Mangabeira para o Centro e suas rotas se sobrepõem à rota da linha 301 em vários trechos como nos corredores da Av. Josefa Taveira, Av. D. Pedro II, na região central do Parque Sólon de Lucena e no Terminal de Integração do Varadouro. Suas rotas estão presentes no Anexo deste trabalho.

## **4 METODOLOGIA**

A metodologia proposta para determinação do carregamento de linha de ônibus é composta por três processos: Obtenção dos dados de GPS dos ônibus e do SBE, determinação da origem e destino de cada viagem individual realizada no sistema e determinação do carregamento de linha de ônibus. Neste capítulo será detalhada a metodologia utilizada em cada um desses processos e seus respectivos objetivos.

### **4.1 Obtenção dos dados**

A forma padrão de obtenção de dados a respeito das viagens é feita manualmente através de registros como informações gerais da linha e de funcionários que vão na viagem, horários e numeração da catraca na saída e chegada. Para muitas cidades, essa ainda é a única forma de obtenção de dados sobre as viagens realizadas no sistema local de transportes por ônibus.

Atualmente, em João Pessoa, são utilizados equipamentos para registro automático de informações como posicionamento dos ônibus a cada 30 segundos (GPS) e validação de embarques nas catracas – com cartões eletrônicos ou pagamentos em dinheiro vivo. Para a validação de embarques através de cartões eletrônicos dá-se o nome de Sistema de Bilhetagem Eletrônica (SBE) e tal termo neste trabalho incluirá também as validações com pagamento em dinheiro vivo, pois os dados do SBE de João Pessoa incluem ambos. Essas duas formas de

obtenção de dados de viagens no sistema de ônibus de João Pessoa, GPS e SBE, são guardadas em bancos de dados do Sindicato das Empresas de Transportes Coletivos Urbanos de João Pessoa – SINTUR-JP, com acesso direto da Superintendência Executiva de Mobilidade Urbana de João Pessoa – SEMOB-JP.

Os dados de GPS dos ônibus devem apresentar, pelo menos, informações como código do veículo em operação, rota realizada pelo veículo, data, hora e localização geográfica no momento do registro. Esses dados podem passar por diferentes tipos de pré-processamentos a partir de suas coletas, porém há de sempre ser garantidas as informações da viagem realizada e localização nos diversos momentos de registros.

Em relação aos dados do SBE, faz-se necessário que contenha informações como veículo em operação, rota realizada, data e hora no momento da validação, código do cartão (ou em branco para pagamentos em dinheiro, por exemplo) e tipo do cartão validado. Em João Pessoa, tais informações são preservadas desta maneira e permitem, assim, a identificação a respeito de todos os acessos realizados nas catracas dos ônibus.

## **4.2 Determinação da Origem e Destino**

A partir da combinação dos dados de GPS dos ônibus e das validações do SBE, é possível obter informações a respeito dos embarques realizados nas diversas paradas de ônibus da cidade (tidos como origem das viagens de cada passageiro) e desembarques (destino das viagens individuais). Os desembarques, para Zhao (2004), podem ser estimados considerando que o próximo embarque de um mesmo cartão foi realizado no mesmo local ou muito próximo de onde ocorreu o desembarque da viagem anterior.

Como primeira etapa da combinação dos dados, faz-se a associação dos dados do SBE com os de GPS dos ônibus através dos horários de registro de cada dado. Considera-se que um embarque foi realizado na parada “X” se o horário de registro da validação do embarque for posterior ao horário de registro de GPS na parada “X” e anterior ao horário de registro de GPS na parada “X + 1”, para dados de um mesmo veículo, mesma rota e mesmo dia de operação.

Em posse dos resultados dos embarques por paradas de ônibus, a partir de um ordenamento crescente de horários, faz-se o rastreamento dos cartões de mesmo código para que sejam registrados como outro resultado os horários e locais de dois embarques consecutivos que serão interpretados como origem e destino da viagem do primeiro embarque, como já apresentado nesta metodologia. Ainda como considerações para esta etapa, neste trabalho são rastreados cartões referentes às viagens iniciadas apenas no trecho de ida da linha 301, dentro do período de pico da manhã adotado como das 5:30h às 8:30h e com intervalo mínimo de 15 minutos entre validações de embarques do mesmo cartão.

### **4.3 Determinação do carregamento de linha de ônibus**

Carregamento de linha de ônibus geralmente é apresentado em forma de gráfico de barras verticais informando a quantidade acumulada de passageiros por paradas referentes à linha do ônibus. Em uma coluna de dados, para cada embarque soma-se 1 passageiro à parada e para cada desembarque subtrai-se 1 passageiro, gerando o fluxo de passageiros em cada parada e permitindo que em uma coluna a seguir faça-se o somatório acumulado desse fluxo.

Utilizando como base o resultado do rastreamento de cartões apresentado na subseção anterior, após filtro e agrupamento de dados por viagens, soma-se 1 passageiro à parada registrada na primeira validação do cartão e subtrai-se 1 passageiro à parada registrada na validação consecutiva. Dessa forma, encontra-se o carregamento amostral com base nos cartões validados e rastreados ao longo de um mesmo dia de operação.

Neste trabalho são utilizadas técnicas de estatística básica para extrapolar o carregamento amostral identificado para um possível carregamento total da linha. A maneira empregada para tal extrapolação se resume a identificação da porcentagem de carregamento em cada parada com base no total da amostra rastreada e posteriormente a aplicação de mesma porcentagem com base no total dos embarques registrados em todo o SBE para a devida viagem.

Serão gerados carregamentos para a linha 301 com as diferentes bases de dados utilizadas no rastreamento: Apenas dados dos cartões validados na linha 301; dados dos cartões validados nas linhas 301, 302 e 303; e dados dos cartões

validados em todas as 7 linhas de ônibus. Espera-se que o aumento da base de dados contribua para o aumento do índice de rastreabilidade de cartões dentro do sistema. Os resultados serão comparados entre si.

## **5 DESENVOLVIMENTO DO MODELO**

O processo de criação de um modelo para análise de dados de GPS e bilhetagem eletrônica é o principal foco deste capítulo. Serão apresentados todos os passos necessários para a criação do modelo, entrando por vezes em detalhes de considerações e de algoritmos propostos.

### **5.1 Solicitação e aquisição dos dados**

Como mencionado no capítulo anterior, os dados de GPS dos ônibus e do SBE, na cidade de João Pessoa, ficam em posse da SINTUR-JP e da SEMOB-JP. A proposta deste trabalho foi apresentada a ambos os órgãos no intuito de se obter apoio com informações necessárias para o seu desenvolvimento. No dia 23 de março de 2018 ocorreu a última reunião presencial com o SINTUR-JP que resultou na obtenção dos dados de 7 linhas de ônibus de João Pessoa.

As linhas solicitadas foram as 301, 302, 303, 2300, 2303, 2307, 5307, 3200, 3203, 3207, 3507 e 1500, porém apenas as sete primeiras foram fornecidas a tempo para este estudo. Essas linhas saem do bairro de Mangabeira para o centro da cidade e, devido a isso, trabalham de maneira complementar no transporte de passageiro ao longo dessas duas localidades e foram selecionadas pois tal atividade complementar resultaria em melhores índices de rastreamento de passageiros da linha 301, base do presente estudo. A data de operação escolhida foi 21/03/2018 (quarta-feira), considerado um dia típico para o transporte da cidade.

Além dos dados de GPS e bilhetagem eletrônica, foram utilizados dados de localização geográfica das paradas de ônibus (também conhecidas em outras regiões como pontos de ônibus) que foram extraídos da API do Moovit.com. Esses mesmos dados foram solicitados à SEMOB-JP, porém os fornecidos estavam desconfigurados e não apresentavam coerência com as localizações reais conhecidas e, devido a isso, foram descartados.



A seguir, serão detalhadas as formatações dos dados recebidos de GPS dos ônibus e do SBE.

### 5.1.1 Sistema de Posicionamento Global (GPS) dos ônibus

Os dados referentes ao GPS de cada ônibus apresentavam formatação como mostrada na Tabela 2. Cada linha desses arquivos apresentava informações a respeito da localização geográfica gerada pelo equipamento de GPS acoplado em cada ônibus. Como o arquivo já houvera sido pré-tratado, não foram explicitadas as coordenadas geográficas de cada registro de localização gerado pelo equipamento em questão. Os dados foram atribuídos às paradas de ônibus, específicas de cada linha, por proximidade geográfica, guardando-se os registros e distâncias antes e depois de cada parada.

Tabela 2 – Primeiras linhas do arquivo de GPS da linha 301 no dia 21/03/2018

| Parada    | Veiculo | Rota | DataHora<br>Antes<br>Parada | Distancia<br>Antes<br>Parada | DataHora<br>Depois<br>Parada | Distancia<br>Depois<br>Parada |
|-----------|---------|------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| P01   301 | 7205    | 301  | 21/03/2018 04:41:53         | 5,443618342                  | 21/03/2018 04:42:48          | 267,0763927                   |
| P01   301 | 7074    | 301  | 21/03/2018 05:12:01         | 5,293618321                  | 21/03/2018 05:12:56          | 106,9163814                   |
| P01   301 | 7200    | 301  | 21/03/2018 05:20:17         | 5,533618338                  | 21/03/2018 05:20:42          | 30,94638014                   |
| P01   301 | 7171    | 301  | 21/03/2018 06:03:37         | 4,783618331                  | 21/03/2018 06:04:05          | 9,916381359                   |
| P01   301 | 7189    | 301  | 21/03/2018 06:15:18         | 5,223618329                  | 21/03/2018 06:15:37          | 30,94638014                   |
| P01   301 | 7074    | 301  | 21/03/2018 06:25:21         | 5,463618338                  | 21/03/2018 06:25:46          | 12,06638098                   |
| P01   301 | 7200    | 301  | 21/03/2018 06:35:11         | 5,26361835                   | 21/03/2018 06:35:53          | 2,446382046                   |
| P01   301 | 7082    | 301  | 21/03/2018 06:43:55         | 5,333618343                  | 21/03/2018 06:44:26          | 4,606381893                   |
| P01   301 | 7205    | 301  | 21/03/2018 07:14:27         | 4,873618364                  | 21/03/2018 07:14:40          | 30,94638014                   |
| P01   301 | 7036    | 301  | 21/03/2018 07:38:52         | 5,373618335                  | 21/03/2018 07:39:46          | 30,95638227                   |

Fonte: SINTUR, 2018.

As colunas do arquivo trazem a parada de ônibus mais próxima ao registro (formatadas como “P” de parada + numeração + “I” de ida ou “V” de volta + linha do ônibus), o veículo equipado com o GPS, a rota (linha) em operação, data e hora do registro antes da parada, distância do registro antes da parada, data e hora do registro depois da parada e distância do registro depois da parada, respectivamente.

### 5.1.2 Sistema de Bilhetagem Eletrônica (SBE)

Os arquivos de bilhetagem eletrônica continham informações a respeito de cada embarque validado no ônibus, através do leitor de cartão e botoeira para catraca, registrando a data e hora do acesso, o tipo do acesso – que dizia se a tarifa foi debitada ou houve integração temporal (DEB ou INT) – e o tipo do cartão – comum, estudante, funcionário, gratuito ou pagante. A Tabela 3 apresenta a formatação descrita neste parágrafo.

Tabela 3 – Primeiras linhas do arquivo de bilhetagem eletrônica da linha 301 no dia 21/03/2018

| Empresa       | Linha | Carro | Cartao     | DataHora Acesso         | Tipo Acesso | Tipo Cartao |
|---------------|-------|-------|------------|-------------------------|-------------|-------------|
| TRANSNACIONAL | 301   | 7023  | 2827202699 | 2018-03-21 20:53:50.000 | DEB         | Comum       |
| TRANSNACIONAL | 301   | 7036  | 1200218230 | 2018-03-21 13:45:14.000 | DEB         | Comum       |
| TRANSNACIONAL | 301   | 7036  | 1498642199 | 2018-03-21 11:48:18.000 | INT         | Estudante   |
| TRANSNACIONAL | 301   | 7036  | 1533362114 | 2018-03-21 07:46:18.000 | DEB         | Estudante   |
| TRANSNACIONAL | 301   | 7036  | 1674058414 | 2018-03-21 10:48:12.000 | DEB         | Comum       |
| TRANSNACIONAL | 301   | 7036  | 2053257462 | 2018-03-21 07:44:24.000 | DEB         | Comum       |
| TRANSNACIONAL | 301   | 7036  | 3065702753 | 2018-03-21 10:15:42.000 | DEB         | Estudante   |
| TRANSNACIONAL | 301   | 7036  | 599976008  | 2018-03-21 12:51:30.000 | DEB         | Comum       |
| TRANSNACIONAL | 301   | 7036  | NA         | 2018-03-21 07:45:40.000 | DEB         | Pagante     |
| TRANSNACIONAL | 301   | 7036  | NA         | 2018-03-21 09:52:30.000 | DEB         | Pagante     |

Fonte: SINTUR, 2018.

Para cada linha, um novo registro de validação de embarque de um cartão ou de um pagante em dinheiro com passagem liberada pelo funcionário cobrador, ou motorista em alguns casos. Ainda são presentes colunas com a empresa operadora, linha operada e o código do carro. Essas duas foram anteriormente citadas no arquivo de GPS como sendo rota e veículo, respectivamente.

### 5.2 Ferramentas utilizadas

O trabalho com os dados foi realizado com auxílio da linguagem de programação Python. Como já comentado na subseção 2.5, Python é uma linguagem de programação de alto nível, orientada a objetos e possui uma grande comunidade ativa de profissionais e entusiastas de ciência de dados que discute em sites e fóruns os potenciais de uso e aplicação de tal ferramenta em diversas áreas do conhecimento.

Antes do trabalho com a linguagem Python ser iniciado, foi instalado o software Anaconda Navigator v.1.6.9 em um *laptop* com sistema operacional Windows 10. O Anaconda Navigator é um software de *desktop* da Anaconda Inc. que permite o acesso a aplicativos, bibliotecas e pacotes de plugins para diversas linguagens, incluindo Python. Segundo a Anaconda Inc. (2018), são mais de 6 milhões de usuários e mais de mil pacotes conda fornecidos através de sua plataforma de código aberto de ciência de dados, caracterizando-se como a mais popular do mercado.

Dentre os aplicativos oferecidos pela plataforma da Anaconda está o Jupyter Notebook que é um ambiente de codificação em Python baseado em *web*, com organização do algoritmo por células que podem ser executadas separadamente ou em conjunto e visualização dos resultados dos algoritmos executados no próprio ambiente de código.

A Figura 4 mostra a tela principal do Anaconda Navigator e alguns de seus principais aplicativos. Na Figura 5 é possível visualizar a descrição do aplicativo Jupyter Notebook e seu botão *launch* para inicialização do ambiente de código que é mostrado no exemplo da Figura 6.

Figura 4 – Tela principal do Anaconda Navigator e localização, em vermelho, do Jupyter Notebook

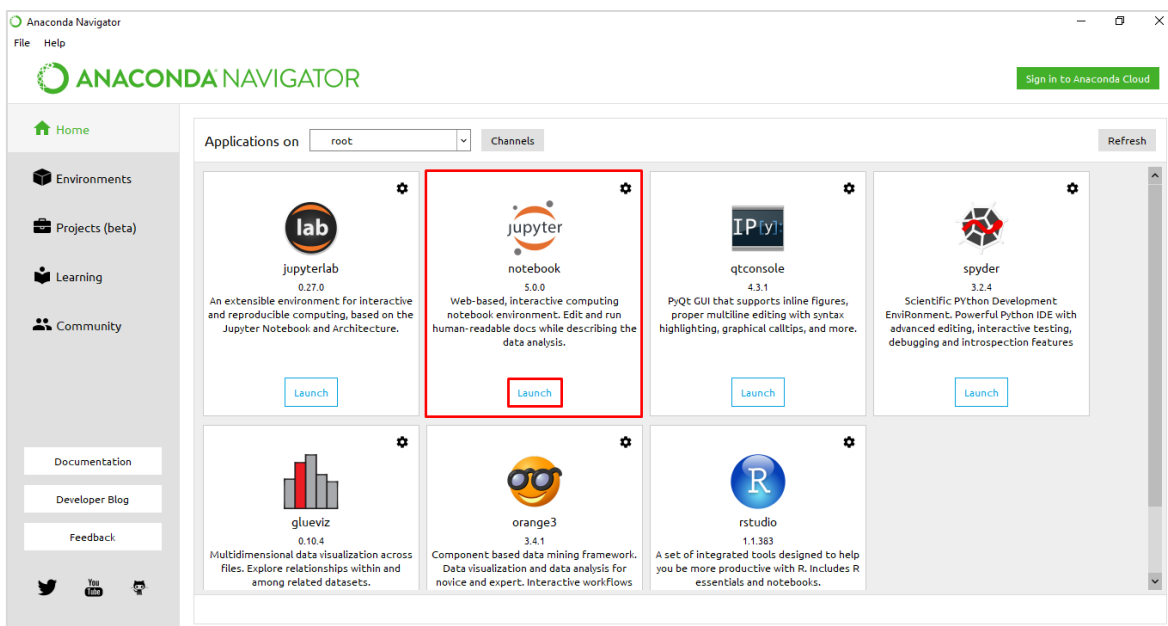


Figura 5 – Aplicativo Jupyter Notebook com botão *launch* na tela do Anaconda Navigator

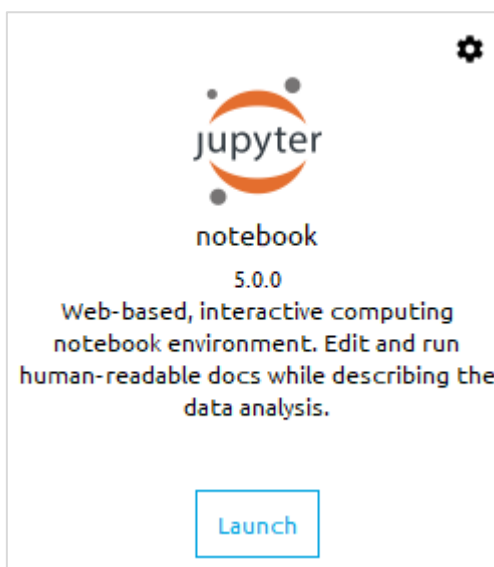


Figura 6 – Recorte de um Jupyter Notebook, utilizado neste trabalho, com células de entrada (*input*) e saída (*output*)

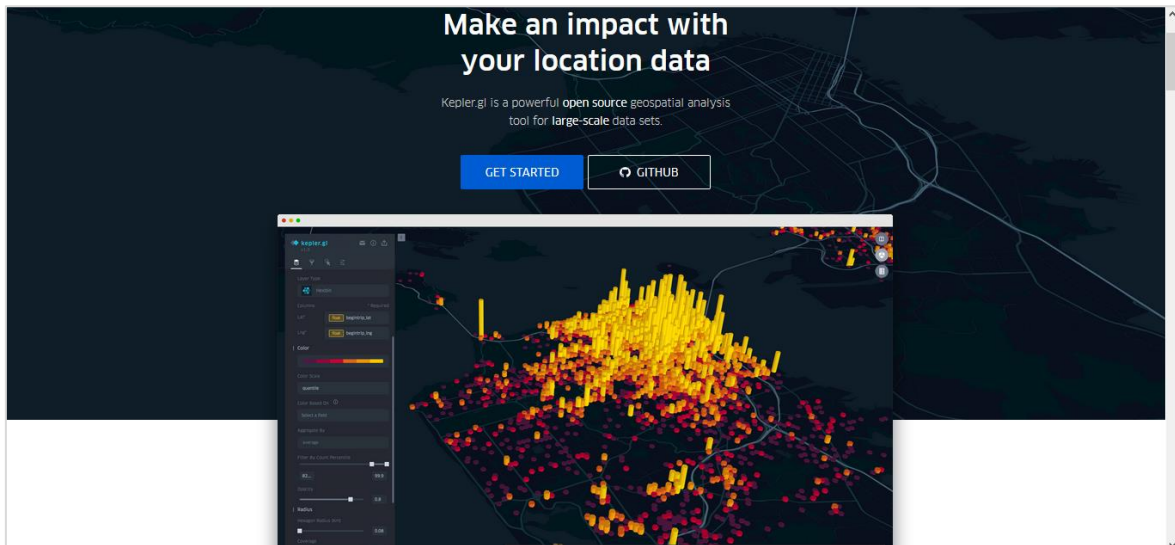
```
In [148]: #importar dados de bilhetagem
cartoes = pd.read_csv(csv_cartoes, delimiter=';')
#formatar dados de bilhetagem
cartoes['Tipo'] = cartoes.TipoCartao + "-" + cartoes.TipoAcesso
cartoes['DataHoraAcesso'] = pd.to_datetime(cartoes['DataHoraAcesso'])
cartoes = cartoes.sort_values('DataHoraAcesso').reset_index(drop=True)
cartoes.head()
```

Out[148]:

|   | Empresa       | Linha | Carro | Cartao | DataHoraAcesso      | TipoAcesso | TipoCartao | Tipo        |
|---|---------------|-------|-------|--------|---------------------|------------|------------|-------------|
| 0 | TRANSNACIONAL | 301   | 7200  | NaN    | 2018-03-21 04:34:56 | DEB        | Pagante    | Pagante-DEB |
| 1 | TRANSNACIONAL | 301   | 7200  | NaN    | 2018-03-21 04:38:16 | DEB        | Pagante    | Pagante-DEB |
| 2 | TRANSNACIONAL | 301   | 7205  | NaN    | 2018-03-21 04:42:00 | DEB        | Pagante    | Pagante-DEB |
| 3 | TRANSNACIONAL | 301   | 7205  | NaN    | 2018-03-21 04:43:44 | DEB        | Pagante    | Pagante-DEB |
| 4 | TRANSNACIONAL | 301   | 7205  | NaN    | 2018-03-21 04:45:14 | DEB        | Pagante    | Pagante-DEB |

Para a visualização dos dados analisados, foi utilizada a plataforma de análise e visualização de dados geoespaciais Kepler.gl (Figura 7), pertencente à empresa Uber, e o Microsoft Excel para gráficos mais simples.

Figura 7 – Página principal da plataforma Kepler.gl



Com a plataforma da Anaconda, aplicativo Jupyter Notebook, bibliotecas para Python como Pandas (estruturação e análise de dados) e NumPy (arranjos, vetores e matrizes de N dimensões), kepler.gl (análise e visualização de dados geoespaciais) e Microsoft Excel (visualização de dados) foi possível processar todos os dados utilizados neste trabalho.

### 5.3 Tratamento inicial dos dados coletados e associação dos embarques às viagens

O tratamento inicial dos dados será mostrado nesta mesma seção de processamento pois foram poucos tratamentos realizados. Uma grande qualidade de se trabalhar com Python é devido a sua praticidade para trabalhos com dados – e com grandes volumes de dados essa praticidade se torna ainda mais perceptível tanto quanto à codificação necessária quanto ao tempo de execução do algoritmo.

No intuito de facilitar o trabalho com os dados de bilhetagem eletrônica, devido ao rastreamento dos cartões que será apresentado posteriormente, as 7 (sete) planilhas recebidas foram agrupadas em uma só e essa foi a única modificação feita a nível de tratamento fora do Python. Como próximo passo, já no aplicativo de codificação, a planilha dos cartões foi importada assim como as de

GPS, sendo essas de forma separada para cada linha de ônibus do presente estudo.

No tratamento inicial, foram formatadas as datas e horas (presentes em ambos tipos de dados) e extraídos os números das paradas de ônibus (do formato “P01 | 301” para “1”, por exemplo).

Com os dados da bilhetagem eletrônica, foram separadas as viagens de cada linha de ônibus com base na seguinte lógica:

- Ordenação crescente dos dados de data/hora;
- Análise de um veículo por vez (código de identificação do ônibus); e
- Verificação da sequência das paradas (diferenças sequenciais maiores que 10 foram consideradas como nova viagem – como por exemplo da parada 68 para a parada 1 no dado seguinte).

Após o resultado das viagens, foi feita uma modificação para incluir a Parada 1 nas viagens que não a tinham. No novo registro de Parada 1, considerou-se o horário igual ao último da viagem anterior, para um mesmo veículo, acrescido de 1 segundo para diferenciá-los. A intenção com essa modificação foi de garantir que todas as viagens tivessem a Parada 1, pois sabe-se que, majoritariamente, grande parte dos embarques das linhas analisadas ocorrem no terminal de saída e essa informação será confirmada no próximo passo de cruzamento dos dados de embarques com os dados de viagens.

O cruzamento dos dados de embarques com as viagens é uma etapa de extrema importância visto que é nela onde ocorre a associação de cada embarque com a parada mais provável onde a validação ocorreu. É a partir do resultado desse cruzamento de dados que será possível georreferenciar todos os embarques com bilhete eletrônico realizados nas diversas paradas em análise.

O código que faz essa correlação é mostrado na Figura 8. Percebe-se a simplicidade do algoritmo para uma atividade de tamanha importância para este tipo de estudo. A Figura 9 mostra o resultado desse processo.

Figura 8 – Código utilizado para correlacionar cartões às paradas de ônibus em estudo

```
passagens2['Carro'] = passagens2['Veiculo']
cartoes2 = pd.merge_asof(cartoes, passagens2[['NumeroParada',
                                             'DataHoraAntesParada',
                                             'DataHoraDepoisParada',
                                             'DataHoraMedianaParada',
                                             'Viagem',
                                             'Carro',
                                             'Rota']],
                        by='Carro',
                        right_on='DataHoraAntesParada',
                        left_on='DataHoraAcesso')
```

Figura 9 – Visualização do resultado do cruzamento dos cartões com as paradas

cartoes2.sort\_values('DataHoraAcesso')

|   | Empresa       | Linha | Carro | Cartao | DataHoraAcesso      | TipoAcesso | TipoCartao | Tipo        | NumeroParada | DataHoraAntesParada | DataHoraDepoisParada |
|---|---------------|-------|-------|--------|---------------------|------------|------------|-------------|--------------|---------------------|----------------------|
| 0 | TRANSNACIONAL | 301   | 7200  | NaN    | 2018-03-21 04:34:56 | DEB        | Pagante    | Pagante-DEB | 24           | 2018-03-21 04:34:42 | 2018-03-21 04:35:12  |
| 1 | TRANSNACIONAL | 301   | 7200  | NaN    | 2018-03-21 04:38:16 | DEB        | Pagante    | Pagante-DEB | 29           | 2018-03-21 04:38:13 | 2018-03-21 04:38:43  |
| 2 | TRANSNACIONAL | 301   | 7205  | NaN    | 2018-03-21 04:42:00 | DEB        | Pagante    | Pagante-DEB | 1            | 2018-03-21 04:41:53 | 2018-03-21 04:42:07  |
| 3 | TRANSNACIONAL | 301   | 7205  | NaN    | 2018-03-21 04:43:44 | DEB        | Pagante    | Pagante-DEB | 3            | 2018-03-21 04:43:05 | 2018-03-21 04:44:23  |
| 4 | TRANSNACIONAL | 301   | 7205  | NaN    | 2018-03-21 04:45:14 | DEB        | Pagante    | Pagante-DEB | 6            | 2018-03-21 04:45:07 | 2018-03-21 04:45:21  |
| 5 | TRANSNACIONAL | 301   | 7205  | NaN    | 2018-03-21 04:49:12 | DEB        | Pagante    | Pagante-DEB | 13           | 2018-03-21 04:49:08 | 2018-03-21 04:49:16  |
| 6 | TRANSNACIONAL | 301   | 7205  | NaN    | 2018-03-21 04:49:12 | DEB        | Pagante    | Pagante-DEB | 13           | 2018-03-21 04:49:08 | 2018-03-21 04:49:16  |

No *dataframe* da Figura 9, assim como é chamada esse tipo de tabulação de dados, é mostrado o resultado do cruzamento dos dados de embarques e viagens e é possível notar, entre diversas outras informações, as colunas de “Cartao” e “NumeroParada” comprovando essa associação. Os cartões com valores “NaN” representam os embarques de pagantes com dinheiro em espécie, não possuindo código de identificação.

#### 5.4 Rastreamento dos cartões

Nesta etapa o objetivo foi estimar o desembarque dos cartões assumindo que o desembarque ocorreu no local do segundo embarque do mesmo cartão, assim como foi apresentado na subseção 4.2.

Foram feitas algumas considerações de filtro para o processo de rastreamento, como:

- Cartões validados dentro do período de pico da manhã (das 5:30h às 8:30h);
- Cartões validados antes do terminal de integração (trecho com maior quantidade de passageiros transportados para o pico adotado); e
- Tempo mínimo de 15 minutos entre embarques consecutivos de um mesmo cartão.

Como já mencionado, os dados dos cartões foram salvos em planilha única, sendo criada uma primeira planilha para a base de dados apenas com a linha de ônibus 301 (cenário 1), uma segunda planilha para a base de dados com as linhas de ônibus 301, 302 e 303 (cenário 2) e uma terceira planilha para a base de dados com todas as sete linhas de ônibus (301, 302, 303, 2300, 2303, 2307 e 5307 – cenário 3).

O código para o processo de rastreamento, aplicado nos três cenários, é mostrado na Figura 10. A Figura 11 mostra o código que foi utilizado para aplicar as considerações de filtro.

Figura 10 – Código utilizado para o rastreamento dos cartões

```
cartoes4a = cartoes3[~cartoes3.Cartao.isnull()]
cartoes4a.loc[:, 'Cartao'] = cartoes4a.Cartao.astype('int')
cartoes4a['DataHoraAcesso_y'] = cartoes4a.DataHoraAcesso
```

Figura 11 – Código utilizado para a aplicação das condições de filtro

```
cartoes_filtrados = cartoes_filtrados[(cartoes_filtrados.DataHoraAcesso.dt.strftime('%H:%M:%S')).between
                                       ('05:30:00', '08:30:00')] &
                                       (cartoes_filtrados.NumeroParada_x < 38) &
                                       (cartoes_filtrados.DataHoraAcesso_y >= (cartoes_filtrados.DataHoraAcesso +
                                       pd.to_timedelta(15, unit='m'))) &
                                       (cartoes_filtrados.Linha_x == 301)]
cartoes_filtrados['Dif_DataHoraAcesso'] = cartoes_filtrados.DataHoraAcesso_y - cartoes_filtrados.DataHoraAcesso
```

Os resultados do rastreamento dos cartões, bem como as estimativas dos desembarques, são mostrados na Figura 12.



Figura 12 – Visualização do resultado do rastreamento dos cartões e estimativas de desembarques

```
cartoes_filtrados.sort_values('Viagem_x')
```

|    | Cartao     | Viagem_x | NumeroParada_x | DataHoraAcesso      | Viagem_y | NumeroParada_y | NumeroParada_e | DataHoraAcesso_y    | Dif_DataHoraAcesso |
|----|------------|----------|----------------|---------------------|----------|----------------|----------------|---------------------|--------------------|
| 48 | 1933947    | 70361.0  | P10L301        | 2018-03-21 07:48:30 | 71528    | P32L303        | P33L301        | 2018-03-21 17:26:28 | 09:37:58           |
| 50 | 1672097638 | 70361.0  | P15L301        | 2018-03-21 07:52:32 | 71525    | P46L303        | P47L301        | 2018-03-21 12:26:36 | 04:34:04           |
| 27 | 53813111   | 70361.0  | P16L301        | 2018-03-21 07:53:28 | 70093    | P63L302        | P52L301        | 2018-03-21 12:14:30 | 04:21:02           |
| 51 | 54209447   | 70361.0  | P16L301        | 2018-03-21 07:54:40 | 70109    | P32L302        | P15L301        | 2018-03-21 16:41:12 | 08:46:32           |
| 52 | 609777620  | 70361.0  | P19L301        | 2018-03-21 08:10:14 | 20465    | P69L2300       | P7L301         | 2018-03-21 15:52:28 | 07:42:14           |
| 46 | 1925085877 | 70361.0  | P4L301         | 2018-03-21 07:42:18 | 80783    | P55L5307       | P33L301        | 2018-03-21 14:25:44 | 06:43:26           |
| 8  | 1921707252 | 70361.0  | P25L301        | 2018-03-21 08:23:26 | 21012    | P52L2300       | P45L301        | 2018-03-21 09:55:06 | 01:31:40           |
| 9  | 1498172957 | 70361.0  | P28L301        | 2018-03-21 08:25:04 | 21015    | P52L2300       | P45L301        | 2018-03-21 16:35:56 | 08:10:52           |
| 3  | 1207464902 | 70741.0  | P35L301        | 2018-03-21 05:42:30 | 71578    | P24L303        | P25L301        | 2018-03-21 19:17:42 | 13:35:12           |
| 20 | 1315571290 | 70742.0  | P9L301         | 2018-03-21 06:37:16 | 70824    | P54L301        | P54L301        | 2018-03-21 12:22:58 | 05:45:42           |
| 18 | 1316245130 | 70742.0  | P4L301         | 2018-03-21 06:33:06 | 71577    | P41L303        | P43L301        | 2018-03-21 17:59:02 | 11:25:56           |

Ao resultado do rastreamento dos cartões foram acrescentados os bairros correspondentes às paradas de ônibus para que fosse possível gerar um novo produto que é a matriz origem-destino.

Esse produto do rastreamento foi o último relacionado à estruturação dos dados utilizados neste trabalho.

## 6 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos a partir da aplicação do modelo descrito no capítulo anterior. Os principais resultados são de carregamento da linha 301 no período do pico da manhã e de matriz origem-destino. Os resultados são comparados com estudos de campo já realizados e validados.

### 6.1 Resultados do rastreamento de cartões

A aplicação do modelo para os cenários escolhidos resultou em informações de rastreabilidade muito importantes para a validação da proposta deste estudo. Tais informações podem ser visualizadas nas tabelas Tabela 4, Tabela 5 e Tabela 6 para os cenários 1, 2 e 3, respectivamente.

Tabela 4 – Dados do rastreamento de cartões para o cenário 1

| <b>Viagem</b> | <b>Cartões Rastreados</b> | <b>Total de Cartões</b> | <b>Total de Embarques</b> | <b>Cartões Rastreados %</b> | <b>Embarques Rastreados %</b> | <b>Cartões na Viagem %</b> |
|---------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| 70742         | 8                         | 90                      | 121                       | 8,89                        | 6,61                          | 74,38                      |
| 70822         | 6                         | 131                     | 163                       | 4,58                        | 3,68                          | 80,37                      |
| 70743         | 2                         | 40                      | 66                        | 5,00                        | 3,03                          | 60,61                      |
| 70851         | 2                         | 52                      | 75                        | 3,85                        | 2,67                          | 69,33                      |
| 70361         | 1                         | 52                      | 74                        | 1,92                        | 1,35                          | 70,27                      |

Tabela 5 – Dados do rastreamento de cartões para o cenário 2

| <b>Viagem</b> | <b>Cartões Rastreados</b> | <b>Total de Cartões</b> | <b>Total de Embarques</b> | <b>Cartões Rastreados %</b> | <b>Embarques Rastreados %</b> | <b>Cartões na Viagem %</b> |
|---------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| 70822         | 14                        | 131                     | 163                       | 10,69                       | 8,59                          | 80,37                      |
| 70742         | 10                        | 90                      | 121                       | 11,11                       | 8,26                          | 74,38                      |
| 70361         | 5                         | 52                      | 74                        | 9,62                        | 6,76                          | 70,27                      |
| 70743         | 3                         | 40                      | 66                        | 7,50                        | 4,55                          | 60,61                      |
| 70851         | 3                         | 52                      | 75                        | 5,77                        | 4,00                          | 69,33                      |
| 70741         | 1                         | 25                      | 34                        | 4,00                        | 2,94                          | 73,53                      |

Tabela 6 – Dados do rastreamento de cartões para o cenário 3

| <b>Viagem</b> | <b>Cartões Rastreados</b> | <b>Total de Cartões</b> | <b>Total de Embarques</b> | <b>Cartões Rastreados %</b> | <b>Embarques Rastreados %</b> | <b>Cartões na Viagem %</b> |
|---------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| 70822         | 21                        | 131                     | 163                       | 16,03                       | 12,88                         | 80,37                      |
| 70742         | 15                        | 90                      | 121                       | 16,67                       | 12,40                         | 74,38                      |
| 70361         | 8                         | 52                      | 74                        | 15,38                       | 10,81                         | 70,27                      |
| 70743         | 7                         | 40                      | 66                        | 17,50                       | 10,61                         | 60,61                      |
| 70821         | 3                         | 38                      | 52                        | 7,89                        | 5,77                          | 73,08                      |
| 70851         | 4                         | 52                      | 75                        | 7,69                        | 5,33                          | 69,33                      |
| 70741         | 1                         | 25                      | 34                        | 4,00                        | 2,94                          | 73,53                      |

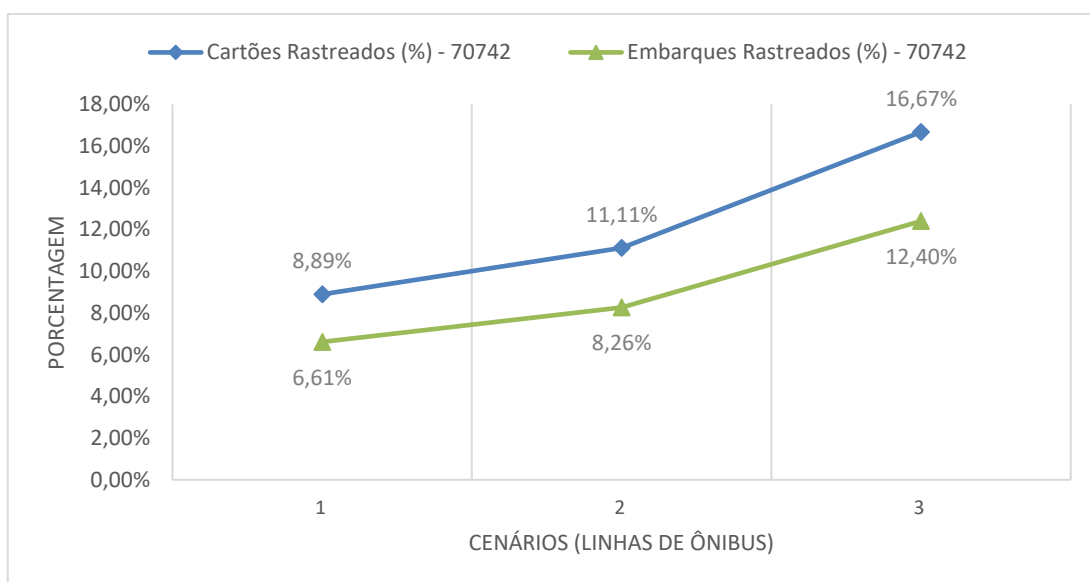
Nota-se que as viagens 70822 e 70742 se destacam com os maiores índices de cartões rastreados nos três cenários e foram escolhidas para análises mais detalhadas de carregamento. Na Tabela 7 é possível verificar as informações necessárias para comparação das duas viagens nos três cenários propostos.

Tabela 7 – Resumo do rastreamento com as duas melhores viagens

| Viagens                       | 70742    |       |       | 70822 |       |       |
|-------------------------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                               | Cenários | 1     | 2     | 3     | 1     | 2     |
| <b>Cartões Rastreados</b>     | 8        | 10    | 15    | 6     | 14    | 21    |
| <b>Total de Cartões</b>       | 90       | 90    | 90    | 131   | 131   | 131   |
| <b>Total de Embarques</b>     | 121      | 121   | 121   | 163   | 163   | 163   |
| <b>Cartões Rastreados %</b>   | 8,89     | 11,11 | 16,67 | 4,58  | 10,69 | 16,03 |
| <b>Embarques Rastreados %</b> | 6,61     | 8,26  | 12,40 | 3,68  | 8,59  | 12,88 |
| <b>Cartões na Viagem %</b>    | 74,38    | 74,38 | 74,38 | 80,37 | 80,37 | 80,37 |

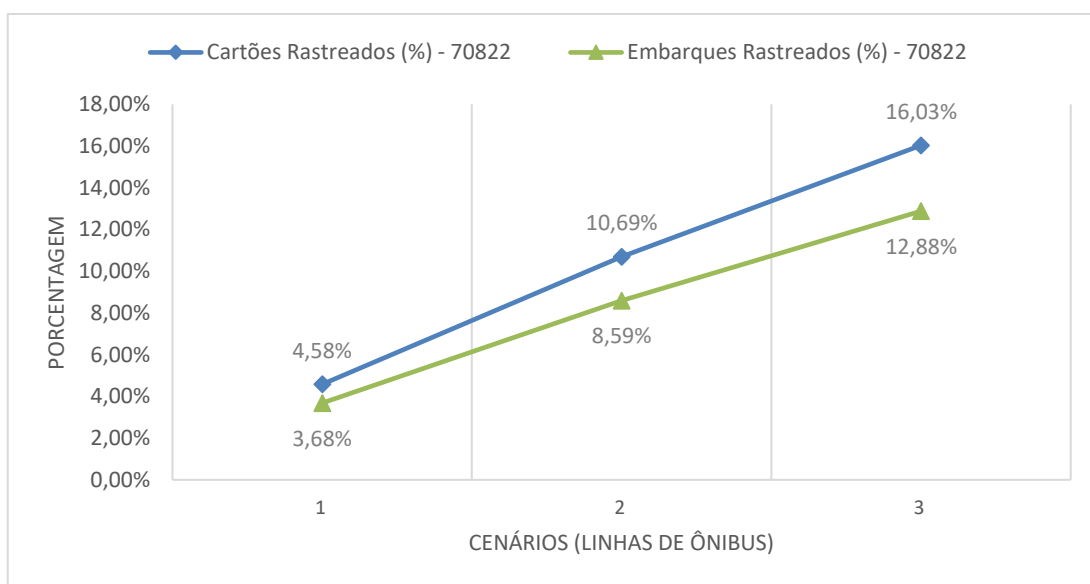
A viagem 70742 teve registro de 121 embarques, sendo 90 deles com cartão eletrônico, o que representa 74,38% do número de embarques. Desses 90 cartões, 8 deles foram rastreados no cenário 1 (8,89%), 10 no cenário 2 (11,11%) e 15 no cenário 3 (16,67%). Comparando os cartões rastreados com o total de embarques, temos 6,61%, 8,26% e 12,40% de embarques rastreados para os cenários 1, 2 e 3, respectivamente. O Gráfico 1 mostra essa evolução nos cartões e embarques rastreados.

Gráfico 1 – Evolução do rastreamento de cartões e embarques (linha 301, viagem 70742)



Quanto à viagem 70822, foram 163 registros de embarques, sendo 131 deles com cartão eletrônico, o que representa 80,37% do número de embarques. Desses 131 cartões, 6 deles foram rastreados no cenário 1 (4,58%), 14 no cenário 2 (10,69%) e 21 no cenário 3 (16,03%). Comparando os cartões rastreados com o total de embarques, temos 3,68%, 8,59% e 12,88% de embarques rastreados para os cenários 1, 2 e 3, respectivamente. O Gráfico 2 mostra essa evolução nos cartões e embarques rastreados.

Gráfico 2 – Evolução do rastreamento de cartões e embarques (linha 301, viagem 70822)



## 6.2 Embarques

Os embarques são as primeiras informações obtidas através do cruzamento dos dados de GPS e do SBE e nesta seção serão apresentadas análises das características desses embarques para as viagens 70742 e 70822.

### 6.2.1 Viagem 70742

O primeiro registro de localização da viagem 70742 foi realizado às 06:25:21 na parada 1 – Terminal de Mangabeira (301-2514-5206-5600) – e o seu último às 07:47:41 na parada 68 – Rua Monsenhor Arlindo Bezerra Camboim, 114. A viagem teve uma duração total de 01:22:20.

Analisando os dados de embarque na ótica do tipo de acesso registrado, na viagem 70742 foram validados 55 embarques de cartão comum (45,45%), 35 embarques de cartão estudante (28,93%) e 31 embarques de pagantes em dinheiro (25,62%). Nota-se que apenas uma pequena parcela dos embarques (10,74%) foi com integração temporal. A Tabela 8 mostra os totais de embarques por tipo de acesso.

Tabela 8 – Embarques separados por tipo de acesso na viagem 70742

| <b>Tipo de Acesso</b> | <b>Embarques</b> | <b>Embarques (%)</b> |
|-----------------------|------------------|----------------------|
| Comum-DEB             | 46               | 38,02                |
| Comum-INT             | 9                | 7,44                 |
| Estudante-DEB         | 31               | 25,62                |
| Estudante-INT         | 4                | 3,31                 |
| Pagante-DEB           | 31               | 25,62                |

Quando se analisa os embarques de forma georreferenciada, percebe-se que a maior densidade de validações está localizada no trecho de ida da viagem, com 96 embarques nesse trecho (79,34%). Do total de embarques, somente o Terminal de Mangabeira registrou 27, o que equivale a 22,31%. Trata-se de uma viagem com características de deslocamentos do bairro para o centro.

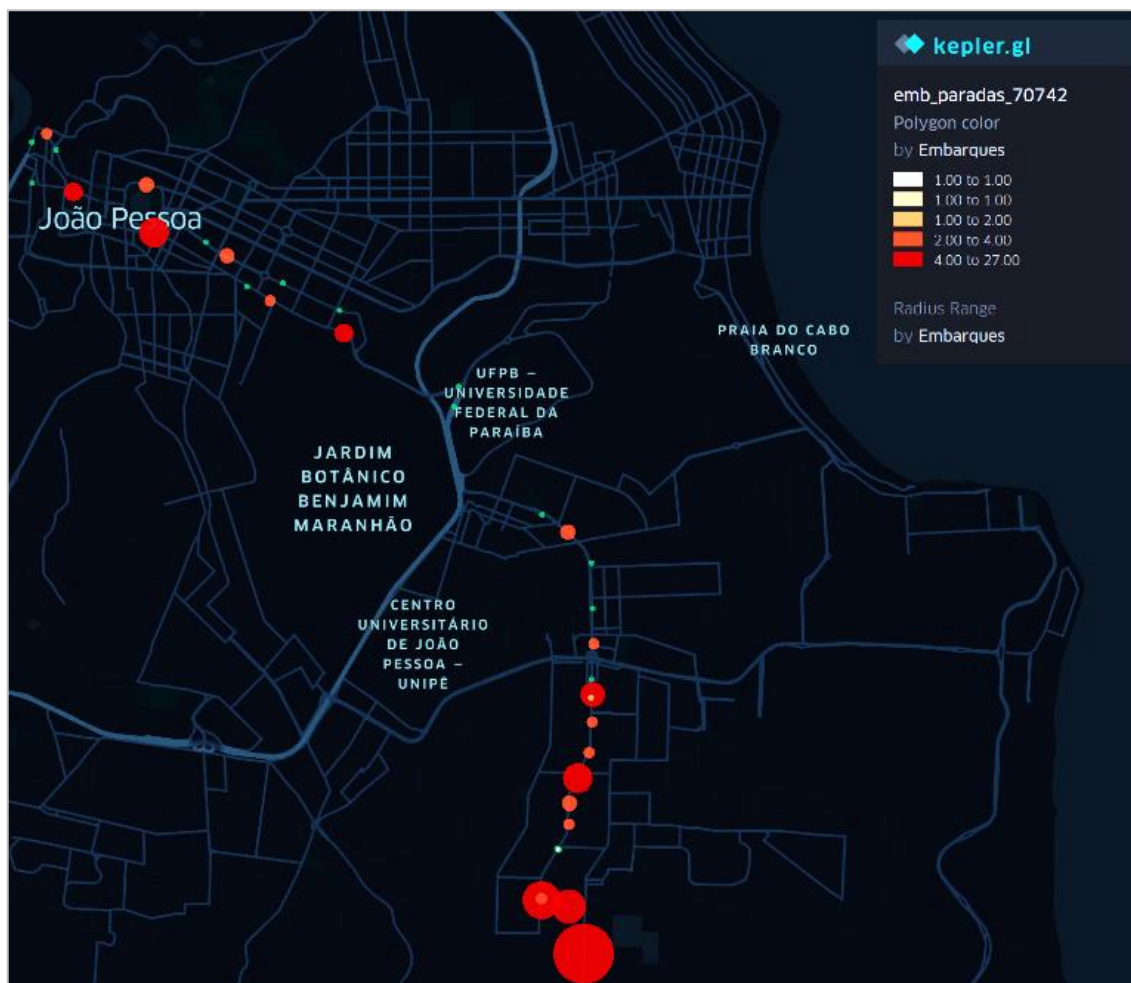
Na Tabela 9 são mostrados os quantitativos de embarques realizados em cada parada enquanto que na Figura 13 é mostrado o mapa de círculos proporcionais desses embarques – quanto maior o círculo e mais vermelho, mais embarques registrados.

Tabela 9 – Total de embarques por parada de ônibus da viagem 70742

| <b>Parada</b> | <b>Embarques</b> | <b>stopName</b>  | <b>lat</b> | <b>long</b> |
|---------------|------------------|--|------------|-------------|
| 1             | 27               | Terminal Mangabeira - (301-2514-5206-5600)               | -7,188755  | -34,839208  |
| 3             | 10               | Rua Creusa Campos De Vasconcelos, 313                    | -7,184427  | -34,840573  |
| 4             | 12               | Rua Doutor Euclides Neiva De Oliveira, 2549              | -7,183837  | -34,843108  |
| 5             | 2                | Rua Doutor Euclides Neiva De Oliveira, 2240              | -7,183714  | -34,843134  |
| 6             | 1                | Rua Josefa Taveira, 1985                                 | -7,179247  | -34,841501  |
| 7             | 2                | Rua Josefa Taveira, 1697                                 | -7,176895  | -34,840574  |
| 8             | 3                | Rua Josefa Taveira, 1479                                 | -7,174978  | -34,840522  |
| 9             | 8                | Rua Josefa Taveira, 1235 - Mercado Público De Mangabeira | -7,172667  | -34,839775  |

|    |   |  |           |            |
|----|---|--|-----------|------------|
| 10 | 2 | Rua Josefa Taveira, 933                                      | -7,170326 | -34,838704 |
| 11 | 2 | Rua Josefa Taveira, 633                                      | -7,167528 | -34,838434 |
| 12 | 6 | Rua Josefa Taveira, 315                                      | -7,164998 | -34,838387 |
| 14 | 2 | Rua Walfredo Macedo Brandão, 1777-1779                       | -7,160351 | -34,838282 |
| 15 | 1 | Rua Walfredo Macedo Brandão, 329                             | -7,157117 | -34,838387 |
| 16 | 1 | Rua Bancário Sérgio Guerra, 413                              | -7,15297  | -34,838512 |
| 17 | 3 | Rua Bancário Sérgio Guerra, 151-163                          | -7,150117 | -34,840681 |
| 23 | 1 | Avenida Dom Pedro II, 4103-4105                              | -7,136795 | -34,850758 |
| 26 | 1 | Rua Dom Santino Coutinho, 67                                 | -7,129818 | -34,86173  |
| 28 | 1 | Avenida Nossa Senhora De Fátima, 87-157                      | -7,12735  | -34,866958 |
| 30 | 3 | Avenida Camilo De Holanda, 810                               | -7,12484  | -34,872104 |
| 31 | 1 | Avenida Camilo De Holanda, 508-698                           | -7,123594 | -34,87406  |
| 33 | 3 | Parque Sólón De Lucena, 389 - Plataforma 1                   | -7,118326 | -34,879558 |
| 34 | 1 | Rua Cardoso Vieira, 51 - Parada 5                            | -7,115115 | -34,887899 |
| 35 | 2 | Praça Antenor Navarro (Das 22:00 À s 04:00)                  | -7,113637 | -34,888765 |
| 36 | 1 | Avenida Sanhauá - Marco Zero/Estação João<br>Pessoa 2        | -7,11442  | -34,890154 |
| 37 | 1 | Terminal De Integração Do Varadouro<br>(Transbordo Gratuito) | -7,118175 | -34,890127 |
| 38 | 4 | Praça Aristides Lobo, 8 - Thiago Calçados                    | -7,118978 | -34,886282 |
| 39 | 8 | Avenida Dom Pedro II, 530 - Mercado Central                  | -7,122715 | -34,87888  |
| 42 | 1 | Avenida Dom Pedro II, 1488-1580                              | -7,127668 | -34,870291 |
| 43 | 2 | Avenida Dom Pedro II, 1896-1920                              | -7,128924 | -34,868143 |
| 45 | 4 | Avenida Dom Pedro II, 2680-2836                              | -7,131918 | -34,861341 |
| 47 | 1 | Estação Cidade Universitária                                 | -7,138627 | -34,851194 |
| 51 | 1 | Rua Bancário Sérgio Guerra - Shopping<br>Sul/Praça Da Paz    | -7,148519 | -34,843056 |
| 56 | 1 | Rua Josefa Taveira, 176                                      | -7,163599 | -34,838504 |
| 57 | 1 | Rua Josefa Taveira, 344                                      | -7,165283 | -34,83855  |
| 62 | 1 | Rua Josefa Taveira, 2000                                     | -7,179152 | -34,841675 |

Figura 13 – Mapa de círculos proporcionais de embarques realizados na viagem 70742



### 6.2.2 Viagem 70822

O primeiro registro de localização da viagem 70822 foi realizado às 06:43:55 na parada 1 – Terminal de Mangabeira (301-2514-5206-5600) – e o seu último às 08:30:04 na parada 68 – Rua Monsenhor Arlindo Bezerra Camboim, 114. A viagem teve uma duração total de 01:46:09.

Pela ótica do tipo de acesso registrado, na viagem 70822 foram validados 77 embarques de cartão comum (47,24%), 51 embarques de cartão estudante (31,29%), 32 embarques de pagantes em dinheiro (19,63%) e 3 embarques de gratuidades (1,84%). Novamente, nota-se que apenas uma pequena parcela dos embarques (10,43%) foi com integração temporal. A Tabela 10 mostra os totais de embarques por tipo de acesso.

Tabela 10 – Embarques separados por tipo de acesso na viagem 70822

| <b>Tipo de Acesso</b> | <b>Embarques</b> | <b>Embarques (%)</b> |
|-----------------------|------------------|----------------------|
| Comum-DEB             | 63               | 38,65                |
| Comum-INT             | 14               | 8,59                 |
| Estudante-DEB         | 48               | 29,45                |
| Estudante-INT         | 3                | 1,84                 |
| Gratuito-DEB          | 3                | 1,84                 |
| Pagante-DEB           | 32               | 19,63                |

Quando se analisa os embarques de forma georreferenciada, percebe-se que a maior densidade de validações está localizada no trecho de ida da viagem, com 138 embarques nesse trecho (84,66%). Do total de embarques, somente o Terminal de Mangabeira registrou 46, o que equivale a 28,22%. Trata-se também de uma viagem com características de deslocamentos do bairro para o centro.

Na Tabela 11 são mostrados os quantitativos de embarques realizados em cada parada enquanto que na Figura 14 é mostrado o mapa de círculos proporcionais desses embarques – quanto maior o círculo e mais vermelho, mais embarques registrados.

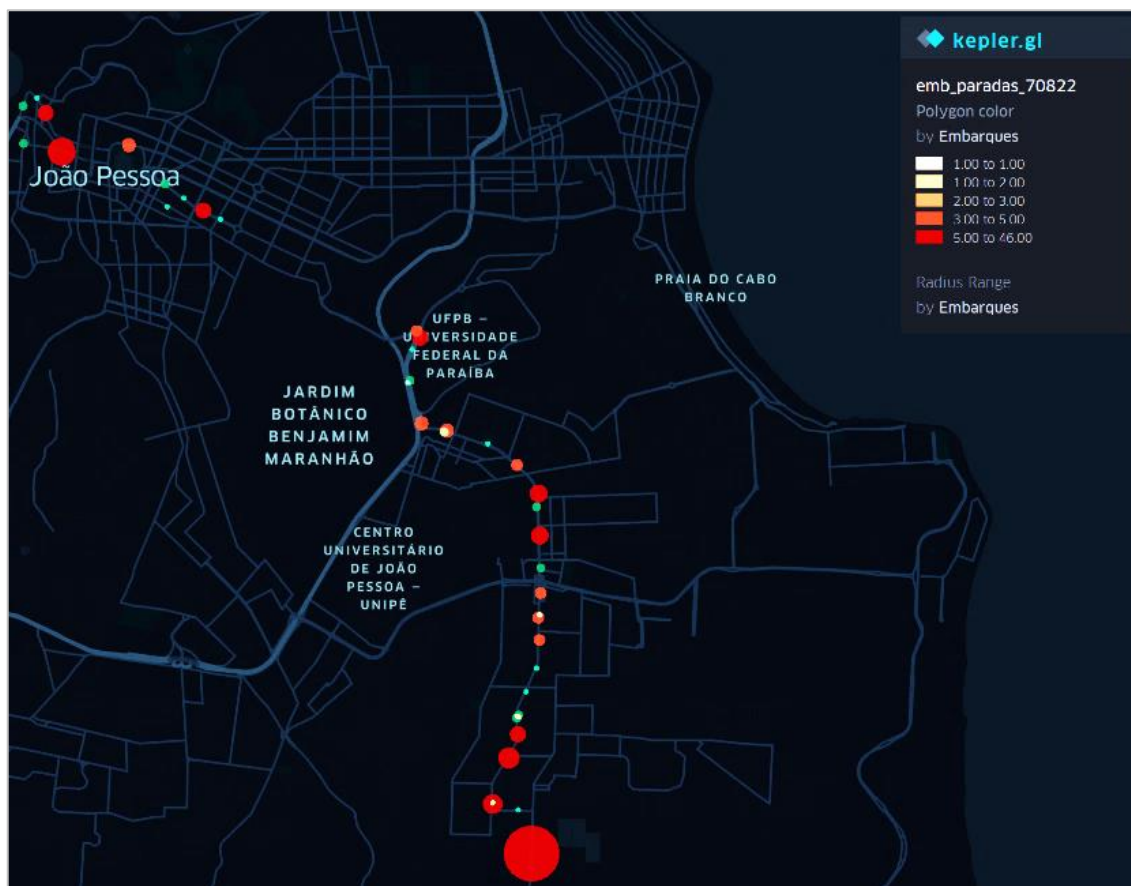
Tabela 11 – Total de embarques por parada de ônibus da viagem 70822

| <b>Parada</b> | <b>Embarques</b> | <b>stopName</b>  | <b>lat</b> | <b>long</b> |
|---------------|------------------|--|------------|-------------|
| 1             | 46               | Terminal Mangabeira - (301-2514-5206-5600)               | -7,18876   | -34,8392    |
| 3             | 1                | Rua Creusa Campos De Vasconcelos, 313                    | -7,18443   | -34,8406    |
| 4             | 7                | Rua Doutor Euclides Neiva De Oliveira, 2549              | -7,18384   | -34,8431    |
| 5             | 1                | Rua Doutor Euclides Neiva De Oliveira, 2240              | -7,18371   | -34,8431    |
| 6             | 8                | Rua Josefa Taveira, 1985                                 | -7,17925   | -34,8415    |
| 7             | 5                | Rua Josefa Taveira, 1697                                 | -7,1769    | -34,8406    |
| 8             | 2                | Rua Josefa Taveira, 1479                                 | -7,17498   | -34,8405    |
| 9             | 1                | Rua Josefa Taveira, 1235 - Mercado Público De Mangabeira | -7,17267   | -34,8398    |
| 10            | 1                | Rua Josefa Taveira, 933                                  | -7,17033   | -34,8387    |
| 11            | 3                | Rua Josefa Taveira, 633                                  | -7,16753   | -34,8384    |
| 12            | 1                | Rua Josefa Taveira, 315                                  | -7,165     | -34,8384    |
| 13            | 3                | Rua Josefa Taveira, 117                                  | -7,16286   | -34,8383    |
| 14            | 2                | Rua Walfredo Macedo Brandão, 1777-1779                   | -7,16035   | -34,8383    |
| 15            | 6                | Rua Walfredo Macedo Brandão, 329                         | -7,15712   | -34,8384    |
| 16            | 6                | Rua Bancário Sérgio Guerra, 413                          | -7,15297   | -34,8385    |
| 17            | 3                | Rua Bancário Sérgio Guerra, 151-163                      | -7,15012   | -34,8407    |



|    |    |   |          |          |
|----|----|---|----------|----------|
| 18 | 1  | Rua Bancário Sérgio Guerra - Praça Da Paz/Shopping Sul    | -7,14801 | -34,8436 |
| 19 | 4  | Rua Empresário João Rodrigues Alves, 15-17                | -7,14671 | -34,8477 |
| 20 | 4  | Via Expressa Padre Zé, Sn                                 | -7,14601 | -34,8502 |
| 21 | 2  | Via Expressa Padre Zé - Ct/Ccs/Ce                         | -7,14171 | -34,8514 |
| 22 | 5  | Via Expressa Padre Zé, 41-171 - Cchla/Ccta                | -7,13746 | -34,8504 |
| 23 | 3  | Avenida Dom Pedro II, 4103-4105                           | -7,1368  | -34,8508 |
| 29 | 1  | Avenida Camilo De Holanda, 984-1062                       | -7,12573 | -34,8704 |
| 30 | 5  | Avenida Camilo De Holanda, 810                            | -7,12484 | -34,8721 |
| 31 | 1  | Avenida Camilo De Holanda, 508-698                        | -7,12359 | -34,8741 |
| 32 | 2  | Avenida Camilo De Holanda, 280                            | -7,1222  | -34,8759 |
| 33 | 4  | Parque Sólon De Lucena, 389 - Plataforma 1                | -7,11833 | -34,8796 |
| 34 | 5  | Rua Cardoso Vieira, 51 - Parada 5                         | -7,11512 | -34,8879 |
| 35 | 1  | Praça Antenor Navarro (Das 22:00 À s 04:00)               | -7,11364 | -34,8888 |
| 36 | 2  | Avenida Sanhauá - Marco Zero/Estação João Pessoa 2        | -7,11442 | -34,8902 |
| 37 | 2  | Terminal De Integração Do Varadouro (Transbordo Gratuito) | -7,11818 | -34,8901 |
| 38 | 13 | Praça Aristides Lobo, 8 - Thiago Calçados                 | -7,11898 | -34,8863 |
| 40 | 1  | Avenida Dom Pedro II, 898-940                             | -7,12444 | -34,8757 |
| 47 | 1  | Estação Cidade Universitária                              | -7,13863 | -34,8512 |
| 48 | 1  | Via Expressa Padre Zé - Ct/Ccs/Ce                         | -7,142   | -34,8516 |
| 50 | 2  | Rua Empresário João Rodrigues Alves, 264                  | -7,14685 | -34,848  |
| 53 | 2  | Rua Walfredo Macedo Brandão, 630                          | -7,15429 | -34,8387 |
| 57 | 3  | Rua Josefa Taveira, 344                                   | -7,16528 | -34,8386 |
| 61 | 2  | Rua Josefa Taveira, 1506                                  | -7,17529 | -34,8407 |

Figura 14 – Mapa de círculos proporcionais de embarques realizados na viagem 70822



### 6.3 Carregamentos

Os cartões rastreados pelo modelo proposto tiveram suas paradas do segundo embarque relacionadas às paradas equivalentes da linha 301. Dessa forma, chegou-se às estimativas do conjunto embarques/desembarques para a determinação dos carregamentos de viagens. As análises de carregamento para as duas viagens foram colocadas nesta seção para melhor comparação entre elas.

#### 6.3.1 Viagem 70742

O Gráfico 3 mostra um exemplo de carregamento gerado com os dados das amostras de cartões rastreados, enquanto que no Gráfico 4 esses dados foram extrapolados proporcionalmente para uma melhor visualização do que seria o carregamento real da viagem analisada – ambos da viagem 70742 e no cenário 1.

Em todos os gráficos, a cor vermelha representa a seção crítica do carregamento e a cor preta indica a parada 37 (Terminal de Integração do Varadouro), ponto de retorno da viagem ou início do trecho de volta.

A partir deste exemplo, os demais gráficos de carregamento apresentados neste estudo serão com base nos dados extrapolados. Os gráficos Gráfico 5 e Gráfico 6 apresentam os carregamentos extrapolados da viagem 70742 para os cenários 2 e 3, respectivamente.

Gráfico 3 – Carregamento amostral de passageiros (linha 301, viagem 70742, cenário 1)

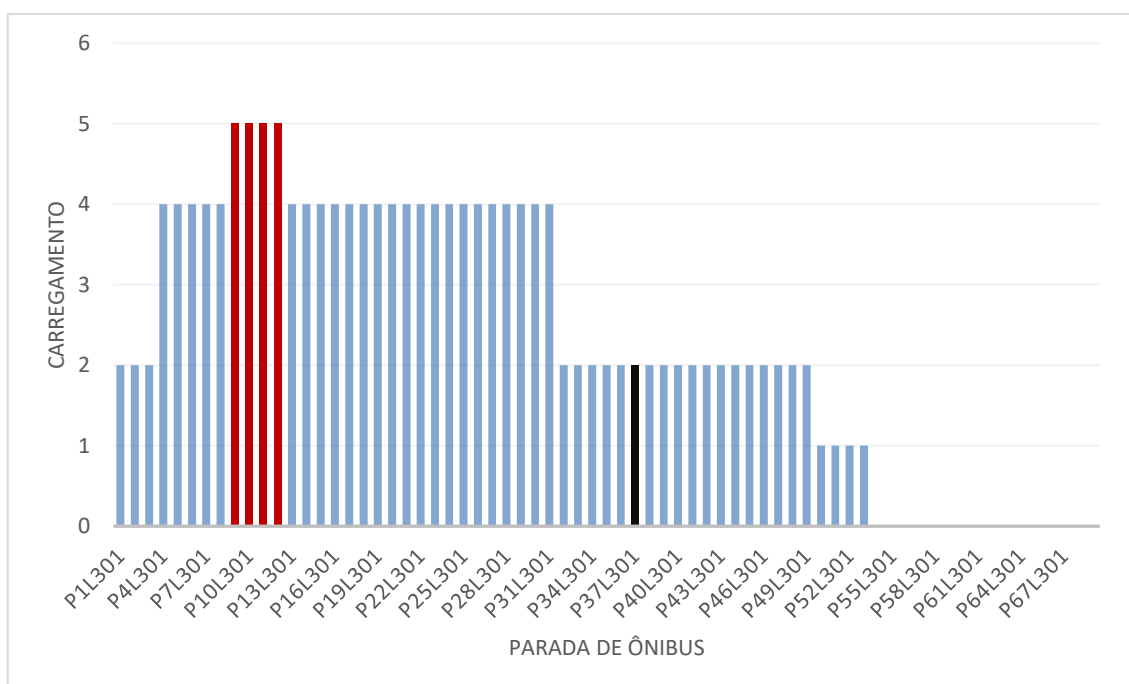


Gráfico 4 – Carregamento extrapolado de passageiros (linha 301, viagem 70742, cenário 1)

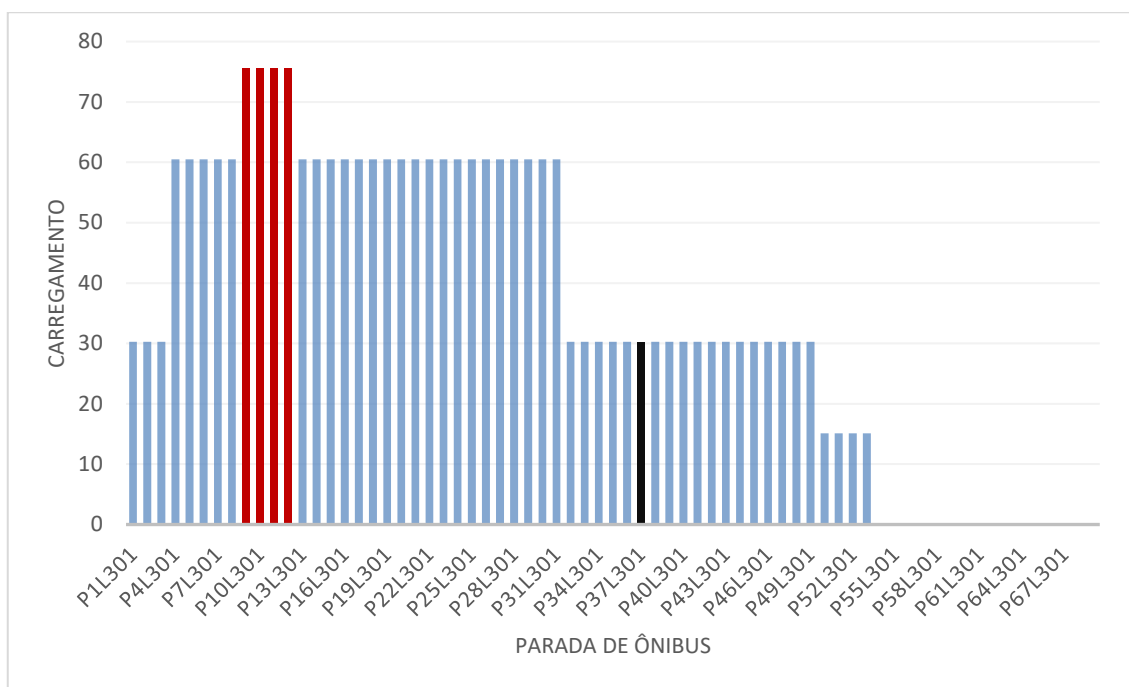


Gráfico 5 – Carregamento extrapolado de passageiros (linha 301, viagem 70742, cenário 2)

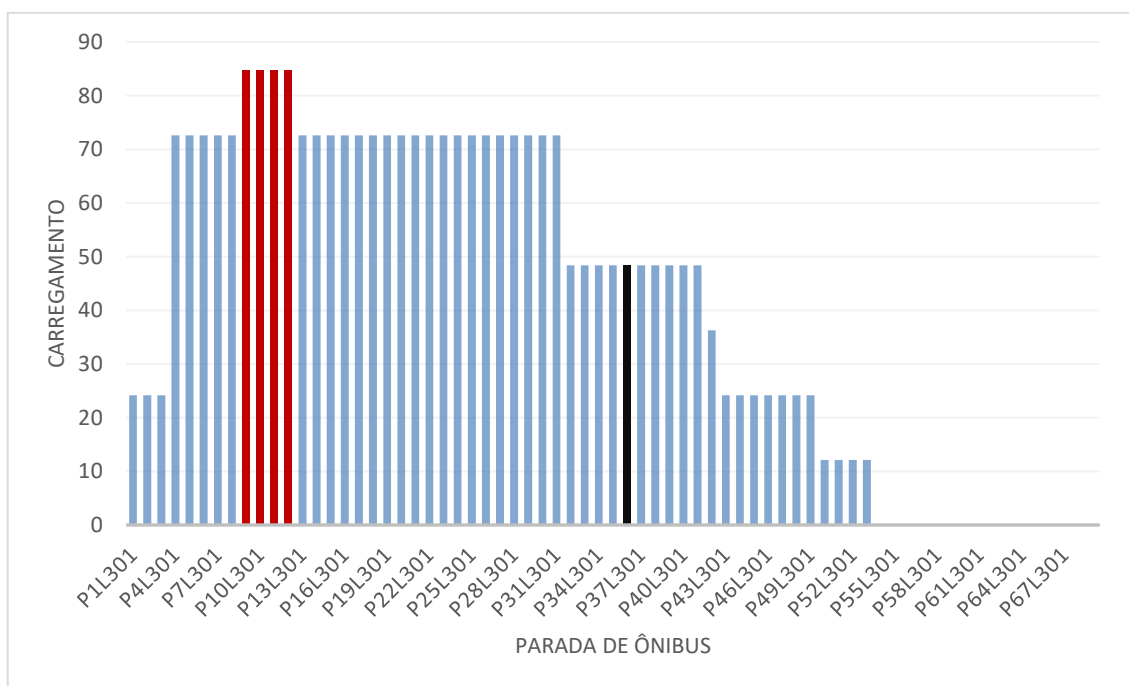
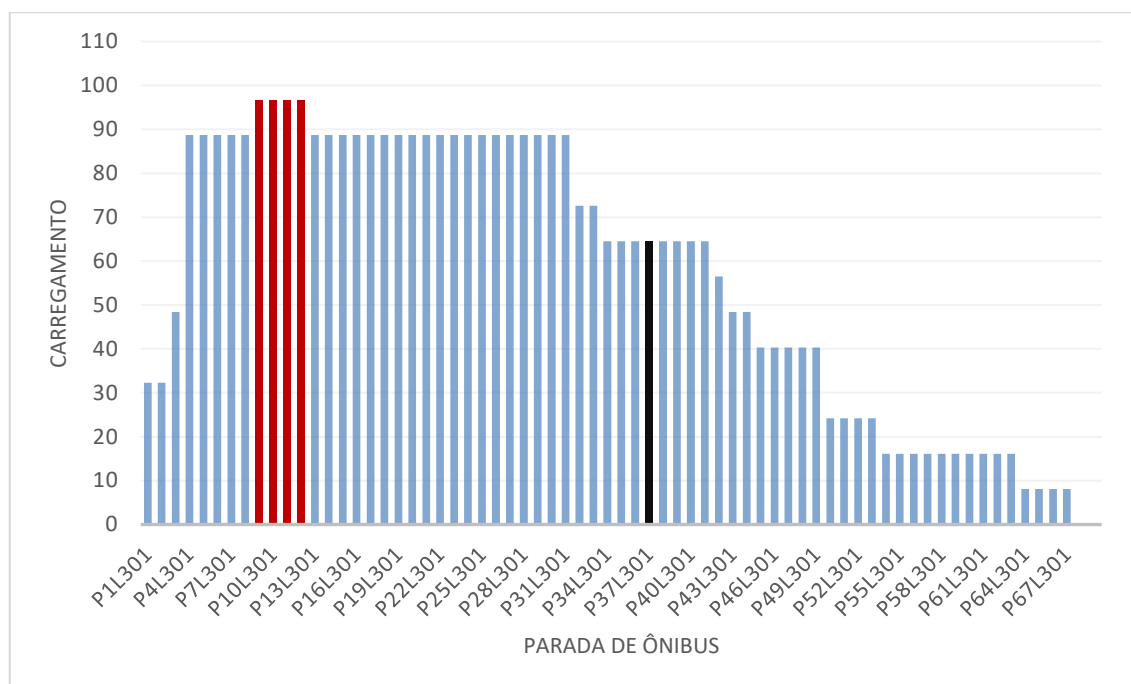
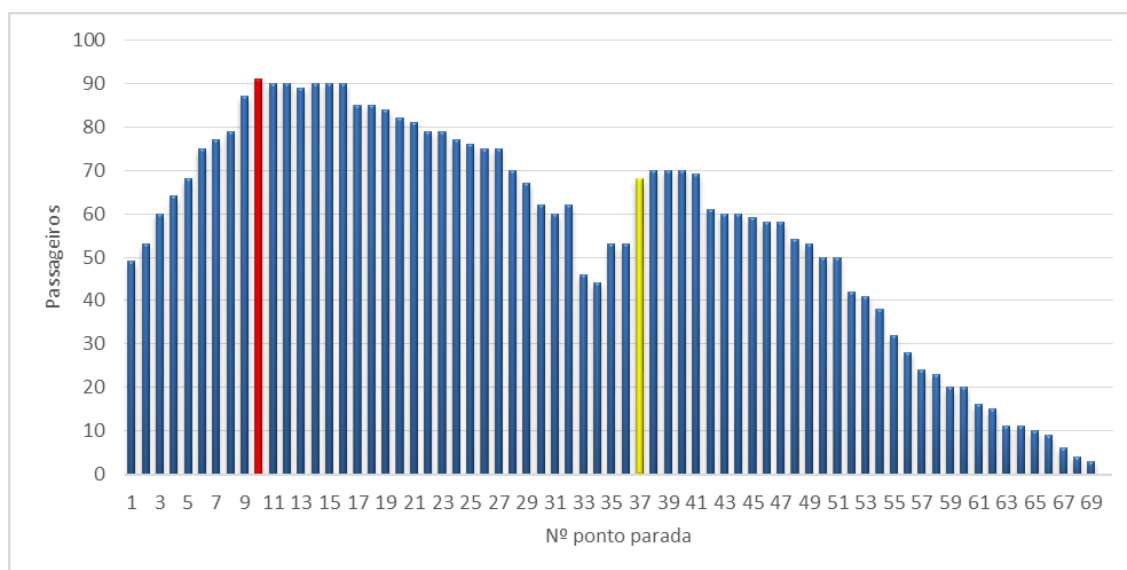


Gráfico 6 – Carregamento extrapolado de passageiros (linha 301, viagem 70742, cenário 3)



É possível perceber que o aumento do número de linhas de ônibus no banco de dados, aqui representado pelos cenários, permite maior rastreabilidade de cartões que reflete em melhores acomodações estatísticas dos embarques ao longo de toda viagem. Quanto mais linhas de ônibus analisadas, mais a estimativa do carregamento se aproxima da situação real. O Gráfico 7 mostra um carregamento real coletado em campo através de pesquisa sobe/desce por uma equipe de alunos de engenharia civil da UFPB, no dia 04/05/2017.

Gráfico 7 – Carregamento real da linha 301 (dia 04/05/2017, das 06:24h às 7:40h)



Fonte: Cedido por Gibbran Branco *et al* (2017).

O carregamento extrapolado da viagem 70742 (Gráfico 6), no cenário 3, identificou a parada 9 (Mercado Público de Mangabeira) como início da seção crítica com valor aproximado de 97 passageiros. Há um grande volume de passageiros sendo transportado no trecho de ida até a primeira redução considerável na lotação ocorrido na parada 32 (Avenida Camilo de Holanda, 280), passando para 73 passageiros. No Terminal de Integração do Varadouro não há informações de embarques devido ao embarque se dar sem validação nos ônibus. O carregamento permanece constante até a próxima redução para 56 passageiros na parada 42 (Avenida Dom Pedro II, 1488-1580) e, a partir daí, reduz sucessivamente até zerar a lotação na parada 68 (Rua Monsenhor Arlindo Bezerra Camboim, 114), próximo ao ponto final da viagem.

Quanto ao carregamento real (Gráfico 7), a seção crítica é identificada na parada 10 (Rua Josefa Taveira, 933) com o número de 91 passageiros. O gráfico real apresenta maior dinamicidade na lotação em relação ao extrapolado e a cada parada uma nova configuração de lotação é identificada. A maior redução observada no trecho de ida aconteceu na parada 33 (Parque Sólon de Lucena, 389 - Plataforma 1), passando para 46 passageiros, e no Terminal de Integração do Varadouro foi registrada uma alteração no carregamento para 68 passageiros que permaneceram embarcados até a parada 42 (Avenida Dom Pedro II, 1488-1580)

onde, a partir dela, ocorreram sucessivos desembarques até o fim da viagem na parada 69 (Terminal de Mangabeira).

As seções críticas para os dois casos, extrapolado e real, foram identificadas em paradas próximas, 9 e 10, e com número de lotação de 97 e 91, respectivamente. O primeiro grande polo de desembarques ocorreu em paradas próximas, 32 e 33, e o segundo foi registrado na parada 42 para ambos os casos, extrapolado e real. Um resumo dessa comparação – localizando as paradas onde ocorreram seção crítica, polos de desembarques e final da viagem – é mostrado na Tabela 12.

Tabela 12 – Comparação dos carregamentos extrapolado (viagem 70742, cenário 3) e real (pesquisa em campo no dia 04/05/2017)

| Ocorrências             | Carregamento extrapolado<br>(parada) | Carregamento real<br>(parada) |
|-------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|
| Seção Crítica           | 9                                    | 10                            |
| 1º Polo de Desembarques | 32                                   | 33                            |
| 2º Polo de Desembarques | 42                                   | 42                            |
| Final da viagem         | 68                                   | 69                            |

Comparando as análises desses dois casos apresentados, é notório que o modelo de rastreamento e estimação de desembarques consegue reproduzir as tendências mais fortes de embarques e desembarques nos principais polos geradores de demanda de viagens ao longo da linha 301.

### 6.3.2 Viagem 70822

Não foi encontrada uma pesquisa de sobe/desce na linha 301 com horário semelhante ao da viagem 70822, assim como foi possível para a viagem 70742. Porém, por se tratar de uma viagem com bons números de rastreabilidade pelo modelo proposto, seus carregamentos extrapolados para os três cenários foram plotados nos gráficos Gráfico 8, Gráfico 9 e Gráfico 10, respectivamente.

Gráfico 8 – Carregamento extrapolado de passageiros (linha 301, viagem 70822, cenário 1)

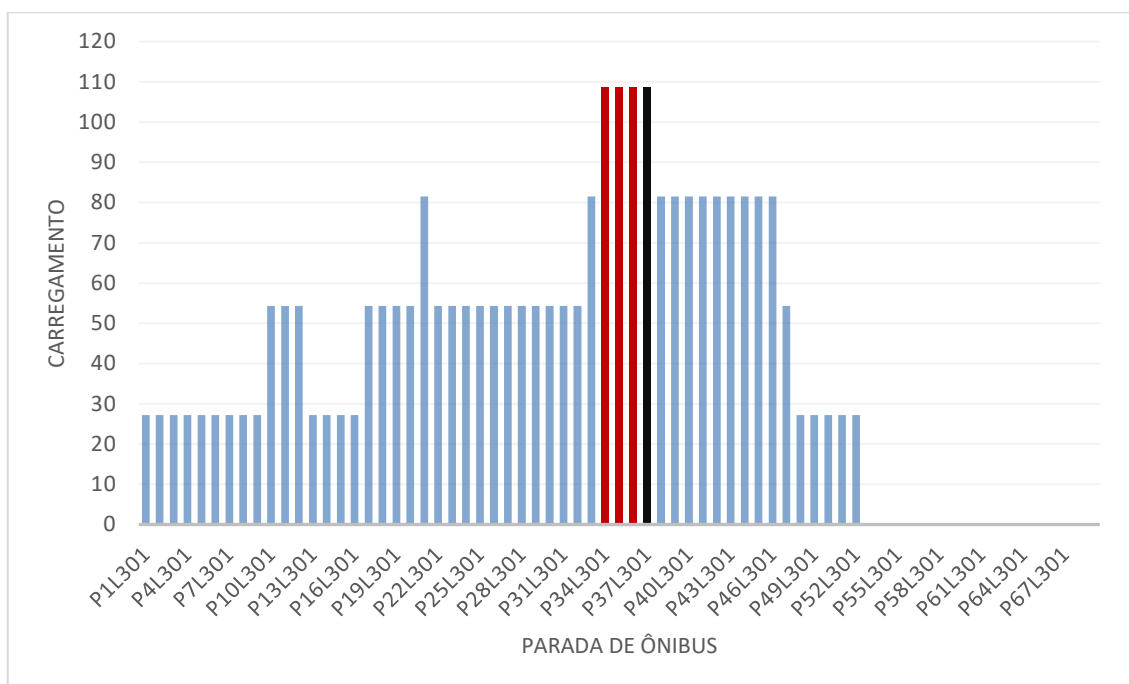


Gráfico 9 – Carregamento extrapolado de passageiros (linha 301, viagem 70822, cenário 2)

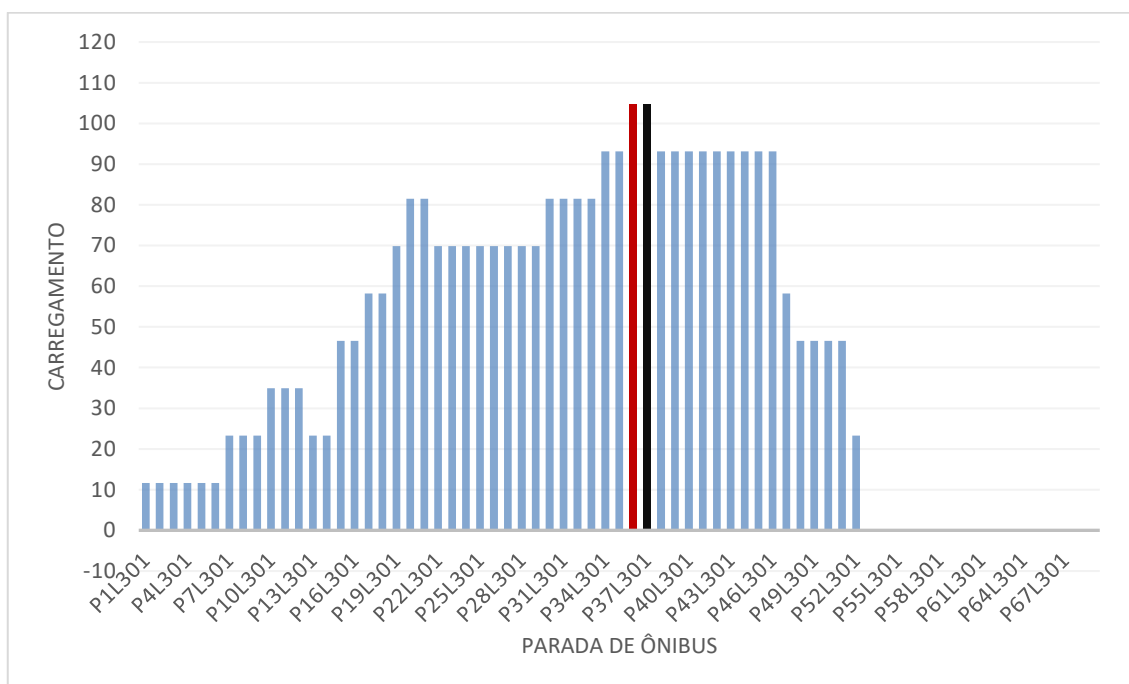
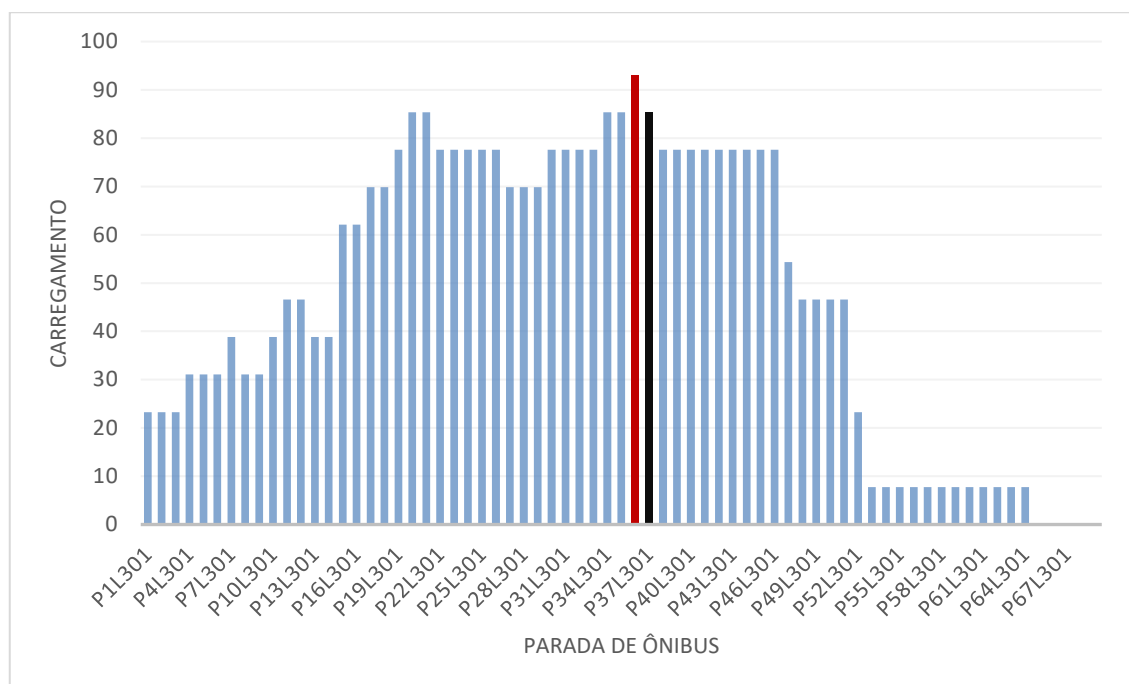




Gráfico 10 – Carregamento extrapolado de passageiros (linha 301, viagem 70822, cenário 3)



Da mesma maneira como ocorrido na viagem 70742, o carregamento da viagem 70822 apresentou melhoras na distribuição de lotações com o aumento do número de linhas de ônibus no banco de dados do modelo. O cenário 3 foi o mais sensível às variações de carregamentos, portanto, o mais próximo da situação real.

O trecho de ida apresenta, majoritariamente, variações positivas de carregamento até a seção crítica da viagem na parada 36 (Avenida Sanhauá - Marco Zero/Estação João Pessoa 2), com lotação de 93 passageiros. A partir da parada 37 (Terminal de Integração do Varadouro), ponto de inversão de sentido de viagem, ocorrem sucessivos desembarques com 3 grandes polos identificados nas paradas 47 (Estação Cidade Universitária), 52 (Rua Bancário Sérgio Guerra, 126) e 53 (Rua Walfredo Macedo Brandão, 630).

#### 6.4 Matriz Origem Destino

O modelo de estimativa de desembarques gerou uma segunda informação extremamente importante para estudos de mobilidade urbana e planejamento do sistema de transporte público coletivo urbano. Enquanto o carregamento é utilizado no dimensionamento da oferta de transporte, para as rotas e modais existentes, a

matriz origem-destino permite estudos de linhas de desejo (necessidades de transportes entre regiões), alocação de tráfego, mudança de caminhos para menor impedância (tempo, custo e distância de viagem), estimativa de crescimento do volume de tráfego e outros.

A seguir, a Tabela 13 mostra a numeração dos bairros envolvidos na matriz origem-destino que é apresentada na Tabela 14 e Tabela 15, amostral e extrapolada, respectivamente.

Tabela 13 – Numeração dos bairros para melhor formatação da matriz origem-destino

| Bairro                      | Código |
|-----------------------------|--------|
| Anatólia                    | 1      |
| Bancários                   | 2      |
| Castelo Branco              | 3      |
| Centro                      | 4      |
| Estados                     | 5      |
| Jardim Cidade Universitaria | 6      |
| Jardim Sao Paulo            | 7      |
| Mangabeira                  | 8      |
| Miramar                     | 9      |
| Torre                       | 10     |
| Valentina                   | 11     |
| Varadouro                   | 12     |

Tabela 14 – Matriz Origem Destino amostral com base no rastreamento do cenário 3

| Origem/Destino | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | Somatório |
|----------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|-----------|
| 1              | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0         |
| 2              | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 1  | 0  | 0  | 5         |
| 3              | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 2         |
| 4              | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0  | 0  | 0  | 3         |
| 5              | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0         |
| 6              | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0  | 0  | 0  | 4         |
| 7              | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0  | 0  | 0  | 2         |
| 8              | 0 | 0 | 3 | 6 | 2 | 5 | 2 | 5 | 0 | 6  | 3  | 3  | 35        |
| 9              | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0         |
| 10             | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2  | 0  | 0  | 2         |
| 11             | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0         |
| 12             | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 1 | 1  | 0  | 0  | 6         |

|                  |   |   |   |   |   |   |   |    |   |    |   |   |    |
|------------------|---|---|---|---|---|---|---|----|---|----|---|---|----|
| <b>Somatório</b> | 1 | 0 | 9 | 8 | 2 | 8 | 2 | 12 | 1 | 10 | 3 | 3 | 59 |
|------------------|---|---|---|---|---|---|---|----|---|----|---|---|----|

Tabela 15 – Matriz Origem Destino extrapolada com base no rastreamento do cenário 3

| <b>Origem/Destino</b> | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> | <b>5</b> | <b>6</b> | <b>7</b> | <b>8</b> | <b>9</b> | <b>10</b> | <b>11</b> | <b>12</b> | <b>Somatório</b> |
|-----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|------------------|
| <b>1</b>              | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0         | 0         | 0         | 0                |
| <b>2</b>              | 10       | 0        | 10       | 0        | 0        | 20       | 0        | 0        | 0        | 10        | 0         | 0         | 50               |
| <b>3</b>              | 0        | 0        | 10       | 10       | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0         | 0         | 0         | 20               |
| <b>4</b>              | 0        | 0        | 10       | 0        | 0        | 10       | 0        | 10       | 0        | 0         | 0         | 0         | 30               |
| <b>5</b>              | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0         | 0         | 0         | 0                |
| <b>6</b>              | 0        | 0        | 30       | 0        | 0        | 0        | 0        | 10       | 0        | 0         | 0         | 0         | 40               |
| <b>7</b>              | 0        | 0        | 0        | 10       | 0        | 0        | 0        | 10       | 0        | 0         | 0         | 0         | 20               |
| <b>8</b>              | 0        | 0        | 30       | 59       | 20       | 50       | 20       | 50       | 0        | 59        | 30        | 30        | 348              |
| <b>9</b>              | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0         | 0         | 0         | 0                |
| <b>10</b>             | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 20        | 0         | 0         | 20               |
| <b>11</b>             | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0         | 0         | 0         | 0                |
| <b>12</b>             | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 40       | 10       | 10        | 0         | 0         | 60               |
| <b>Somatório</b>      | 10       | 0        | 90       | 79       | 20       | 80       | 20       | 120      | 10       | 99        | 30        | 30        | 588              |

As viagens envolvidas no cenário de 3 apresentaram um total de 585 embarques, porém, devido aos arredondamentos da extrapolação para valores absolutos, a matriz origem-destino da Tabela 15 ficou com total de 588 passageiros.

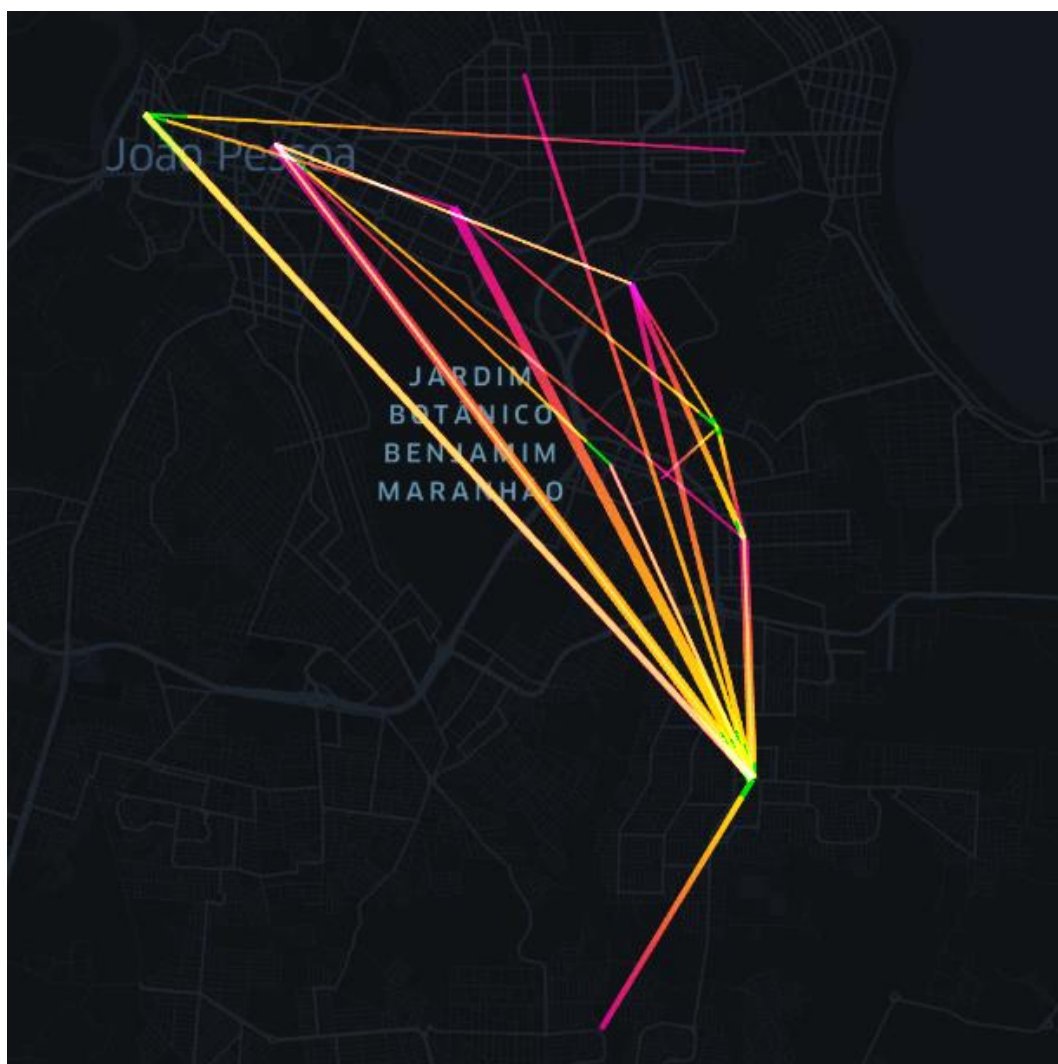
Verifica-se que o bairro de Mangabeira é o maior polo de geração e atração de deslocamentos, tendo gerado 59,18% e atraído 20,41% dos deslocamentos totais no período de pico da manhã. O segundo bairro com maior geração de deslocamentos é o Varadouro, com 10,20%, e o segundo com maior atração é a Torre, com 16,84%.

Quanto às tendências de deslocamentos, estima-se que o mesmo número de passageiros, 59, deslocaram-se de Mangabeira para o Centro e de Mangabeira para a Torre, o que equivale à 10,03% cada em relação ao total de deslocamentos realizados no período de análise. Os deslocamentos de Mangabeira para Jardim Cidade Universitária e de Mangabeira para ele mesmo, apresentaram número estimado de 50 cada (8,50%).

A Figura 15 traz o mapa de linha referente aos deslocamentos analisados nesta seção. O mapa de linhas é geralmente utilizado para visualizar os deslocamentos entre zonas em um plano 2D. Neste caso as zonas são os bairros

e as pontas de cada segmento de reta possuem colorações para a rosa, identificando que se trata de um bairro com característica forte de atração de viagens, e para o amarelo, identificando bairros com característica forte de geração de viagens. A espessura da linha representa o volume de trocas de viagens entre os dois bairros, sendo mais grossa para maiores volumes. Na plataforma Kepler.gl é possível interagir com o mapa e, ao posicionar o curso do mouse em cima de qualquer linha, é exibido os nomes dos bairros e quantitativos de passageiros embarcados e desembarcados, o que não é possível verificar nesta imagem do mapa.

Figura 15 – Mapa de linhas de deslocamentos no pico da manhã



A Figura 16 mostra um mapa de arcos em 3D desses deslocamentos apresentados na matriz origem-destino e também no mapa de linhas. O mapa de arcos apresenta as mesmas informações que o mapa de linha, porém este se mostra em um plano 2D enquanto que aquele no plano 3D. A visualização em três dimensões do mapa de arcos permite melhor compreensão das relações de atração e geração de viagens entre os bairros compreendidos no estudo. As pontas dos arcos com coloração próxima à cor roxa representam os bairros com valores maiores de atração de viagens enquanto que as pontas de coloração amarelada representam os bairros com maiores volumes de geração.

Figura 16 – Mapa 3D de arcos de deslocamentos no pico da manhã



O bairro de Mangabeira aparece em ambos os mapas concentrando a maior parte das gerações. Em Mangabeira, devido ao valor absoluto de geração ser quase três vezes maior que o de atração, como pode ser visto na matriz origem-destino, a coloração amarelada se sobressai. Os mapas apresentados possibilitam

melhor visualização espacial dos deslocamentos estimados e complementam muito bem as informações de deslocamentos da matriz de origem destino.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

O método proposto se mostrou eficaz na análise dos dados de GPS e de bilhetagem eletrônica para estimativas de carregamento do sistema e matriz origem-destino. Os resultados do carregamento para as viagens escolhidas se mostraram coerentes com a situação real, verificada em campo. O potencial desse método é imensurável, visto que obteve bons resultados analisando apenas sete linhas de ônibus, dentre 101 existentes no sistema, e apenas durante um dia do ano.

Uma das grandes forças do Big Data é a possibilidade de se extrair diversas informações a partir do cruzamento de diferentes tipos de dados que separados podem não apresentar muito valor, mas juntos se tornam poderosos insumos para vários setores produtivos, incluindo o setor público. O modelo adaptado para o caso de João Pessoa ainda é muito pequeno se pensarmos que tal metodologia pode ser aplicada a todas as viagens realizadas na cidade, durante todos os dias do ano.

A análise dos dados do SBE e GPS é de extrema importância para o planejamento operacional do sistema de transporte público e permite melhor compreensão dos deslocamentos realizados e comportamento da demanda real de passageiros. Como foi visto na revisão bibliográfica, a demanda por viagens só existe pela necessidade de deslocamentos para trabalho, estudo e lazer e essas necessidades são extremamente sensíveis ao tempo, à economia local, às paralizações trabalhistas e estudantis, entre outros.

Com o método apresentado é possível identificar o que ocorre no sistema de transporte público coletivo ao longo de todo o dia e isso vai de encontro às necessidades das cidades de reagirem com mais rapidez para combater os novos problemas que a cada dia surgem. Como exemplos de soluções possíveis a partir dessas análises estão o dimensionamento operacional responsivo aos dias úteis, feriados e finais de semana para diversos períodos do ano, gerando mais racionalidade dos custos operacionais, melhoria da qualidade do sistema e diminuindo sobreposições desnecessárias de linhas e horários; estudos socioeconômicos das viagens a partir das informações de cadastro dos cartões eletrônicos, assim como com os dados censitários do IBGE; auxílio nas decisões comerciais e de marketing para ampliação do uso dos cartões, para implementação

de tarifas diferenciadas por públicos e períodos fora-pico e para novas relações econômicas entre o setor de transporte público e outros locais; e auxílio aos planejamentos urbanos por parte do setor público responsável.

Em específico para o caso de João Pessoa, entende-se que a formatação atual do Terminal de Integração do Varadouro é prejudicial para a qualidade das análises propostas visto que o terminal concentra grandes volumes diários de embarques sem validação do cartão. São milhões de dados perdidos diariamente que poderiam estar sendo utilizados para solucionar diversos problemas de mobilidade da cidade, como visto nas soluções possíveis.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALSGER, A. A. M. **Estimation of transit origin destination matrices using smart card fare data**. Tese de Doutorado. The University of Queensland, School of Civil Engineering, Australia. 2016.

ARBEX, R. O.; CUNHA, C. B. **Estimação da matriz origem-destino e da distribuição espacial da lotação em um sistema de transporte sobre trilhos a partir de dados de bilhetagem eletrônica**. ANPET. 2017.

ARBEX, R. O.; TORRES, S. R. **Variabilidade da demanda e da oferta do transporte coletivo**. Revista Engenharia, nº 635, ano 75, p. 72-79. 2017. Disponível em: <<https://issuu.com/www.viapapel.com.br/docs/635/72>>. Acesso em 10 de fevereiro de 2018.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS EMPRESAS DE TRANSPORTES URBANOS – NTU. **À beira do colapso**. Disponível em: <<http://www.ntu.org.br/novo/NoticiaCompleta.aspx?idArea=10&idNoticia=964>>. Acesso em 22 de maio de 2018.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS – ANTP. **Big Data para análise de métricas de qualidade de transporte: metodologia e aplicação**. Caderno Técnico, volume 20. 2015.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS – ANTP. **Sistemas Inteligentes de Transportes**. Caderno Técnico, volume 8. 2012.

BASS, P. et al. **A model to assess public transport demand stability**. Transportation Research Part A: Policy and Practice, Elsevier. 2011.

CARVALHO, G. S. D. **Caracterização e análise da demanda por transporte em um campus universitário: o caso da UFRJ**. Dissertação de Mestrado.

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE). 2016.

FARIA, C. A. et al. **Matriz origem/destino - um instrumento para a otimização do transporte público urbano por ônibus**. APMTAC, Portugal. 2004.

FERRAZ, A. C. P.; TORRES, I. G. E. **Transporte público urbano**. RiMa Editora, São Carlos. 2004.

FERREIRA, E. A. **Um método de utilização de dados de pesquisa embarque/desembarque na calibração de modelos de distribuição do tipo gravitacional**. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, Escolha de Engenharia de São Carlos, Departamento de Transportes. 1999.

GORDON, J. B. et al. **Estimation of population origin–interchange–destination flows on multimodal transit networks**. Transportation Research Part C 90, p. 350–365. 2018.

GUERRA, A. L. et al. **Estimativa de matriz origem/destino utilizando dados do sistema de bilhetagem eletrônica: proposta metodológica**. Transportes, v. 22, n. 3, p. 26–38. 2014.

HORA, J. et al. **Estimation of Origin-Destination matrices under Automatic Fare Collection: the case study of Porto transportation system**. Transportation Research Procedia 27, p. 664-671. 2017.

JUNIOR, D. J. T. **Análise da demanda de transporte coletivo de quatro cidades médias do estado de São Paulo**. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, Escolha de Engenharia de São Carlos, Departamento de Transportes. 2010.

KANAFANI, A. K. **Transportation demand analysis**. Editora McGraw-Hill. 1983.

KAWAMOTO, E. **Análise de Sistema de Transporte**. Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Transportes, 2ª Edição. 1994.

KNEIB, E. C.; SILVA, P. C. M. **Relação entre demanda e oferta de transporte público coletivo: uma análise estratégica utilizando SIG e estatística espacial**. XXI ANPET. 2007.

LI, T. et al. **Smart Card Data Mining of Public Transport Destination: A Literature Review**. Information, 9, 18. 2018.

MANGUEIRA, L. R. **Avaliação da viabilidade do uso de tarifa diferenciada por horário no sistema de transporte público de João Pessoa**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. 2016.

MESQUITA, H. C.; AMARAL, M. J. **Matriz O/D com base nos dados do Sistema de Bilhetagem Eletrônica**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil e Ambiental. 2016.

OLIVEIRA, G. T.; NASSI, C. D. **Regularidade e estimativa de desembarque a partir de dados de Smartcard de sistemas de bilhetagem eletrônica**. XXXI Congresso Nacional de Pesquisa em Transporte da ANPET, Recife. 2017.

OLIVEIRA, G. T. **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**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE). 2016.

ORTUZAR, J. de D.; WILLUNSEN, L. G. **Modelling Transport**. Great Britain, England. John Wiley Sons, 2011.

PEREIRA, F. P. A. **Big Data e Data Analysis: Visualização de Informação**. Dissertação de Mestrado. Universidade do Minho, Escola de Engenharia. 2015.

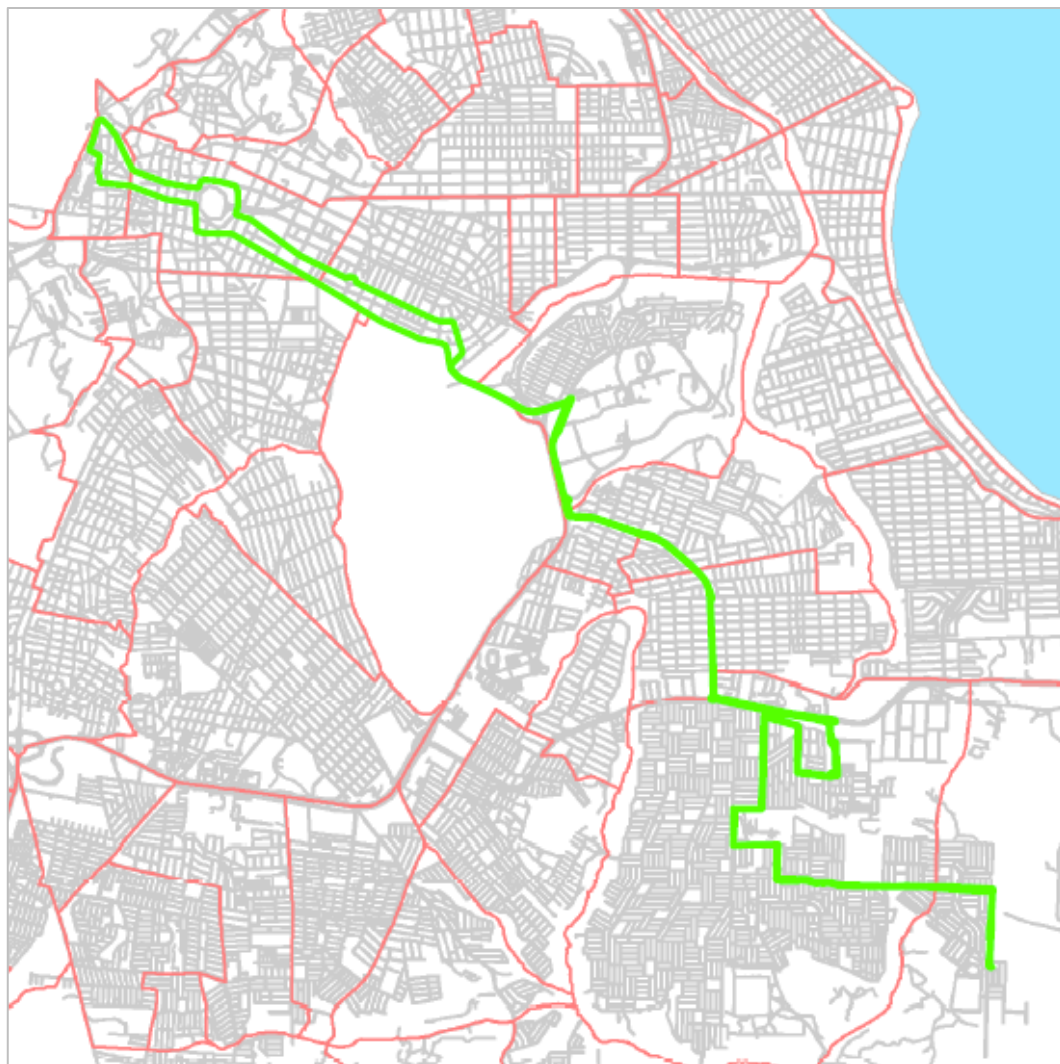
PILON, J. A. **Sistema de informação ao usuário do transporte coletivo por ônibus na cidade de Vitória-ES**. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Ponta Grossa, Departamento de Engenharia de Produção. 2009.

Superintendência Executiva de Mobilidade Urbana – SEMOB. **Dados sobre o Sistema de Transporte Coletivo Convencional**. Disponível em: <<http://www.joaopessoa.pb.gov.br/secretarias/semob/onibus/>>. Acesso em 04 de junho de 2018.

TAO, S. et al. **Examining the spatial–temporal dynamics of bus passenger travel behaviour using smart card data and the flow-comap**. *Journal of Transport Geography* 41, p. 21–36. 2014.

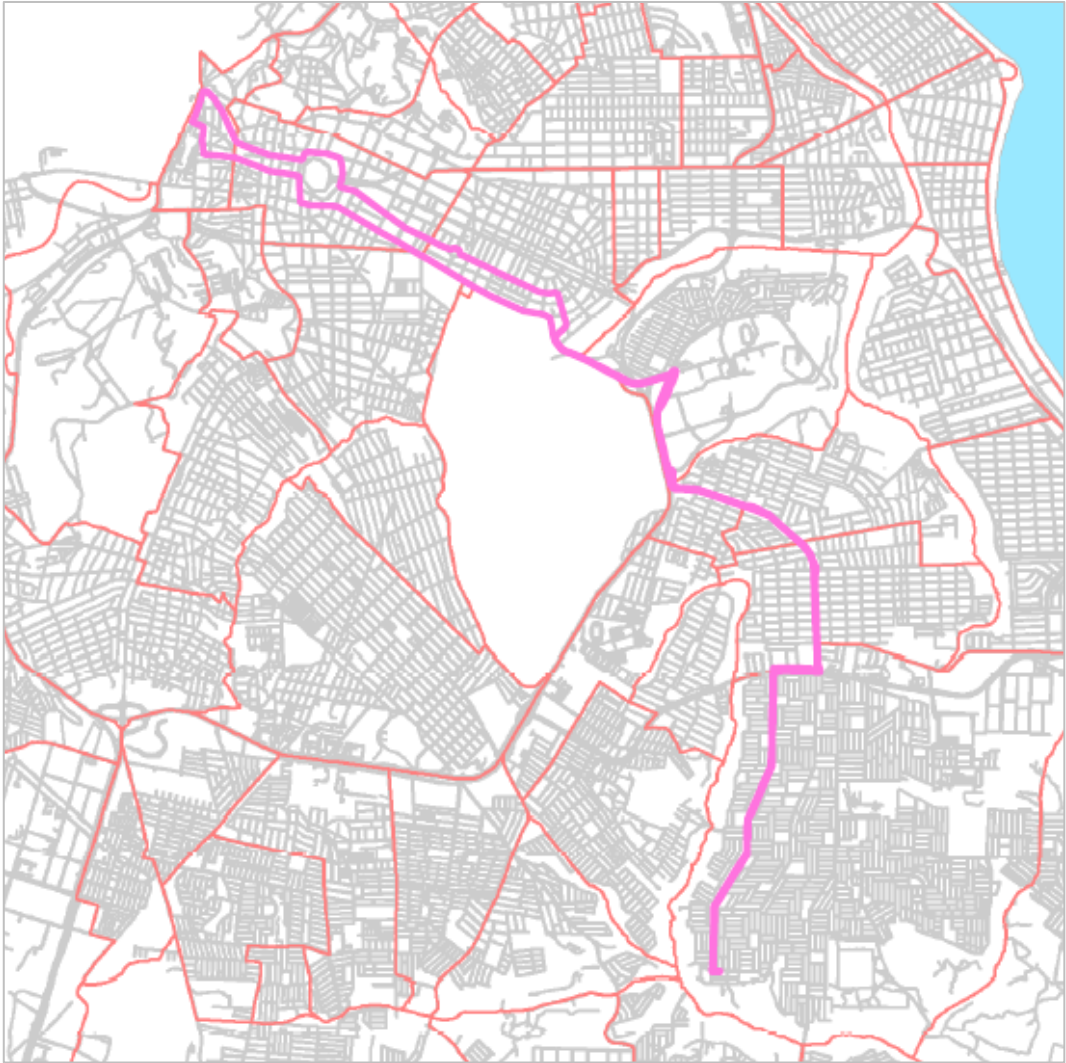
## ANEXO

### Anexo I: Rota da Linha 302 (Cidade Verde)



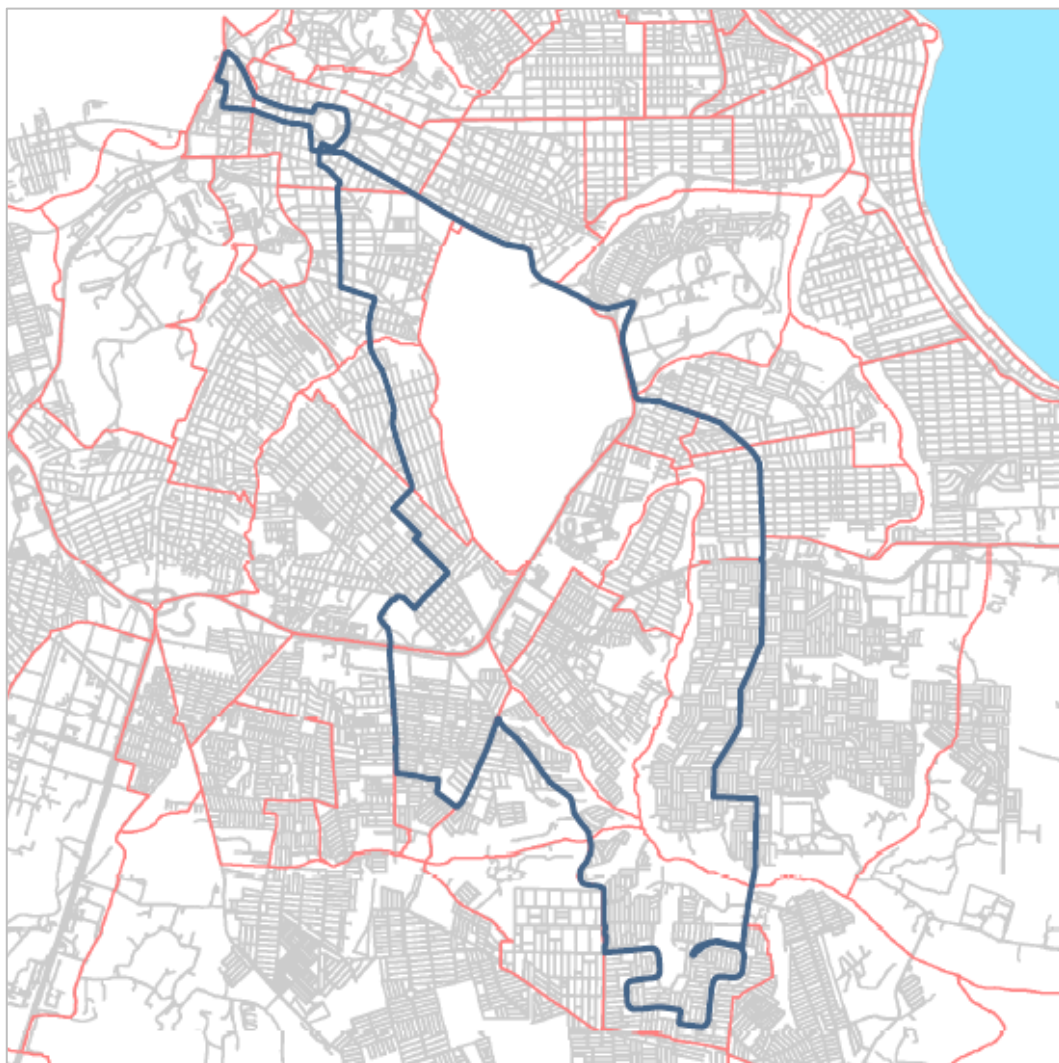
Fonte: SEMOB-JP, 2018.

**Anexo II: Rota da Linha 303 (Mangabeira Pedro II)**



Fonte: SEMOB-JP, 2018.

### Anexo III: Rota da Linha 2300 (Circular)



#### Anexo IV: Rota da Linha 2303 (Mangabeira – Rangel – Pedro II)



Fonte: SEMOB-JP, 2018.

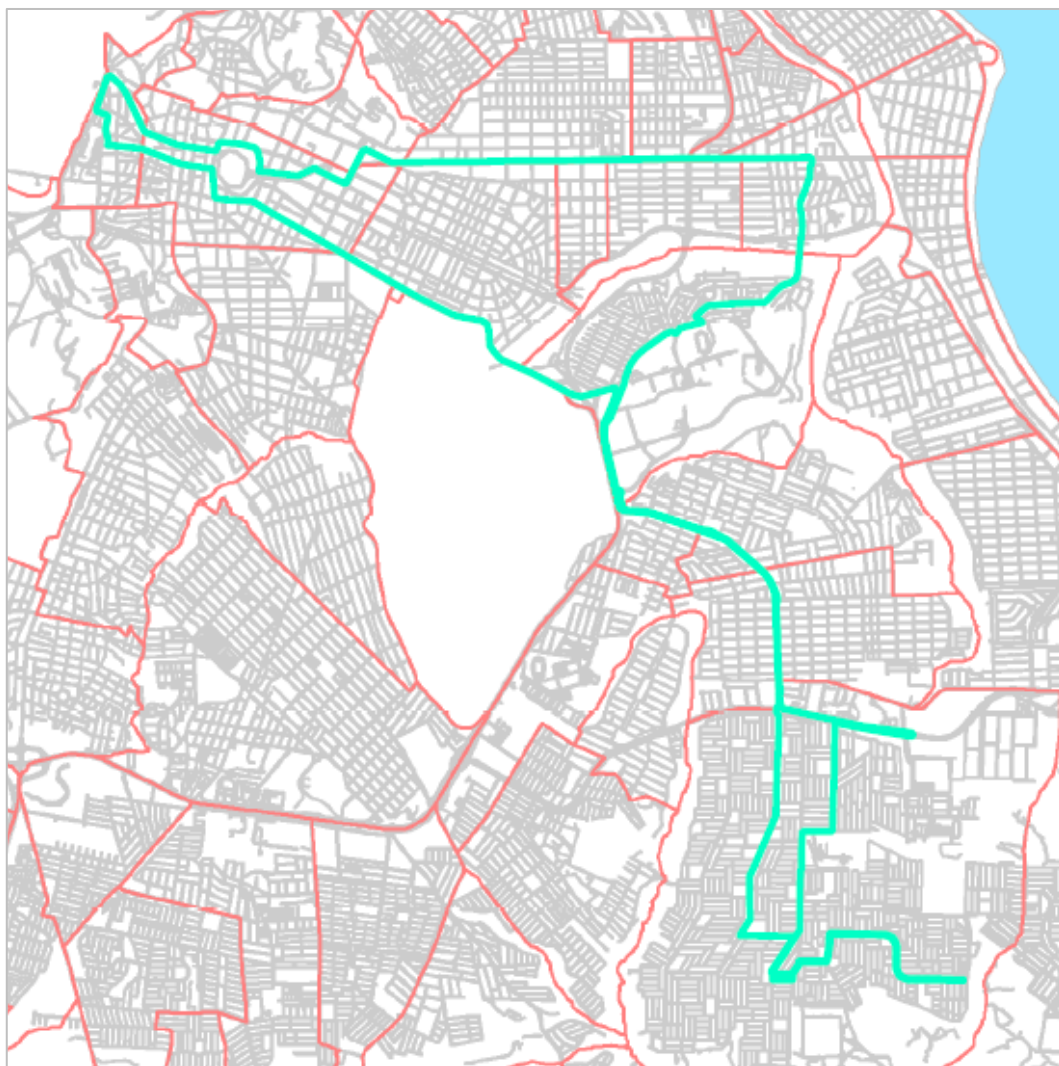


**Anexo V: Rota da Linha 2307 (Mangabeira – Rangel – Pedro II)**



Fonte: SEMOB-JP, 2018.

## Anexo VI: Rota da Linha 5307 (Cidade Verde)



Fonte: SEMOB-JP, 2018.