

Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA
Engenharia de Software

Sistema Inteligente para Aumento da Confiabilidade nas Informações sobre Transporte Público

Autor: Rafael de Souza Queiroz
Orientador: Prof. Dr. Fabricio Ataidés Braz

Brasília, DF
2014



Rafael de Souza Queiroz

Sistema Inteligente para Aumento da Confiabilidade nas Informações sobre Transporte Público

Monografia submetida ao curso de graduação em (Engenharia de Software) da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em (Engenharia de Software).

Universidade de Brasília - UnB

Faculdade UnB Gama - FGA

Orientador: Prof. Dr. Fabricio Ataidés Braz

Brasília, DF

2014

Rafael de Souza Queiroz

Sistema Inteligente para Aumento da Confiabilidade nas Informações sobre Transporte Público/ Rafael de Souza Queiroz. – Brasília, DF, 2014-
86 p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Fabricio Ataidés Braz

Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA , 2014.

1. Sistemas Inteligentes de Transporte. 2. Transporte Público Coletivo. I.
Prof. Dr. Fabricio Ataidés Braz. II. Universidade de Brasília. III. Faculdade UnB
Gama. IV. Sistema Inteligente para Aumento da Confiabilidade nas Informações
sobre Transporte Público

CDU 02:141:005.6

Rafael de Souza Queiroz

Sistema Inteligente para Aumento da Confiabilidade nas Informações sobre Transporte Público

Monografia submetida ao curso de graduação em (Engenharia de Software) da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em (Engenharia de Software).

Trabalho aprovado. Brasília, DF, 26/11/2014:

Prof. Dr. Fabricio Ataides Braz
Orientador

Prof. Nilton Correia da Silva
Convidado 1

**Prof^ª. Paulo Roberto Miranda
Meirelles**
Convidado 2

Brasília, DF
2014

Agradecimentos

Agradeço a Deus por permitir que chegasse até aqui, aos meus pais pela paciência, apoio, moral e educação dada. Agradeço também ao meu professor orientador que auxiliou na construção das ideias aqui presentes e a manter a motivação nos momentos difíceis, e também às pessoas com que conversei ao longo do amadurecimento das ideias, ampliando a confiança na importância do presente trabalho. Agradeço também ao senhor Marco Antonio Motta, do Ministério das Cidades, por ter me apresentado a área de Sistemas Inteligentes de Transporte e ao senhor Adonis Gonçalves por ter mostrado o modelo atual do STPC/DF e as iniciativas desenvolvidas. Por fim, agradeço à Universidade de Brasília e à Faculdade Gama por me auxiliar a ganhar embasamento técnico e teórico para o desenvolvimento deste trabalho, assim como todos os professores que fizeram o mesmo ao longo da minha vida escolar/acadêmica.

Resumo

O transporte público coletivo do Distrito Federal é conhecido como ineficiente e de baixa qualidade, devido à superlotação e irregularidade de horários. Abordagens para mudar esse fato, como a mudança para um sistema integrado de tarifação e renovação da frota, ainda não são suficientes. Para que sejam adotadas ações eficientes sobre o problema é necessário mensurar inicialmente a demanda variável por transporte público e o mapeamento da movimentação da população por ônibus. O conhecimento da população sobre localização e lotação de determinado ônibus pode ajudar no planejamento individual do uso deste, reduzindo o tempo desnecessário de espera nos pontos de parada. Conseqüentemente, aumenta o conforto das viagens com a redução da superlotação, assim como beneficia as empresas de transporte com redução da sublotação. O objetivo desse trabalho é levantar e apresentar características de um sistema inteligente para aumento da confiabilidade nas informações sobre transporte público coletivo modal ônibus do Distrito Federal que permita o mapeamento dos pontos de parada e da lotação dos ônibus, que possa assim, possibilitar a construção de ferramentas que estimulem o uso do transporte público e melhorem a mobilidade urbana.

Palavras-chaves: transporte público coletivo, mapeamento de pontos de parada, sistema de informação para transporte público, mobilidade urbana, ITS, sistemas inteligentes de transporte, sistemas de informações geográficas, GIS.

Abstract

The public transportation of Brazil's Federal District is known as inefficient and as "low level quality" due to overcrowding and irregularity of schedules. Some approaches to change this scenario, as the shift to an integrated billing model and bus fleet renewal are not enough yet. To adopt effective actions on these issues, is necessary to measure first public transportation variable demands and mapping crowd mobility by bus. The information to people about location and occupancy rates of buses may help the individual planning of use of them, reducing waste of time waiting at bus stop. Thereafter, it increases the comfort of travels by reducing overcrowding, as well as benefiting transportation companies with low levels of under expected occupancy rates. This work aims to present characteristics of an intelligent system to improve the reliability of information about public transportation by bus of Federal District, to enable bus stop mapping, and occupancy rates mapping and can thus enable building tools which encourage the use of public transport and improve urban mobility.

Keywords: public transportation, bus stop mapping, information system for public transport, urban mobility, ITS, intelligent transportation systems.

Lista de ilustrações

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Dimensões da comunicação e sua relação com as dimensões da mudança (REIS, 2004). | 22 |
| Figura 2 – Exemplo de funcionamento da FFT com um vetor ordenado de 8 entradas e seu uso no método de dobramentos sucessivos. Adaptado de (GONZALEZ; WOODS, 2000). | 34 |
| Figura 3 – Dados da frota de veículos do Distrito Federal em Abril/2014 (DETRAN/DF, 2014) | 39 |
| Figura 4 – Primeira versão do protótipo. À esquerda, formulário para entrada dos dados, e, à direita, uma amostra exibida. Fonte: Autor. | 47 |
| Figura 5 – Arquitetura do <i>framework Apache Cordova</i> , composta pelo encapsulamento da aplicação <i>web</i> em uma aplicação nativa instalada no dispositivo móvel. Fonte: Autor baseado na documentação oficial de The Apache Software Foundation (2013). | 50 |
| Figura 6 – Tela para captura de dados. Fonte: Autor. | 52 |
| Figura 7 – Exemplo de trechos de código do uso combinado do <i>Angular</i> com o <i>Ionic</i> . Fonte: Autor. | 53 |
| Figura 8 – Estrutura de Navegação para o Aplicativo. Fonte: Autor. | 54 |
| Figura 9 – Logotipo do Aplicativo, elemento composto com um círculo azul de borda branca com ícone de um ônibus com um leve sorriso. Fonte: Autor. | 55 |
| Figura 10 – Tela inicial e versão final da tela de captura de dados com resoluções respectivamente de 240px×320px e 320px×480px. Fonte: Autor. | 56 |
| Figura 11 – Gráfico de comparação de desempenho NodeJS e PHP+Apache em tempo de resposta por quantidade de requisições.(QUIXABEIRA; ALMEIDA; FILHO, 2013) | 58 |
| Figura 12 – Área de abrangência da coleta de dados. Produzido com o <i>software Viking</i> , ferramenta <i>open source</i> de análise e edição de dados GPS. | 60 |
| Figura 13 – Recorte dos dados coletados próximo a um ponto de parada para as linhas 809 (tipo Metropolitana 2) e 110 (tipo Urbana 3). Em amarelo, um ponto de parada, e em negrito a maior velocidade na proximidade da parada. | 61 |
| Figura 14 – Percentual de Pontos de Parada por Tipo. Adaptado de Distrito Federal (2013b). | 62 |
| Figura 15 – Exemplo de Pontos de Parada com recuo (à esquerda) e sem recuo (à direita), na Região Administrativa de Taguatinga, ambos a cerca de 20km de Brasília. Fonte: (WIKIMAPIA, 2012) com adaptações. | 63 |
| Figura 16 – Processo de classificação dos dados coletados. Fonte: Autor. | 66 |

| | |
|---|----|
| Figura 17 – Enxerto de dados coletados da linha 809 (Recanto das Emas / Rodoviária do Plano Piloto) com os 25 primeiros pontos de uma viagem. Fonte: Autor. | 67 |
| Figura 18 – Comparação das regiões de baixa velocidade com dados da linha 805.1. Fonte: Autor. | 68 |
| Figura 19 – Fotos de satélite dos pontos de baixa velocidade da linha 805.1 do tipo Metropolitana 3. Fonte: Imagens de (WIKIMAPIA, 2012) adaptadas pelo autor. | 70 |
| Figura 20 – Vetor de velocidade para amostra das linhas 809, 810.5 e 816 (Metropolitana 2), e 805.1 (Metropolitana 3) e sua transformada. Fonte: Autor. | 71 |
| Figura 21 – Velocidade (vermelho), Transformada de Fourier (azul) e Pontos de Parada (asteriscos) da linha 810.5. Fonte: Autor. | 72 |
| Figura 22 – Amostra de três paradas, um cruzamento, um semáforo e uma faixa de pedestre da linha 810.5. Fonte: Autor com imagens de satélite de (WIKIMAPIA, 2012) | 73 |
| Figura 23 – Script Octave/Matlab para operação do método e apresentação dos dados. Fonte: Autor. | 74 |
| Figura 24 – Resultados obtidos para os pontos de parada das linhas 809, 816, 813, 810.5, 821, 099.1, 805.1, 042, 805.3, 225. Fonte: Autor. | 75 |
| Figura 25 – Resultados refinados para os pontos de parada das linhas 809, 816, 813, 810.5, 821, 099.1, 805.1, 042, 805.3, 225. Fonte: Autor. | 75 |

Lista de tabelas

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Partes interessadas (<i>Stakeholders</i>) | 44 |
| Tabela 2 – Sumário dos usuários | 44 |
| Tabela 3 – Resumo das principais necessidades dos usuários | 45 |
| Tabela 4 – Ferramentas, <i>plugins</i> e dependências | 49 |

Lista de abreviaturas e siglas

| | |
|---------|---|
| Apps | <i>Mobile Applications</i> |
| API | <i>Application Programming Interface</i> |
| BRT | <i>Bus Rapid Transit</i> |
| CCO | Centro de Controle e Operações |
| CSS | <i>Cascade Style Sheet</i> |
| CRUD | <i>Create Update Retrieve Delete</i> |
| DF | Distrito Federal |
| DFT | <i>Discrete Fourier Transform</i> |
| DFTrans | <i>Autorarquia de Transporte Urbano do Distrito Federal</i> |
| DOM | <i>Document Object Model</i> |
| FFT | <i>Fast Fourier Transform</i> |
| GIS | <i>Geographical Information Systems</i> |
| GPS | <i>Global Positioning System</i> |
| HTML | <i>HyperText Markup Language</i> |
| HTTP | <i>HyperText Transfer Protocol</i> |
| ITS | <i>Intelligent Transportation System</i> |
| JSON | <i>JavaScript Object Notation</i> |
| MVC | <i>Model-View-Controller</i> |
| MVT | <i>Model-View-Template</i> |
| MVW | <i>Model-View-Whatever</i> |
| MVVM | <i>Model-View-ViewModel</i> |
| NoSQL | <i>Not Only Structured Query Language</i> |
| PDTU/DF | Plano Diretor de Transporte Urbano e Mobilidade do Distrito Federal e Entorno |

| | |
|---------|--|
| REST | <i>Representational State Transfer</i> |
| ST/DF | Secretaria de Transporte do Distrito Federal |
| STPC | Sistema de Transporte Público Coletivo |
| STPC/DF | Sistema de Transporte Público Coletivo do Distrito Federal |
| URL | <i>Uniform Resource Locator</i> |
| US | <i>User Story</i> |
| W3C | <i>World Wide Web Consortium</i> |
| WebApp | <i>Aplicação Web</i> |
| XP | <i>eXtreme Programming</i> |

Sumário

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 19 |
| 1.1 | Contexto | 19 |
| 1.2 | Problema | 23 |
| 1.3 | Objetivo Geral | 23 |
| 1.4 | Objetivos Específicos | 23 |
| 1.5 | Justificativa | 24 |
| 1.5.1 | Controle | 24 |
| 1.5.2 | <i>Crowdsourcing</i> e Colaboração | 25 |
| 1.5.3 | Identificação da Localização | 26 |
| 1.5.4 | Identificação da Linha | 27 |
| 1.5.5 | Bilhetagem | 28 |
| 1.6 | Método | 29 |
| 1.6.1 | Etapa 1: Consolidar o entendimento sobre as necessidades mínimas dos usuários do transporte público coletivo do Distrito Federal. | 29 |
| 1.6.2 | Etapa 2: Definir requisitos para ferramenta de coleta e divulgação de dados georreferenciados de movimentação pelo transporte público por ônibus. | 30 |
| 1.6.3 | Etapa 3: Construir protótipo de coleta dos dados para dispositivos móveis. | 30 |
| 1.6.4 | Etapa 4: Elaborar modelo de reconhecimento de pontos de parada por padrões. | 30 |
| 1.7 | Estrutura do Trabalho | 30 |
| 2 | REFERENCIAL TEÓRICO | 31 |
| 2.1 | Da Normalização de Dados | 31 |
| 2.2 | Do Domínio do Espaço-Tempo | 32 |
| 2.3 | Da Transformada de <i>Fourier</i> e Relacionados | 32 |
| 2.3.1 | Das Séries de <i>Fourier</i> | 32 |
| 2.3.2 | Da Transformada de <i>Fourier</i> | 33 |
| 2.3.3 | Da Transformada Rápida de <i>Fourier</i> (<i>Fast Fourier Transform</i> (FFT)) | 34 |
| 3 | EXECUÇÃO | 37 |
| 3.1 | Resultados da Etapa 1 | 37 |
| 3.2 | Resultados da Etapa 2 | 42 |
| 3.2.1 | Descrição dos Usuários e Partes Interessadas | 43 |
| 3.2.1.1 | Partes interessadas (<i>Stakeholders</i>) | 43 |
| 3.2.1.2 | Usuários | 43 |
| 3.2.1.3 | Necessidades dos usuários | 44 |
| 3.2.2 | Requisitos | 44 |

| | | |
|------------|---|-----------|
| 3.2.2.1 | US01 - Informação sobre lotação dos ônibus | 45 |
| 3.2.2.2 | US02 - Mapeamento dos pontos de parada | 45 |
| 3.2.2.3 | US03 - Informação da demanda flutuante | 46 |
| 3.3 | Resultados da Etapa 3 | 46 |
| 3.3.1 | Dos Dados Necessários | 46 |
| 3.3.2 | Do Aplicativo para Dispositivos Móveis | 48 |
| 3.3.2.1 | Ferramentas Utilizadas, <i>plugins</i> e dependências | 49 |
| 3.3.2.2 | Arquitetura do Software | 49 |
| 3.3.2.3 | Navegação | 54 |
| 3.3.2.4 | Identidade Visual | 55 |
| 3.3.3 | Da Persistencia Remota | 55 |
| 3.3.4 | Da Aplicação <i>Web</i> | 57 |
| 3.3.5 | Do Processo de Coleta de Dados | 58 |
| 3.4 | Resultados da Etapa 4 | 59 |
| 3.4.1 | Engenharia de Características | 59 |
| 3.4.1.1 | Das Linhas de Ônibus do Distrito Federal | 60 |
| 3.4.1.2 | Dos Pontos de Parada | 62 |
| 3.4.1.3 | Dos Semáforos, Faixas de Pedestres, Cruzamentos e outros Pontos de Baixa Velocidade | 64 |
| 3.4.2 | Do Processo de Análise de Dados | 65 |
| 3.4.3 | Do Modelo Desenvolvido | 69 |
| 3.4.4 | Resultados Obtidos | 72 |
| 4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 77 |
| 4.1 | Trabalhos Futuros | 78 |
| | Referências | 81 |

1 Introdução

Este trabalho é uma monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia de Software da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Software. O trabalho é organizado de modo a contextualizar o leitor sobre a problemática do Transporte Público Coletivo em linhas gerais, definições, desenvolvimento e uso de Sistemas Inteligentes de Transporte, a motivação, justificativa, e objetivos do trabalho, assim como o processo de execução. Ao término são apresentadas as etapas a serem executadas e o produto do trabalho almejado.

1.1 Contexto

O transporte público coletivo é um dos serviços considerados de caráter essencial à população (BRASIL, 1988). Segundo IPEA (2011), este é o meio de transporte mais utilizado pelos brasileiros dentro das cidades (44,3%), seguido pelo carro (23,8%), por moto (12,6%), a pé (12,3%) e, por último, pela bicicleta (7,0%).

“Quanto ao significado de transporte coletivo urbano, embora não tenhamos encontrado uma definição legal específica para o termo, sua definição operacional abrange o transporte público não individual, realizado em áreas urbanas, com características de deslocamento diário dos cidadãos.” (BRASIL, 2006).

O Decreto Nº 30.584, de julho de 2009, que aprova o regulamento do Sistema de Transporte Público Coletivo do Distrito Federal (STPC/DF), instituído pela Lei Orgânica do Distrito Federal, o estabelece como sistema constituído pelos Serviços Básico e Complementar, sendo o Serviço Básico definido por “linhas dos modos ferroviário e rodoviário, que podem operar mediante integração física, tarifária e operacional, e que visem proporcionar aos cidadãos o acesso universal, seguro e equânime ao espaço urbano” (DISTRITO FEDERAL, 2009).

Pesquisa do IPEA (2011) afirma que maioria da população percebe um conjunto de necessidades sobre serviços de transporte público coletivo, as quais são, de fato, dificuldades, como distância dos pontos de acesso ao transporte, baixa frequência de percursos, horários irregulares, veículos lotados e insegurança. No Distrito Federal, a quantidade de ônibus circulante é insuficiente perante a população.

De acordo com Oliveira et al. (2008), a duração de um percurso médio é de cerca de uma hora, pouco mais de 450 horas por ano, equivalente a 20 dias corridos por ano

desperdiçados com a locomoção. Constatou-se também a relação entre os desconfortos do deslocamento e as alterações no estado motivacional e o no comportamento dos trabalhadores, que chegam ao seu destino com cansaço e estresse.

Dados do programa “Bicicleta Amigável” da cidade alemã de Münster exemplificam o desequilíbrio entre o transporte coletivo e o individual: 72 pessoas em 72 bicicletas ocupam uma área de 90 metros quadrados. Com base na média de ocupação de 1.2 por carro, essas mesmas 72 pessoas precisam de 60 carros para ser transportados, ocupando 1000 metros quadrados. Em contraposição, um só ônibus é suficiente para transportar o mesmo número de pessoas, o que requer apenas 30 metros quadrados e nenhum espaço permanente para estacionamento (MÜENSTEN, 1997).

Conforme CNT (2002), 70% do tráfego dos corredores de transporte do Brasil são compostos por carros e utilitários leves, em contraposição a ônibus, que correspondem a 14%. Entretanto, em termos de volume de passageiros, automóveis transportam 20% da demanda e os modais coletivos transportam mais de 70% dos passageiros. A pesquisa aponta como consequência desta disparidade a perda de desempenho do transporte coletivo em termos de velocidade operacional.

Com o crescimento do poder econômico da população, redução de impostos sobre automóveis, e aumento da população urbana, houve uma valorização do transporte particular sobre em detrimento do transporte público. Como consequência, as áreas urbanas tiveram um crescimento na duração e extensão dos congestionamentos (GOMIDE, 2008).

No Brasil, no ano de 2012, foi promulgada a Lei Federal nº 12.587, que cria a Política Nacional de Mobilidade Urbana, que define os componentes do Sistema Nacional de Mobilidade Urbana. O termo “mobilidade urbana” é considerado pela lei como a “condição em que se realizam os deslocamentos de pessoas e cargas no espaço urbano”. Esta lei estabelece diretrizes para o desenvolvimento sustentável das cidades por meio do acesso dos cidadãos ao transporte público coletivo, com objetivo de melhoria na eficiência, eficácia e efetividade da prestação dos serviços de transporte público, e de incentivo ao desenvolvimento científico-tecnológico na área (BRASIL, 2012).

O número de veículos crescente faz com que as diretrizes da lei não sejam suficientes para reverter o quadro de engarrafamentos constantes nas metrópoles. Iniciativas de sistemas de informação surgiram visando à melhoria do trânsito com informação ao motorista sobre trechos de tráfego intenso, velocidade média de vias, e rotas alternativas. Contudo, estimulam o modelo privado de transporte, já que estas informações oferecem a percepção de vantagem momentânea deste sobre o coletivo.

Essas iniciativas demonstram que o problema reside também na cultura de valorização do carro. Alternativas que visem estimular o uso do transporte público coletivo e o progresso destes podem auxiliar a ampliar a mobilidade urbana e consequentemente a

qualidade de vida da população (ANTP, 1997).

Em 1933, com IV Congresso Internacional de Arquitetura Moderna, Le Corbusier, arquiteto modernista influente, compilou em seu livro *Carta de Atenas* (publicado em 1943) ideais para cidades modernas que influenciaram a reconstrução pós-guerra, o replanejamento urbano para o “progresso”, assim como a construção de novas cidades.

A cidade de Brasília foi criada com base profunda nos preceitos do modernismo, tanto que no documento de recomendação da inclusão da cidade como Patrimônio da Humanidade, UNESCO (1987) diz: “Os princípios do século XX de urbanismo, como expressos em 1943 na *Carta de Atenas* ou no *Manièri de penser l’urbanisme* de Le Corbusier de 1946, foram raramente aplicados na escala de cidades capitais”.

Alguns dos problemas das cidades à época continuam presente nas metrópoles e a leitura se faz atual, dentre eles:

“[...] 52. As grandes vias de comunicação foram concebidas para receber pedestres ou coches; Hoje elas não correspondem aos meios de Transporte Mecânicos.

53. O dimensionamento das ruas, desde então inadequado, se opõe à utilização das novas velocidades mecânicas e à expansão regular da cidade;[...]

60. As vias de circulação devem ser classificadas conforme sua natureza, e construídas em função dos veículos e de suas velocidades.”(CORBUSIER, 1943).

Até meados dos anos 50, o transporte coletivo urbano era realizado principalmente por bondes elétricos, mas foi sendo gradativamente eliminado tanto por arquitetos na Europa, Estados Unidos e no Brasil. A valorização do artefato “automóvel” teve origem no orgulho das pessoas em ter um símbolo de *status*, considerado importante para burguesia e classe média mundial (GEGNER, 2011). Essa mudança em diversas áreas do mundo foi influenciada pelos conceitos de Corbusier que, interpretados pela indústria automobilística, ajudaram a atrelar o ideal de “cidade moderna” e de “progresso”, ao uso de veículos particulares.

Para que haja a migração para um modelo de priorização do modelo coletivo, é necessário além dos investimentos no transporte público, uma mudança cultural. Ao falar sobre a influência do carro no modo de vida do cidadão médio brasileiro, Gegner mostra a presença destes preceitos no cotidiano brasileiro:

“[...] os cidadãos parecem quase que inaptos a organizar suas vidas diárias, incluindo trabalho, compras e lazer, sem um veículo. Muitos brasileiros utilizam o carro para distâncias menores que um quilômetro sem pensar duas

vezes. O argumento para usar o carro sempre será uma mistura de longas distâncias, questões de segurança e a falta de transporte público adequado.” (GEGNER, 2011).

Stauffer (2007) aponta 4 passos importantes para a promoção de mudanças culturais aplicados à organizações: 1. Diga as coisas como elas são; 2. Desmembre iniciativas em partes administráveis; 3. Escute os funcionários; 4. Reverta o fluxo. Apesar de estarem ligados a organizações, estes passos se aplicam a mudanças culturais no transporte público, interpretando como funcionários, os usuários do transporte público.



Figura 1 – Dimensões da comunicação e sua relação com as dimensões da mudança (REIS, 2004).

“[...] Não há como implementar o conteúdo da mudança sem uma forte presença comunicacional [...] É a prática comunicacional que caracteriza, particulariza e diferencia o processo de mudança, tendo este o mesmo efeito sobre ela. [...] expressa as reais intenções, possibilidades e limitações de realização de mudança.” (REIS, 2004)

A mudança cultural se apoia, inicialmente, na percepção coletiva de melhoria. Aplicado ao contexto de transporte, para ocorrer, é necessário que o cidadão perceba vantagens do uso do coletivo, por meio do provimento de infraestrutura de transporte mínima, e da coleta e de dados sobre os investimentos. Essas vantagens precisam então ser explicitadas e empoderar o cidadão com informações que os façam optar pela coletividade. A coleta dos dados de movimentação da população, indicando os locais de entrada e saída pelo transporte, consiste na primeira etapa de mudança de Stauffer (2007) e apoia o conceito comunicacional de mudança de Reis (2004). Com o mapeamento desses locais,

torna-se viável iniciativas de melhoria. Entretanto, a comunicação dos dados precisa ser constantemente efetuada e mantida.

1.2 Problema

O problema abordado neste trabalho de conclusão de curso é a ausência de dados sobre a movimentação da população por meio do transporte público coletivo por ônibus do Distrito Federal. Atualmente, os dados existentes são estáticos e indicam apenas os pontos de parada, sem meios de atualização automatizada em caso de mudanças destes.

A falta de mapeamento dinâmico de pontos de parada dificulta a estimativa do tempo de duração de viagens e a ausência de informações sobre a demanda flutuante por transporte público (flutuações na lotação do ônibus durante a viagem) dificulta o planejamento da liberação da frota e de criação, adaptação e extinção de itinerários.

Perante a situação insustentável do modelo atual de transporte urbano é necessário estimular a mudança para o uso do transporte público. Para isso, é preciso que os usuários tenham informações seguras que o estimulem mudar.

As informações sobre localização dos pontos de parada, lotação do veículo, horário de cumprimento do itinerário são essenciais para efetivar a mudança. Com essas informações é possível construir veículos de divulgação e tomar medidas efetivas de melhoria. A falta destas informações promove a desconfiança pelos usuários sobre o uso do transporte coletivo, e corroboram para a manutenção da imagem negativa criada ao longo das últimas décadas.

1.3 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho de conclusão de curso é elaborar um modelo de identificação de pontos de paradas e que possibilite a criação de sistemas de informação aos usuários de transporte público, empresas de ônibus e governo, para estimular o uso e ações de melhoria para o transporte de massas.

A proposta é atacar o problema da falta de mapeamento dinâmico dos pontos de parada. Para isso, propõe-se a criação de uma aplicação para dispositivos móveis, que colete os dados georreferenciados dos usuários e permita o mapeamento dinâmico da movimentação dos usuários.

1.4 Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo geral, o trabalho foi dividido em etapas. Os objetivos são:

- Consolidar o entendimento sobre as necessidades mínimas dos usuários do transporte público coletivo do Distrito Federal.
- Elencar os requisitos de uma ferramenta de coleta e divulgação de dados georreferenciados de movimentação pelo transporte público por ônibus.
- Implementar protótipo de ferramenta móvel de coleta de dados de movimentação de pessoas pelo transporte público;
- Construir modelo para identificação de padrões de pontos de paradas a partir dos dados coletados pela ferramenta proposta.

1.5 Justificativa

Um sistema para transporte público coletivo envolve o uso de recursos para a identificação da localização, da linha operante (itinerário e sentido), da quantidade de passageiros (bilhetagem/catraca), e dados do estado dos ônibus (telemetria). Existem diversos fatores que interferem no monitoramento e controle da frota e conseqüentemente impactam o desenvolvimento de uma solução efetiva de informação ao usuário. Não basta somente realizar o mapeamento dos pontos de parada mas também identificá-los.

A proposta se pauta na Política Nacional de Mobilidade Urbana (Lei nº 12587, de 3 de janeiro de 2012) nos artigos: Art.3º §3º inciso VII; Art.5º incisos IV, V, IX; Art.6º inciso V; Art.7º inciso V, Art.8º incisos II, IX; Art.14 incisos II, III; Art.16, inciso VI; e o Art.22 inciso IV ([BRASIL, 2012](#)).

O uso do aplicativo facilitará a implantação de Sistemas Inteligentes de Transporte no país, sem a necessidade da instalação de equipamentos dos ônibus, constituindo ferramenta de apoio à Política Nacional de Mobilidade Urbana. A aderência à lei permite sua aplicação facilitada em todo território nacional e um estímulo efetivo ao uso e melhoria do transporte público coletivo.

Apresenta-se abaixo nas subseções [1.5.1](#), [1.5.2](#), [1.5.3](#), [1.5.4](#) e [1.5.5](#), os pilares que justificam a realização deste trabalho.

1.5.1 Controle

Segundo [Distrito Federal \(2009\)](#), a Secretaria de Transporte do Distrito Federal (ST/DF) tem o dever de avaliar o desempenho do sistema e também planejar políticas que promovam o transporte público coletivo. Os cidadãos, sob esta perspectiva, devem ser não apenas passivos, mas atuantes na execução da avaliação, já que são os convivem

com a realidade do transporte. Com este entendimento, ações que estimulem a participação cidadã potencializam a função fiscalizadora do Estado, retornando em benefícios à população.

“[...] o controle social revela-se como complemento indispensável ao controle institucional, exercido pelos órgãos fiscalizadores. Para que os cidadãos possam desempenhá-lo de maneira eficaz, é necessário que sejam mobilizados e recebam orientações sobre como podem ser fiscais dos gastos públicos.” (BRASIL, 2011).

O benefício do controle não traz apenas resultados para o governo e para o cidadão, mas também para as empresas operadoras do sistema. ITS EUROPA (2007) constatou que os benefícios econômico dos sistemas de informação ao usuário surgem a partir do aumento da demanda, especialmente fora dos horários de pico, melhoria operacional (18%), fidelização do usuário e reduz o custos com marketing institucional, atendimento e informações em geral (25%).

1.5.2 *Crowdsourcing* e Colaboração

O termo *crowdsourcing* (*crowd* + *outsourcing*) significa a terceirização de uma tarefa interna de um empregado ou equipe para uma rede de pessoas de forma amplamente aberta (ERIC, 2011) que pode ser identificada virtualmente como qualquer tipo de atividade colaborativa baseada na internet (ESTELLÉS-AROLAS; GONZÁLEZ-LADRÓN-DE-GUEVARA, 2012).

“Para desenvolver serviços úteis, de qualquer forma, a qualidade do conjunto de dados é peça-chave: informações ultrapassadas, incompletas ou incorretas podem dificultar seriamente o uso adequado dos dados e inutilidade da aplicação. [...] Enquanto a abordagem tradicional para Computação Humana explora o conhecimento prévio dos usuários ou a expertise do domínio [...] a experiência direta do 'sensoriamento humano' pode desempenhar um papel importante na solução de tarefas relacionadas ao espaço físico. [...] esta opção social baseada em comunidade pode agir como um forte incentivo para abordagens de computação humana em geral”¹ (CELINO et al., 2012).

Ao se propor um método de mapeamento dos pontos de paradas utilizando os dados coletados dos próprios usuários do transporte público, terceiriza-se o trabalho que seria feito exclusivamente pela equipe do órgão regulador e o distribui, que com o uso de

¹ Tradução livre feita pelo autor.

um método para reconhecimento a partir dos dados, facilita o trabalho que, atualmente, é manual.

Para [Esbjörnsson e Östergren \(2002\)](#), a colaboração instantânea é definida como “ações acontecendo onde humanos ou participantes computacionais coincidem temporariamente na localização e interoperam para satisfazer necessidades imediatas”. Segundo [Brabham \(2008\)](#) “teorias de uso e gratificações sugerem que indivíduos em grandes grupos são atraídos para aplicações de *crowdsourcing* por uma série de razões, e que são gratificados de várias maneiras, através da participação”².

[Zhao e Zhu \(2014\)](#) afirmam que a colaboração e conectividade de sociedades, pessoas e organizações podem ser facilitadas pelo uso de *crowdsourcing*. A pergunta “por que colaborar?” é respondida pelo retorno de informações que impactam positivamente na qualidade de vida do próprio usuário. Em um ambiente de transporte coletivo, a colaboração significa a oportunidade de diminuir o próprio tempo de espera nos pontos de parada e ter maior conforto nas viagens.

Abaixo são apresentadas três questões técnicas cujos problemas motivam a criação de um aplicativo móvel com informações coletadas e fornecidas por usuários: Identificação da localização, da linha, e bilhetagem.

1.5.3 Identificação da Localização

Dentre diversas tecnologias para identificação da localização de cada componente da frota dos ônibus, a escolhida pelo Distrito Federal foi o *Global Positioning System* (GPS). O sistema de posicionamento global é um sistema de navegação por satélite mantido pelo departamento de defesa dos Estados Unidos, que opera com 24 satélites ([PAIVA, 2004](#)).

O sinal do GPS nem sempre é estável e condições climáticas, como céu nublado, são capazes de reduzir sua precisão ou até mesmo inabilitá-lo. Localidades que estejam nas rotas das linhas aéreas sofrem interferência dos sistemas de tráfego aéreo, criando momentaneamente regiões sem sinal ou com sinal inconsistente.

“As interferências não-intencionais podem ser causadas por erros sistêmicos ou por emissões eletromagnéticas espúrias originadas de outros serviços que ocupem faixas espectrais adjacentes. [...] O sistema de controle de tráfego aéreo (ATC – ‘Air Traffic Control’) utiliza o sistema VHF COM para comunicação entre as estações terrestres e as aeronaves. [...] para uma relação interferência-sinal de -14 dB, um transmissor que possui uma rejeição de 57 dB, deverá estar localizado a pelo menos 4800 m de distância do receptor

² Tradução livre feita pelo autor.

(aeronave). [...]verifica-se que a distância de interferência pode ser consideravelmente reduzida com a utilização de melhores filtros no transmissor do sistema VHFCOM.”(SOUSA, 2005).

Para contornar o problema, existe o Sistema de Aumento Baseado em Satélite (Satellite-Based Augment System – SBAS). Segundo PAIVA (2004) esse sistema é “constituído de uma rede de estações de referência, estações mestras, estações de telecomunicações e satélites geoestacionários”, com o objetivo corrigir erros de precisão do sistema GPS. O edital de licitação do Sistema de Transporte Coletivo do Distrito Federal exigiu a presença do SBAS junto ao GPS dos veículos, a fim de evitar os problemas aqui mencionados (DISTRITO FEDERAL, 2012).

Outro problema relacionado é a ausência de persistência dos dados de transmissão de GPS. Quando a conexão de dados é interrompida por qualquer motivo, o sistema embarcado padrão dos ônibus não guarda os dados que coleta, o que amplia a imprecisão do sistema, que automaticamente traça uma linha reta entre o último ponto registrado. Algumas empresas estão inserindo dispositivo auxiliar para persistir os dados.

1.5.4 Identificação da Linha

Para que o usuário saiba qual linha e destino de determinado ônibus, é utilizado um dispositivo de sinalização e comunicação na parte frontal superior dos ônibus e, nos novos ônibus, também na lateral e pontos importantes do itinerário na base do parabrisa. Segundo Distrito Federal (2012) o letreiro deve ser obrigatoriamente luminoso e estar identificado conforme norma ABNT-NBR 14022 de 2011, com exigência expressa no edital de contratação do Sistema de Transporte Público Coletivo do Distrito Federal (STPC/DF). A adoção do letreiro eletrônico facilitou a troca das mensagens, ampliando a capacidade da troca de veículos quando necessário. No entanto, os sistemas de letreiro eletrônico são operados independentemente do computador de bordo e do validador.

A falta de interoperabilidade com os outros sistemas embarcados dificulta o monitoramento em tempo real da frota. Atualmente, os ônibus recebem a informação de qual linha operarão ao sair da garagem ou de algum terminal de ônibus e têm o letreiro atualizado ao se alterar o sentido do itinerário. Essa inserção de valores é manual e o operador do Centro de Controle de Operações (CCO) não possui os dados, conhecendo exclusivamente o prefixo do ônibus que foi liberado com determinada linha. Com o despacho manual e sem a associação prefixo-linha automaticamente, o funcionamento de um sistema de controle de frota ou de informações ao usuário tem a possibilidade de tornar incoerente e com risco de ocasionar discrepâncias comprometedoras.

Portanto, para o mapeamento dos pontos de parada junto ao itinerário é necessário, já que este não está disponível automaticamente, que o usuário informe ao embarcar em

um ônibus, qual é linha deste.

1.5.5 Bilhetagem

A lotação é um fator crucial de um sistema de transporte público. É por meio desta que se tem o valor bruto da demanda das linhas existentes, da pressão por novas linhas, da necessidade de ampliação ou redução da frota para determinadas linhas e é a fonte de arrecadação das operadoras do STPC.

Historicamente, segundo [Martinelli e Aroucha \(2012\)](#), a contagem de passageiros é realizada pelas catracas, que são barreiras físicas que permitem saber a quantidade de pagantes do ônibus. Aqueles que não passam pela catraca (gratuidades), são registrados pelos cobradores e assim somados ao número informado na catraca, saber a quantidade de passageiros que utilizaram o serviço. Esse modo mecânico de contagem possui falhas e exige a transferência posterior dos dados manualmente.

Torna-se necessário um profissional para fiscalizar se as contagens de caixa e as anotações realizadas pelo cobrador estão corretas e caso não estejam, este pode ser penalizado. Por outro lado, a presença de grandes quantias de valor no caixa dos ônibus funciona como atrativo para criminosos e também a cobrança em dinheiro aumenta o tempo de embarque dos passageiros.

A bilhetagem eletrônica consiste na aquisição antecipada de créditos para viagens, gravados em dispositivos eletrônicos específico, mais comum na forma de cartões magnéticos. Ela permitiu o controle das informações, assim como a integração aberta entre os modais. Segundo [Martinelli e Aroucha \(2012\)](#), “um efeito pouco percebido pelo público, mas importante, é o controle sobre a oferta de transporte, [...]a bilhetagem eletrônica teve efeito direto sobre a eficácia do sistema de transporte e benéfico a todos os atores: gestores, operadores e usuários”. A bilhetagem eletrônica permitiu que informações sobre as viagens fossem automaticamente registradas e disponibilizadas, especialmente sobre os passageiros e horários das demandas, indicadores necessários para o planejamento do STPC.

Apesar das informações automatizadas sobre a quantidade de passageiros que utilizam determinado coletivo, o modelo adotado não traz dados necessários sobre a lotação dos ônibus. Ao longo do dia, um mesmo assento pode ser ocupado por várias pessoas e mesmo assim não ter ficado próximo a sua lotação máxima.

Considerando o exposto nas subseções [1.5.1](#), [1.5.2](#), [1.5.3](#), [1.5.4](#) e [1.5.5](#), justifica-se a criação de meio alternativo para a captura de informações sobre a dinâmica do transporte público coletivo. Para o presente trabalho, é proposto a criação de uma ferramenta para dispositivos móveis (*smartphones*) que, equipados de GPS e com informações adicionais enviadas pelos usuários, possa fornecer dados adicionais que hoje se apresentam como

uma lacuna para que o usuário possa confiar na informação, dados estes necessários para a implantação de um modelo geral de Sistemas Inteligentes de Transporte, e viabilize, em primeiro momento, o mapeamento dinâmico do sistema de transporte público coletivo rodoviário do Distrito Federal.

1.6 Método

O desenvolvimento deste trabalho foi dividido em quatro etapas afim de posicioná-lo perante a realidade do transporte público, evidenciar a sua relevância e propôr uma solução tecnológica para o problema.

1.6.1 Etapa 1: Consolidar o entendimento sobre as necessidades mínimas dos usuários do transporte público coletivo do Distrito Federal.

A primeira etapa do trabalho foi a elucidação das ações e necessidades atuais dos usuários do transporte público. Nesta etapa também foram identificadas as ações mundiais e nacionais realizadas no mesmo sentido deste trabalho de conclusão de curso.

Inicialmente, visitou-se os órgãos do governo responsável por regular, fiscalizar e promover o transporte coletivo. Após a obtenção de dados sobre legislação e operação do sistema, foram visitadas as empresas de ônibus e com também identificados os problemas relacionados às tecnologias utilizadas.

Realizou-se um levantamento bibliográfico focado nos problemas identificados sob os aspectos humanos, sociais, econômicos e tecnológicos, com o objetivo de interligá-los e de oferecer uma solução tecnológica abrangente ligada ao conceito de *Intelligent Transportation System* (ITS) e de *Geographical Information Systems* (GIS).

Diante das informações coletadas, por fim, convergiu-se para a redução do escopo do trabalho para a criação ferramental inicial necessária para a permitir a implementação de uma solução completa integrada para os problemas. O passo inicial escolhido foi a criação de ferramenta que aprenda, a partir de padrões, sobre a movimentação dos usuários.

As palavras-chaves que conduziram este estudo foram: *its, mobilidade urbana, gis, sistemas de informações geográficas, sistemas de informação a usuários, transporte público coletivo, sistemas inteligentes de transporte.*

1.6.2 Etapa 2: Definir requisitos para ferramenta de coleta e divulgação de dados georreferenciados de movimentação pelo transporte público por ônibus.

Com a delimitação do escopo do projeto, os requisitos mínimos para a criação da aplicação móvel foram levantados com base nas necessidades dos usuários do transporte público e em seu comportamento, e também na observação de aplicações semelhantes. Foram estudados *frameworks* para desenvolvimento *mobile* e desenvolvimento *web*, e analisadas tecnologias que permitissem o desenvolvimento da solução integrada para o compartilhamento dos dados processados.

1.6.3 Etapa 3: Construir protótipo de coleta dos dados para dispositivos móveis.

A partir da escolha das tecnologias para desenvolvimento e com os requisitos de alto nível levantados, foi implementado um protótipo para o esclarecimento dos requisitos e análise do uso da aplicação. Posteriormente, evoluiu-se o protótipo para coleta dos dados com base no que foi apresentado em 1.6.1, 1.6.2 e no primeiro protótipo e coletou-se uma amostra de vários dados.

1.6.4 Etapa 4: Elaborar modelo de reconhecimento de pontos de parada por padrões.

A etapa 4 consiste na avaliação dos dados coletados, primeiramente com uma análise *ad hoc* dos dados coletados em busca dos elementos e padrões componentes do STPC/DF. Em um segundo momento são explorados métodos capazes de generalizar os padrões encontrados pela análise dos dados, para a criação do modelo. Por fim, apresenta-se a avaliação do modelo de identificação de pontos de parada e suas limitações.

1.7 Estrutura do Trabalho

No capítulo 1 apresenta-se o contexto da mobilidade urbana e do transporte público coletivo, os objetivos e a maneira como o trabalho foi guiado. No capítulo 2 apresenta-se o referencial teórico que sustenta parte do trabalho. No capítulo 3 são apresentados os resultados obtidos nas etapas definidas no método de trabalho. Por fim, o capítulo 4 apresenta as considerações finais do trabalho e trabalhos futuros.

2 Referencial Teórico

Este capítulo aborda o referencial teórico que sustenta a parte analítica do trabalho e esclarece os elementos que compõem os métodos utilizados para a obtenção do modelo de identificação dos pontos de paradas.

2.1 Da Normalização de Dados

Para Wang e Shi (2013) dados coletados normalmente possuem dados ausentes ou errados por falhas de equipamentos, problemas de comunicação, e outros fatores que reduzem a qualidade dos dados, como a presença de ruídos nos dados originais, que diminuem a precisão de previsibilidade, levando a erros preditivos, que tornam o pré-processamento de dados crítico.

Segundo Xia et al. (2013) procedimentos de escala e centralização de dados lançam mão de parâmetros estimados de dados para melhorar a conformidade e melhorar o rendimento. A normalização é utilizada como um recurso de minimização de erros ou da predominância incorreta de valores.

“Normalizar entradas e saídas brutas pode melhorar a taxa de convergência e o desempenho. Considerando as características da velocidade do tráfego e evitando dados iguais a zero [...] transforma-se os dados brutos do tráfego na escala [1,2] ao invés de [0, 1]. A normalização dos dados é realizada pela equação:

$$x_{norm} = \frac{x-x_{min}}{x_{max}-x_{min}} + 1 \text{ onde } x \text{ denota dados de velocidade do tráfego;}$$

- x_{min} denota o valor mínimo dos dados de treinamento;
- x_{max} denota o valor máximo dos dados de treinamento;
- x_{norm} denota os valores normalizados de x;” (WANG; SHI, 2013)

A abordagem de normalização permite também que seja possível trazer todos os valores que possam ser utilizados para a mesma escala, removendo problemas de tendências errôneas. Os valores utilizados no presente trabalho foram exclusivamente os de velocidade, estando distribuídos em um intervalo de valores de 0km/h a 120km/h.

2.2 Do Domínio do Espaço-Tempo

“Espaço absoluto é fixo e nós registramos ou planejamos eventos dentro da moldura que o constitui. [...] é usualmente representado como uma grade pré-existente e imóvel que permite padronizar medições e está aberto ao cálculo. Geometricamente é o espaço de Euclides e, portanto, o espaço de todas as formas de mapeamento cadastral e práticas de engenharia. [...] refere-se a todos os fenômenos discretos e delimitados, [...] com um sentido de domínio, trata-se de um mundo de espaço (e de tempo) absoluto onde todas as incertezas e ambiguidades podem em princípio ser banidas e onde o cálculo humano pode florescer sem entraves” (HARVEY, 2013).

Segundo Harvey (2013) o entendimento do espaço de forma independente do tempo não é possível e implica mudança dos termos independentes “espaço” e “tempo” para “espaço-tempo” ou “espaço-temporalidade”.

No presente trabalho os dados coletados de velocidade e alteração desta serviram de base para o estudo. A velocidade é a variação do espaço ao longo do tempo, ou seja, uma relação direta entre o espaço e o tempo. Trabalhar com dados no domínio do espaço-tempo dificulta o trabalho de identificação de padrões, para isso, existem recursos que mudam o domínio dos dados para outro domínio, facilitando o uso de operações matemáticas para evidenciação de padrões. Um domínio bastante utilizado é o domínio na frequência.

A seguir é apresentada a Transformada de Fourier, recurso matemático que leva dados do domínio do espaço-tempo para o domínio da frequência.

2.3 Da Transformada de *Fourier* e Relacionados

A Transformada de Fourier é um recurso matemático bastante utilizado para tratamento de sinais e modelagem de sistemas. Para este trabalho, a transformada foi utilizado como um recurso para destacar as regiões prováveis de pontos de parada. Apresenta-se abaixo os conceitos teóricos para entendimento do recurso.

2.3.1 Das Séries de Fourier

A série de Fourier é uma expansão de uma função periódica em termos de uma soma infinita de senos e co-senos de grande utilidade. Permite a resolução de uma função pelo conjunto de termos simples que compõem a soma e após a sua recombinação de maneira a obter a solução do problema original ou uma aproximação (WEISSTEIN, 2014b).

Uma função periódica é uma função que exhibe um padrão de regularidade repetitiva (periodicidade). A periodicidade às vezes são inter-relacionadas outras não. Generi-

camente, um fenômeno periódico são pensados se são relacionados ao tempo ou o espaço (OSGOOD, 2007).

A série de Fourier é obtida tomando $f_1(x) = \cos(x)$ e $f_2(x) = \sin(x)$. Uma vez que estas funções formam um sistema ortogonal completo sobre $[-\pi, \pi]$, a série de Fourier de uma função $f(x)$ é dada pela fórmula (WEISSTEIN, 2014b):

$$f(x) = 1/2 * a_0 \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos(nx) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin(nx)$$

onde,

$$a_0 = 1/\pi \int_{-\pi}^{\pi} f(x) dx$$

$$a_n = 1/\pi \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \cos(nx) dx$$

$$b_n = 1/\pi \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \sin(nx) dx$$

e $n = 1, 2, 3, \dots$

É necessário utilizar recursos que *transformem* dados do domínio do espaço-tempo para uma representação em termos de uma série de Fourier, tratados a seguir.

2.3.2 Da Transformada de Fourier

Segundo Bolzan (2004) “a chamada Transformada de Fourier pode ser considerada como um limite de uma combinação linear infinita de ondas senoidas e que encontra grandes aplicações no tratamento de sinais estacionários”.

Gonzalez e Woods (2000) afirma que a transformada de Fourier para uma função real é geralmente complexa (par real + imaginário), no qual o módulo da função é chamada de espectro de Fourier. O espectro de uma função periódica é um conjunto discreto de frequências, enquanto a transformada de Fourier de um sinal não periódico produz um espectro contínuo, ou uma série contínua de frequências (OSGOOD, 2007).

Para o presente trabalho fez-se o uso do espectro de Fourier, pois a parte imaginária não tem representatividade no domínio utilizado.

A transformada de Fourier é uma generalização da série de Fourier complexa no limite como $L \rightarrow \infty$. Substituindo o a_n discreto com a função $F(k)dk$ contínua, deixando $n/L \rightarrow k$ e, em seguida, mudando a soma para uma integral, as equações tornam-se (WEISSTEIN, 2014c):

$$F(k) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) e^{-2\pi i k x} dx = F_x[f(x)](k) \text{ chamada de transformada de Fourier, e}$$

$f(x) = \int_{-\infty}^{\infty} F(k) e^{2\pi i k x} dk = F_k^{-1}[F(k)](x)$ chamada de transformada inversa Fourier.

Os dados coletados no trabalho são dados discretos (amostra de um conjunto de dados contínuos), sendo assim, é necessário a aplicação da Transformada Discreta

de Fourier - *Discrete Fourier Transform* (DFT), definida pela expressão (GONZALEZ; WOODS, 2000):

$$F(k) = \frac{1}{N} \sum_{x=0}^{N-1} f(x) e^{-2\pi i k x / N}$$

para $k = 0, 1, 2, \dots, N - 1$

2.3.3 Da Transformada Rápida de Fourier (*Fast Fourier Transform* (FFT))

Na transformada discreta de Fourier, “para cada um dos N valores de k , a expansão do somatório requer N multiplicações complexas de $f(x)$ por $e^{-2\pi i k x / N}$ e $N - 1$ adições dos resultados. Os termos de $e^{-2\pi i k x / N}$ podem ser computados uma vez e armazenados numa tabela para todas as aplicações subsequentes” (GONZALEZ; WOODS, 2000).

A FFT é um método altamente eficiente para cálculo da transformada de Fourier que reduz o número de cálculos necessários para N pontos de $2N^2$ da adequada da DFT a $2N \log N$, onde \log é o logaritmo de base 2, facilitando a análise computacional de sinais (COCHRAN et al., 1967), (WEISSTEIN, 2014a). “O procedimento de decomposição para tornar a complexidade em $2N^2$ a $2N \log N$ é denominada de algoritmo da transformada rápida de Fourier[...] na forma:” (GONZALEZ; WOODS, 2000)

$$F(k) = \frac{1}{N} \sum_{x=0}^{N-1} f(x) W_N^{kx} \text{ em que } W_N = e^{-2\pi i k x / N} \text{ e } N = 2^n,$$

podendo assim N ser expresso como $2M$, sendo M um inteiro positivo.

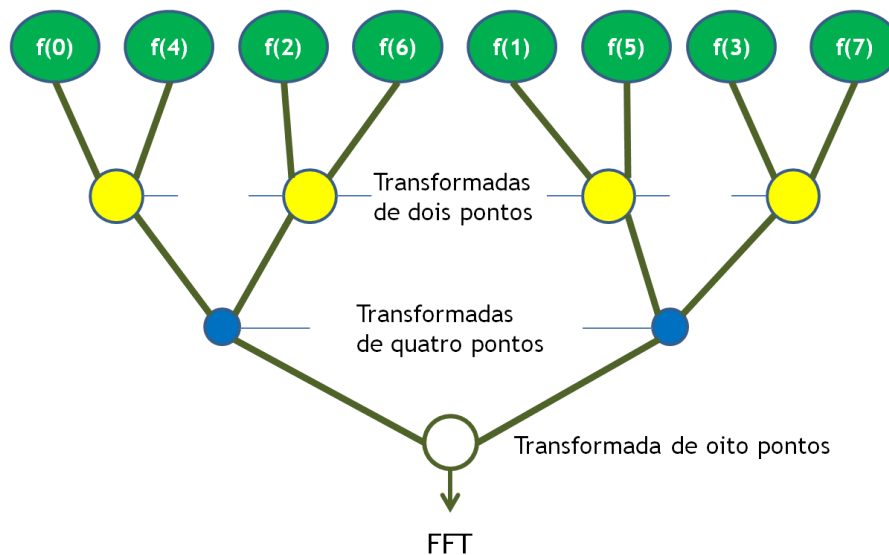


Figura 2 – Exemplo de funcionamento da FFT com um vetor ordenado de 8 entradas e seu uso no método de dobramentos sucessivos. Adaptado de (GONZALEZ; WOODS, 2000).

“Aproveita-se o fato de o cálculo dos coeficientes da transformada discreta de Fourier pode ser implementada de forma iterativa, o que resulta em uma economia considerável de tempo de computação” (COCHRAN et al., 1967).

A Figura 2 exemplifica o uso do algoritmo de dobramentos sucessivos para cálculo da FFT para um vetor de 8 pontos, onde no nível em amarelo encontra-se 4 transformadas de dois pontos, o nível em azul usa esses resultados para formar duas transformadas de quatro pontos e o nível em branco utiliza estes dois para resultar na transformada final (GONZALEZ; WOODS, 2000).

3 Execução

Este capítulo contém a apresentação dos resultados das etapas definidas na seção 1.6. Na primeira etapa consolida-se o entendimento sobre as necessidades mínimas emergentes dos usuários do transporte público coletivo em geral, e especialmente do Distrito Federal. Na segunda etapa elucida-se os requisitos de ferramenta para atender essas necessidades e então define-se os requisitos para atender a necessidade primordial de coleta e divulgação de dados georreferenciados de movimentação pelo transporte público por ônibus. Já na terceira etapa implementa-se protótipo para dispositivos móveis com objetivo de coletar dados iniciais e permitir o refinamento de requisitos. Por fim, na quarta etapa, a ser executada na segunda parte do trabalho de graduação, estuda-se técnicas e métodos de aprendizado de máquina e implementa-se ferramenta móvel (aplicativo para dispositivos móveis) que aprenda os pontos de paradas a partir de padrões dos dados coletados.

3.1 Resultados da Etapa 1

Conforme apresentado na seção 1.6.1, a Etapa 1 consistiu no estudo da problemática com foco no estabelecimento do escopo do trabalho. Devido ao momento de transição de modelo de transporte público coletivo do Distrito Federal e renovação de frota e de concessionários, foram inicialmente visitados os órgãos públicos reguladores e/ou operantes do sistema.

Os órgãos visitados foram a Ouvidoria Geral do Distrito Federal, a *Autorarquia de Transporte Urbano do Distrito Federal* (DFTrans), a Secretaria de Transporte do Distrito Federal (ST/DF), Câmara Legislativa do Distrito Federal e o Ministério das Cidades. Foram obtidos dados referentes ao Programa Nacional de Mobilidade Urbana, sobre a fiscalização do serviço de transporte público e sobre a transição do modelo de transporte coletivo para um modelo integrado de transporte público rumo a um sistema inteligente de transporte – *Intelligent Transportation System* (ITS).

A implantação de ITS no Distrito Federal significa o uso de recursos tecnológicos diversos que possam dar apoio à ST/DF para execução de suas atribuições legais especialmente as descritas a seguir:

“Art.13 Compete, ainda, à Secretaria de Estado de Transportes do Distrito Federal:

I - estabelecer e assegurar o cumprimento dos princípios gerais de gestão do STPC/DF;

- II - definir, em conjunto com os gestores das modalidades ferroviária e rodoviária, as diretrizes que nortearão o planejamento estratégico do STPC/DF;
[...]
- V - estabelecer as políticas e os princípios gerais do Sistema de Bilhetagem Automática – SBA;
- VI - definir metas e indicadores de referência para o conjunto do STPC/DF;
([DISTRITO FEDERAL, 2009](#)).”

Para compreender o *modus operandi* do STPC/DF, visitou-se as empresas Expresso São José, Sociedade de Transportes Coletivos de Brasília, Urbi Mobilidade Urbana e Viação Piracicabana. Isso permitiu a visualização da migração do antigo para o novo modelo de transporte público coletivo do Distrito Federal e a descoberta dos problemas técnicos mencionados em [1.5.3](#), [1.5.4](#) e [1.5.5](#) e também a compreensão do monitoramento feito pelo CCO das empresas.

Além das visitas técnicas foi elaborado estudo bibliográfico, ampliando o conhecimento sobre ITS, Mobilidade Urbana, e os fatos e fatores culturais que levaram a situação atual do macro-tema transporte e a importância da inclusão para a mudança desta situação. Com a revisão bibliográfica, compreendeu-se as iniciativas de implantação de Sistemas Inteligentes de Transporte, visualizando-se a brecha de inclusão dos usuários como facilitadores.

O *status* atribuído ao veículo e a carência dos ônibus fixaram a valorização do primeiro na sociedade, o que a conduziu ao modelo insustentável atual, valorização esta conduzida ao longo das últimas 7 décadas (desde a reconstrução da Europa após a Segunda Guerra Mundial e, no Brasil, desde o advento de montadoras de veículos) pelo investimentos em infraestrutura rodoviária para transporte individual e de carga, sustentando a pseudo-sinonímia *progresso-carro*.

Números do [DETRAN/DF \(2014\)](#) apresentados na Fig. (3) sobre a frota de veículos do Distrito Federal elucidam a expressividade do uso do transporte individual sobre o particular e a carência de transporte coletivo.

Ao cruzar os dados específicos sobre carros da Fig. (3) — 1.102.762 automóveis — com a informação da área média que os carros ocupam — 1000 m^2 a cada 60 carros — de [MÜNSTER \(1997\)](#), constata-se que estes ocupam área de 18,38 km^2 , equivalente a pouco mais de 9 vezes o tamanho do Principado de Mônaco (2º menor país do mundo), ou a metade da área da Ilha do Governador no Rio de Janeiro, ou pouco menos de 4 vezes a área dos 4 *campi* da Universidade de Brasília juntos.

Se estes carros estivessem todos juntos enfileirados, ocupariam cerca de 27 vezes a área das 6 faixas do Eixo Rodoviário sul e norte de Brasília acrescidas às 8 faixas dos Eixos Leste e Oeste sul e norte, que se estendem por 14 km, ou seja, um engarrafamento

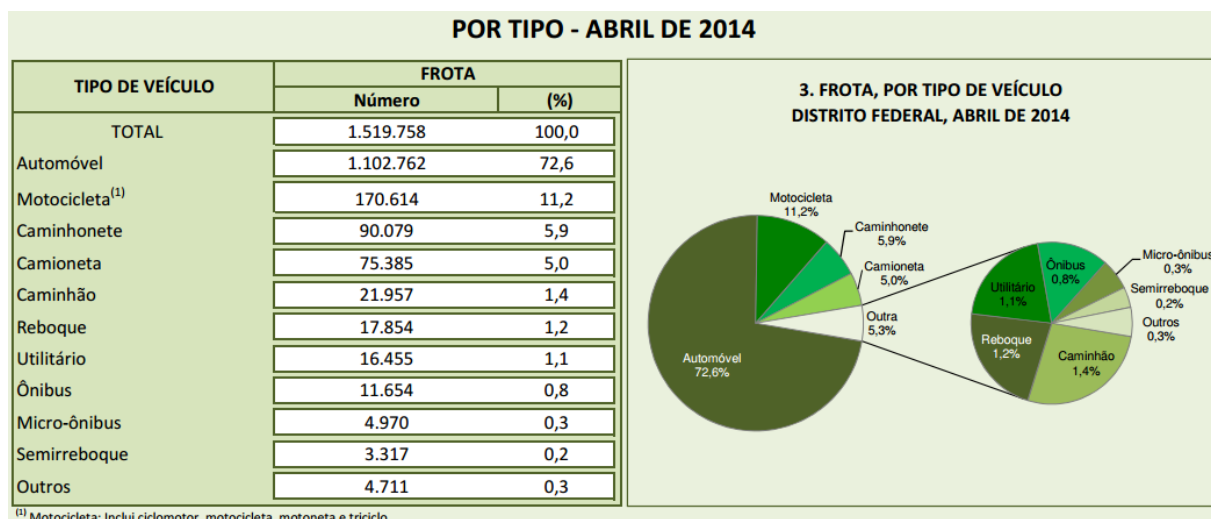


Figura 3 – Dados da frota de veículos do Distrito Federal em Abril/2014 (DETRAN/DF, 2014)

de 14 faixas com 384 km ou uma estrada com 28 faixas ligando Brasília à Goiânia. Valor expressivo considerando-se o fato da população do Distrito Federal em 2013, segundo IBGE (2010), ser estimada em 2.789.761 habitantes, o que equivale a 2 automóveis a cada 5 pessoas. Distrito Federal (2010) aponta que, em média, no ano de 2009, 948.144 veículos de transporte individual circularam diariamente, o que representa, utilizando os dados do parágrafo anterior, $15,8 \text{ km}^2$. Evidencia-se então a insustentabilidade do modelo atual.

Em contraposição ao volume de carros, o Sistema de Transporte Público Coletivo do Distrito Federal (STPC/DF) é composto por 3.630 ônibus, com 50 terminais e 4 mil pontos de parada (DISTRITO FEDERAL, 2013a). Quanto ao sistema metroviário, este possui uma frota de 32 trens, com média de 140 mil usuários diariamente, por uma extensão de 42,38 km em 24 estações operacionais de um total de 29. (DISTRITO FEDERAL, 2014).

O Distrito Federal, com objetivo de atender às necessidades de mobilidade urbana, optou por principiar a implantação de ITS pelo modelo integrado de transporte, definido no Plano Diretor de Transporte Urbano e Mobilidade do Distrito Federal e Entorno (PDTU/DF). Existem três modelos principais de integração do sistema de transporte público coletivo, a integração tarifária temporal aberta, temporal fechada e fechada:

- Integração tarifária temporal aberta: Tempo determinado para o uso de outro transporte. O usuário tem liberdade para escolher o ponto e os modais de integração;
- Integração tarifária temporal fechada: Tempo determinado para o uso da integração. Apenas pode ser feita em locais específicos;

- Integração tarifária fechada: A troca de modal ou do mesmo transporte só pode ser realizada dentro dos locais especificado e a saída destes implica uma nova tarifação ao retornar. Exemplo: estações de metrô e estações de ônibus de Curitiba – Paraná.

Foi adotado para o sistema de ônibus brasileiro o modelo tarifário temporal aberto por permitir ao usuário maior flexibilidade. Além disso, o sistema se integra ao metrô e ao *Bus Rapid Transit* (BRT), ambos com integração tarifária fechada.

Segundo (DISTRITO FEDERAL, 2010) o ônibus apresenta o pior desempenho dentre os serviços de transporte público. O relatório final do PDTU/DF alerta a urgência da reformulação do Serviço Básico de Transporte para manutenção da demanda e atração de novos segmentos. O resultado apresentado na pesquisa de qualidade presente no relatório indicam a percepção dos usuários sobre o transporte é insatisfatória.

Em relação ao sistema de modo geral, Distrito Federal (2010) constatou que, dentre os usuários do DF, 33,8% consideravam mais importante ônibus novos; 30,8%, a tarifa; 21,7% o cumprimento do horário/itinerário; 7,7% o comportamento dos funcionários e 6,1%, o tempo de viagem. Além disso, 66% avaliaram de maneira negativa (ruim ou péssima) a lotação do ônibus e a avaliação geral foi ruim ou péssima para mais de 45% dos usuários. A licitação para o novo sistema de transporte coletivo em andamento até o fim de 2014, minimizou o primeiro ponto, contudo manteve o ponto em relação a tarifa.

A satisfação do usuário do transporte público depende da regularidade e a confiabilidade dos itinerários e horários. Com a implantação completa de ITS, torna-se possível que o cidadão tenha informações completas sobre o transporte e que ela seja a mesma do governo e das operadoras. Torna-se possível a previsibilidade e a modelagem do comportamento do transporte com melhor precisão.

Ainda segundo Distrito Federal (2010), as etapas do STPC/DF em andamento são:

- 2007: Bilhetagem Eletrônica;
- 2013: GPS em todos os ônibus;
- 2013/2014: Computador de bordo;
- 2014 (em execução):

Controle no DFTrans da tabela horária, horário de soltura e chegada e itinerários;

Controle nas Empresas do cumprimento ou não da tabela horária e itinerários. Informação ao motorista para manter o sistema operando dentro do previsto e monitoramento por câmeras;

Etapas futuras:

- Sistema embarcado da nova frota com indicação constante da localização;
- Poder informar o número da demanda de passageiros e determinar a localidade onde o passageiro embarca;

Para obter conhecimento técnico para realização dessa iniciativa de mobilidade, a ST/DF baseou-se no modelo de ITS da Coreia do Sul para o planejamento do modelo brasileiro. Esse modelo, com implantação no início da década de 1990, abrange áreas relevantes para a melhoria do transporte sob diversos aspectos, sendo composto por um Sistema de Informação de Estacionamento, Fiscalização Eletrônica de Velocidade, Informação de Tráfego em Tempo Real em painéis de mensagem variável, *FTMS* – Sistema de Monitoramento de Tráfego Livre, Controle Automático de Espaçamento entre veículos, Controle de Semáforos em Tempo Real, Informação de Tráfego aos Motoristas, Sistema de Controle de Faixas, Sistema de Informação de Ônibus, Bilhetagem Eletrônica, Controle de Acesso às vias, Informação para Baldeações e Pedágios Sem Parada. ([ITS KOREA, 2013](#)).

A implantação dos diversos componentes de ITS permitiu à Coreia:

- Informação da quantidade de passageiros flutuante e os pontos no qual o passageiro entra e sai (demanda flutuante).
- Relatórios gerenciais de alta qualidade
- Identificação de fraudes;
- A mesma informação compartilhada entre as empresas, governo e cidadão;

Com esse tipo de informação disponível, melhorias expressivas foram percebidas pelos cidadãos no trânsito em geral, segundo dados de [ITS KOREA \(2013\)](#):

- Redução de atrasos de ônibus em 3.7% e de tempo de viagem em 26.6% em Seul (capital sul-coreana);
- Aumento de 44.1% na velocidade operacional do trânsito;
- Redução de 60% nos acidentes de trânsito em Seul;
- Economia de 11.8 trilhões de *wons* sul-coreanos por ano (cerca de 2.5 bilhões de reais) com custos de engarrafamentos, acidentes e logística;

Os dados apresentados também indicam melhoria do transporte público, e benefícios ao meio ambiente:

- Número de passageiros ampliado em 3.6%, e taxa de passeios de ônibus ampliada em 16.5% (Seul);
- Redução do tempo de espera e da inconveniência nas paradas reduzido;
- 12% de redução da emissão de CO₂ até 2020.

A observação do exposto pelos reguladores, empresas e revisão bibliográfica serviu de motivação para a criação de ferramenta que possa incluir o usuário do transporte público a agir em prol da mobilidade urbana, ampliando a fonte de dados para a implementação de sistema de informação a usuário.

3.2 Resultados da Etapa 2

Conforme a seção 1.6.2, a Etapa 2 consistiu na delimitação do escopo e dos requisitos mínimos para a criação de aplicação móvel e o estudo de ferramentas para possibilitar a construção do sistema.

A forma de operação do STPC/DF auxiliou a caracterizar detalhes para um paralelo entre o aplicativo e o Centro de Controle e Operações (CCO), já que a ferramenta de coleta de dados se comporta como extensor das operações de controle, diferenciando-se pelo agente da fiscalização ser o próprio usuário do serviço.

Os requisitos mínimos para a criação da aplicação móvel foram levantados com base nas necessidades dos usuários do transporte público e em seu comportamento, e também na observação de aplicações semelhantes. Ao se obter uma visão de alto nível das necessidades apresentadas percebe-se que as iniciativas existentes se baseiam no eixo governo-empresas, sendo que a parte interessada mais envolvida — os usuários — detêm uma participação limitada a reclamações perante aos órgãos reguladores e às operadoras do STPC.

Originalmente, as ideias incluíam o uso dos dados provenientes dos equipamentos embarcados dos novos ônibus adquiridos pela licitação do novo serviço de transporte, entretanto, com as barreiras encontradas na disponibilização de dados pelas empresas e pela falta de estrutura em transmissão dos dados processados pelo DFTrans, deparou-se a necessidade de coleta alternativa dos dados.

Para prover dados necessários para a iniciativa de implantação de ITS no Distrito Federal constatou-se como prioridade o estudo da movimentação da população pelo transporte de ônibus. Contudo, para viabilizar o estudo da movimentação, é necessário o mapeamento dos pontos de paradas. A proposta foi a automatização aplicando métodos numéricos para identificação a partir de padrões de mudanças na velocidade dos veículos. Por exemplo, caso o ônibus esteja em movimento, pare e re-acelere, essa localização é um

possível ponto de parada. Combinado com a informação dos locais onde o usuário entrou e saiu dos ônibus, permite uma estimativa fina da demanda flutuante pelo transporte.

Foi identificado então a necessidade de o usuário informar a linha de ônibus na qual ele embarcou e periodicamente (a cada parada) informar o *status* da lotação do coletivo. Dados de variação na aceleração, e geolocalização também são necessários, contudo devem ser coletados a partir do equipamento de GPS embarcado dos dispositivos móveis.

Aparelhos móveis como *smartphones* demonstraram-se ser uma alternativa que inclui a participação do cidadão e provê os dados que as empresas poderiam fornecer por meio de *Mobile Applications* (app), e trazendo dados adicionais relevantes, com redundância para auxiliar a confiabilidade dos dados.

Aplicativos que atuam no área de transporte público, georreferenciamento e monitoramento de trânsito foram estudados, visando a compreensão da forma como estes interagem com o usuário e coletam dados. Foram observados os aplicativos *Waze* (app israelense conhecido por indicar engarrafamentos e problemas nas vias), *Foursquare* (rede social de compartilhamento de localização), *Moovit* e *Mobee* (aplicativos de informes sobre localização e horários dos ônibus), *G-Bus* (aplicativo de informação ao usuário sobre o transporte público da Coreia do Sul) e *Cadê o Ônibus* (aplicativo vencedor da 1ª Hackatona do Ônibus, realizada em outubro de 2013 em São Paulo para a Secretaria de Transporte de São Paulo).

3.2.1 Descrição dos Usuários e Partes Interessadas

O presente trabalho está pautado no eixo entre as principais partes interessadas, almejando o equilíbrio entre os pilares governo-empresas-usuários. Aqui estão apresentadas de forma sucinta as principais partes interessadas, suas responsabilidades e necessidades.

3.2.1.1 Partes interessadas (*Stakeholders*)

Na tabela 1 apresenta-se um resumo das principais partes interessadas, identificadas por nome, descrição e responsabilidades. Os *stakeholders* ora contribuem e/ou são beneficiadas ativamente, ora passivamente para/com o sistema.

3.2.1.2 Usuários

Quanto aos usuários do sistema, há três principais beneficiados: usuário do transporte, operador do CCO e agente do DFTrans. Na tabela 2 é apresentado a descrição e as responsabilidades de cada um destes.

| Nome | Descrição | Responsabilidades |
|-------------------------------|---|--|
| Usuário do transporte público | Qualquer pessoa que faz uso do sistema de transporte público coletivo | Utilizar de forma plena os modais coletivos de transporte, fiscalizar o serviço prestado e informar demandas e necessidades de melhoria. |
| Secretaria de Transporte | Órgão governamental responsável pela organização, concessão e planejamento do transporte. | Planejar e executar ações de melhoria da qualidade do serviço de transporte. |
| DFTrans | Autarquia com atribuições de planejar, controlar, avaliar e fiscalizar o transporte público coletivo. | Verificar o cumprimento de normas sobre o transporte público e aplicar as políticas definidas pela Secretaria de Transporte. |
| Empresas de Ônibus | Empresas que prestam o serviço de transporte público coletivo | Explorar a concessão pública de transporte para garantir a mobilidade urbana com qualidade. |

Tabela 1 – Partes interessadas (*Stakeholders*)

| Nome | Descrição | Responsabilidades |
|-------------------------------|--|--|
| Usuário do transporte público | Fornecedor de dados para o sistema. | Informar linha de ônibus em que está presente; Informar estado de lotação dos ônibus; Fornecer dados de sua localização geográfica, velocidade e aceleração. |
| Operador do CCO das Empresas | Agente da empresa de ônibus auditor da prestação de serviço. | Fiscalizar o cumprimento nos horários estabelecidos; Verificar o estado dos ônibus; Informar sobre quebras ou atrasos ao DFTrans. |
| Agente do DFTrans | Agente público da autarquia fiscalizadora | Verificar o estado global do transporte público no Distrito Federal; Observar demandas por mais ônibus e o cumprimento dos itinerários. |

Tabela 2 – Sumário dos usuários

3.2.1.3 Necessidades dos usuários

Quanto as necessidades dos usuários, estas são pautadas no aumento de informações com melhor detalhamento que possam ser insumos para tomadas de decisões. Na tabela 3 apresenta-se as necessidades e as soluções propostas para este trabalho.

3.2.2 Requisitos

Segundo [Layman et al. \(2006\)](#), *user stories* são descrições informais das principais características de um sistema no método de desenvolvimento de software *eXtreme Programming* (XP), escritas em linguagem natural em um cartão. [Beck \(1999\)](#) fala sobre a importância dada no XP sobre o período inicial antes de um sistema entrar em produção,

| Necessidade | Considerações | Solução Atual | Solução Proposta |
|--|--|---|---|
| Informações confiáveis sobre localização do ônibus | Deve permitir que o usuário conheça a localização do ônibus desejado de acordo com a linha deste | Horário de saída do terminal e descrição fixa de itinerário; GPS em parte dos ônibus. | Aplicativo com estimativa de localização baseada em dados coletados de GPS dos usuários. |
| Mapeamento dos pontos de paradas | Reduzir esforço de mapeamento de pontos de parada de ônibus e facilitar a manutenção do mapa. | Mapeamento manual realizado com ida de campo por agentes do DFTrans | Mapeamento por meio de aprendizado de máquina sobre dados de movimentação dos usuários do aplicativos. |
| Informação sobre a demanda por transporte coletivo | Ajustar a frota à demanda populacional por transporte, promovendo a mobilidade urbana. | Informação da quantidade de passageiros diários pela catraca e bilhetagem eletrônica. | Informação colaborativa de estado da lotação de ônibus para obtenção de demanda flutuante por transporte separada por trecho. |

Tabela 3 – Resumo das principais necessidades dos usuários

afirmando que este deve ser breve para que o projeto se inicie rapidamente, com decisões sobre o que deve ou não ser feito e a priorização das necessidades.

Para Beck (1999), toda a análise deve ser unida em termos de histórias de usuário que em uma só sentença, respondam as questões *quem*, *o que* e *por que*, com princípios de orientação ao negócio ao qual se aplica e de ser testável e estimável.

Com esse intuito, os requisitos do Sistema Inteligente para Aumento da Confiabilidade nas Informações sobre Transporte Público Coletivo Modal Ônibus do Distrito Federal foram descritos em termos de histórias de usuário apresentadas a seguir:

3.2.2.1 US01 - Informação sobre lotação dos ônibus

Como um usuário do transporte público que viaja de ônibus,

Eu quero saber a lotação dos ônibus das linhas que eu utilizo,

Para que eu possa escolher qual o melhor ônibus para embarcar.

3.2.2.2 US02 - Mapeamento dos pontos de parada

Como um órgão de planejamento, controle, avaliação e fiscalização do transporte público coletivo do Distrito Federal,

Eu quero saber a localização dos pontos de parada de ônibus do DF,

Para que eu possa melhorar minhas atuações nas minha atribuições.

3.2.2.3 US03 - Informação da demanda flutuante

Como empresa de ônibus,

Eu quero saber a demanda variável por ônibus separada por trechos,

Para que eu possa modificar a frota e linhas em trechos específicos.

As histórias 3.2.2.1, 3.4.1.2, 3.2.2.3 servem como guias para a implementação da aplicação para dispositivos móveis e para o servidor. Para o escopo do presente trabalho a *user story* 3.4.1.2 foi selecionada visto que sua implementação viabiliza as demais em trabalhos futuros. As decisões arquiteturais e de tecnologia para atendimento das necessidades são apresentadas na seção 3.3.

3.3 Resultados da Etapa 3

Após o estabelecimento inicial do escopo, optou-se pela implementação de protótipo funcional, com o objetivo de se estudar tecnologias que pudessem atender aos requisitos expostos em 3.2.2. Como mencionado em 1.5, a participação dos usuários do STPC como não só consumidores, mas também fornecedores dos dados, decidiu-se pela implementação de aplicativo móvel e servidor para armazenagem e inteligência dos dados.

A implementação do protótipo contribuiu para o aprimoramento de conhecimento das linguagens utilizadas, preparação do ambiente de desenvolvimento e coleta de dados iniciais para o desenvolvimento da aplicação. A coleta inicial forneceu base para percepções fundamentais do funcionamento do STPC/DF.

Os dados coletados ao longo do trabalho estão disponíveis publicamente no repositório GitLab, acessível em: <https://gitlab.com/rafael/sample-data-from-brazilian-federal-district-public-transportation>.

3.3.1 Dos Dados Necessários

Com base nos requisitos apresentados, foram selecionados o conjunto de dados relevantes para o trabalho. São eles:

- Latitude;
- Longitude;
- Altitude;
- Velocidade instantânea;
- Linha de ônibus;

- Lotação;

Sobre a forma de representar a lotação do ônibus, escolheu-se uma escala de valores entre 1 e 5. Essa escolha foi baseada no equilíbrio entre reduzida variedade de opções e o mínimo necessário para representação da realidade dos ônibus. Empiricamente, constatou-se os *status* de lotação de ônibus são:

1. quando houver assentos livres;
2. quando o ônibus estiver com todos os assentos ocupados;
3. quando houver pessoas em pé ocupando menos da metade da área do corredor;
4. quando a quantidade indicada de passageiros estiver entre 90% e 100%;
5. quando a quantidade indicada de passageiros for ultrapassada.

A primeira versão do protótipo contou com formulário para inserção do nº da linha do ônibus, escala de lotação, geolocalização e implementação da persistência dos dados localmente com banco de dados SQLite. Essa etapa auxiliou na compreensão do desenvolvimento da aplicação híbrida e a coleta de dados reais diariamente durante um período de duas semanas. A Figura 4 mostra a interface do primeiro protótipo.



Figura 4 – Primeira versão do protótipo. À esquerda, formulário para entrada dos dados, e, à direita, uma amostra exibida. Fonte: Autor.

Os valores coletados foram averiguados e então percebeu-se que, por padrão, os valores de latitude e longitude eram representados com 16 casas decimais de precisão,

precisão irreal visto que mesmo parado, os últimos 5 dígitos oscilavam. As aplicações de mapas *web* *Google Maps*¹, *Open Street Map*² e *Wikimapia*³, com uso de, respectivamente, 7, 5 e 6 serviram como base para a redefinição da precisão para 9 casas decimais, o que significa precisão de 4 metros, dentro do valor de 7,5 m estabelecido por BRASIL (1973) para estradas de rodagem.

3.3.2 Do Aplicativo para Dispositivos Móveis

Quando se trata de aplicações *mobile*, as limitações de recursos exigem cuidados especiais pois conforme Yamin et al. (2001) a “busca de desempenho no software para ambientes móveis é complexa, seus componentes são variáveis no tempo e no espaço em termos de conectividade, portabilidade e mobilidade”. W3C (2013) exemplifica como desafios de aplicações *mobile* atrasos de rede, limitações de memória e CPU e diferenças entre teclados etc, mas aponta também as vantagens da natureza de capacidade sensíveis ao contexto, personalização e disponibilidade às mãos.

Foram estudados *frameworks* para desenvolvimento *mobile* e desenvolvimento *web*, e analisadas tecnologias que permitissem o desenvolvimento da solução integrada para o compartilhamento dos dados processados.

Connors e Sullivan (2010) afirma que atualmente muito mais pessoas têm acesso a dispositivos móveis do que um *desktop* o que tem forte impacto em países em desenvolvimento, já que os dispositivos móveis podem desempenhar um papel de difusores da *web*.

Segundo Andrade et al. (2013) quatro plataformas tem representatividade significativa no mercado para dispositivos móveis: *Android*, *iOS*, *Windows Phone/Windows 8* e *BlackBerry*. Dada essa diversidade, as opções existentes seriam a reescritura do código para cada plataforma específica, totalmente nativa, ou a construção de uma aplicação *web* adaptativa para diferentes telas, ou implementação de aplicações híbridas. Observou-se a necessidade de se construir uma aplicação *mobile* preparada para ser multiplataforma.

“Como meio-termo entre o desenvolvimento de aplicações nativas e o conteúdo *web* adaptável, a terceira arquitetura é a de aplicações híbridas. Nesse caso, temos a construção de conteúdo *web* empacotado em uma aplicação nativa, obtendo, assim, o melhor de cada uma das outras duas arquiteturas. [...] é mais fácil disponibilizar conteúdo *off-line*, requerendo menos conectividade[...] existem *frameworks*, como o *Apache Cordova*, que facilitam o empacotamento

¹ <https://www.google.com/maps>

² <http://www.openstreetmap.org/>

³ <http://wikimapia.org>

do conteúdo *web* para cada plataforma e viabilizam a utilização dos recursos nativos dos dispositivos.” (ANDRADE et al., 2013)

Com o intuito de criar uma solução abrangente para os diversos sistemas operacionais *mobile*, foi escolhido o *framework Apache Cordova* para o desenvolvimento do protótipo. “*Apache Cordova* é um conjunto de APIs de dispositivo que permite a um desenvolvedor de aplicativos acessar funções de dispositivos nativos como câmera ou acelerômetro a partir do *JavaScript*.”⁴ (THE APACHE SOFTWARE FOUNDATION, 2013).

A escolha se baseou na variedade de recursos de *hardware* que se tornam acessíveis pelo uso de *plugins* do Cordova e também no fato de haver familiaridade do autor deste trabalho com a linguagem *JavaScript*.

Foi implementado então um protótipo preliminar, com foco na configuração do ambiente de desenvolvimento e entendimento das configurações do *framework* para criação de aplicações. Para teste, utilizou-se um *smartphone* da marca *Samsung* modelo *Galaxy Y TV GT-S5367*, com sistema operacional *Android* versão 2.36 (*Gingerbread*). O equipamento serviu como exemplo de um modelo de baixo custo com os recursos mais comuns para *smartphones*. O ambiente de desenvolvimento foi então configurado para permitir o desenvolvimento *Android* com o Cordova.

A implementação do aplicativo coletor dos dados focou na necessidade de abrangência de número elevado de usuários. Além do Cordova, foi utilizado o *metaframework* Ionic, para facilitar a implementação do padrão de arquitetura de software *Model-View-Whatever* (MVW), abordado em 3.3.2.2.

3.3.2.1 Ferramentas Utilizadas, *plugins* e dependências

A implementação do aplicativo para dispositivos móveis utilizou as tecnologias apresentadas na tabela 3.3.2.1:

| Ferramentas | Plugins e Dependências |
|-------------------------------|------------------------|
| Eclipse IDE | IONIC Framework |
| Android Developer Tools | AngularJS |
| Framework Apache Cordova | MongoDB |
| Navegador Web Mozilla Firefox | NodeJS |

Tabela 4 – Ferramentas, *plugins* e dependências

3.3.2.2 Arquitetura do Software

Segundo Larman (2000) define-se arquitetura por uma “descrição da organização, motivação e estrutura de um sistema”. A arquitetura do aplicativo aqui apresentada é

⁴ Tradução livre feita pelo autor

uma macro-arquitetura composta de duas arquiteturas: externamente a arquitetura do *framework Cordova*, e internamente sua arquitetura própria, implementada com os *frameworks Ionic* e *AngularJS*.

O Cordova por si só não traz a implementação de padrões de arquitetura para o interior de uma aplicação web. O *framework* serve apenas como um recipiente para o conteúdo *HyperText Markup Language* (HTML) dinâmico, independentemente do uso de padrões. Esse conteúdos são *WebApps* encapsuladas nativamente. A decisão de utilizar em conjunto os *frameworks AngularJS* e *Ionic* permitiu a aplicação dos padrões *Model-View-Controller* (MVC) e *Model-View-Whatever* (MVW) (a serem abordados), com foco na extensibilidade e outros recursos.



Figura 5 – Arquitetura do *framework Apache Cordova*, composta pelo encapsulamento da aplicação *web* em uma aplicação nativa instalada no dispositivo móvel. Fonte: Autor baseado na documentação oficial de [The Apache Software Foundation \(2013\)](#).

A Figura 5 mostra a forma como um aplicativo desenvolvido com o *Cordova* se organiza no ambiente nativo. A arquitetura se resume aos elementos *Aplicação Web* (WebApp) (*HTML + JavaScript + Cascade Style Sheet (CSS)*), *Plugins*, *Aplicação Nativa*, e *Dispositivo* (Sistema Operacional + *Application Programming Interface* (API) Nativa + Recursos de Hardware).

Apresenta-se abaixo a forma de criação/operação de um aplicativo desenvolvido usando o *Cordova*:

1. Todo o conteúdo do aplicativo desenvolvido é construído sob a forma de uma apli-

- cação *web* comum, otimizada para dispositivos móveis;
2. Os recursos nativos são abstraídos com o uso de *plugins*, que liberam o uso pela *WebApp* dos recursos disponíveis ao sistema operacional;
 3. A aplicação é encapsulada em uma aplicação nativa, compilada para cada distribuição desejada. Essa aplicação nativa se assemelha a um *browser* limpo, isto é, apenas com o interpretador da aplicação *web* local, acrescida do código para acesso aos recursos;
 4. Por fim, a aplicação é instalada sob a forma de um aplicativo comum, com funcionamento igual a qualquer aplicação nativa.

De acordo com [Connors e Sullivan \(2010\)](#) “aplicações *web* se distinguem de um simples conteúdo *web* por incluírem localmente elementos executáveis e de persistência de estado”. Como aplicações construídas com *Cordova* são primariamente páginas *HTML*, as aplicações dinâmicas exigem a manipulação dos elementos que as compõem.

O *Document Object Model* (DOM) é uma interface neutra de plataforma e linguagem que permite que um documento *HTML* possa ser processado e ter o conteúdo modificado ([HÉGARET; WHITMER; WOOD, 2002](#)). É exposto por [Cover \(2003\)](#) que a interface central do *DOM* é um projeto “compacto e mínimo para manipular o conteúdo dos documentos”.

Do mesmo modo como qualquer software, quanto mais operações realizadas, maiores são as exigências de recursos computacionais. “A execução de uma aplicação *web JavaScript* é orientada a eventos do *browser* do usuário. [...] O código que gerencia os eventos reage modificando o estado do programa e da página *HTML* via seu *DOM* e interagindo com a API do *browser*” ([JENSEN; MADSEN; MØLLER, 2011](#)).

O guia de melhores práticas para WebApps da *World Wide Web Consortium* (W3C) aborda algumas questões importantes que reforçaram a escolha do Ionic para facilitação do desenvolvimento dos elementos do aplicativo. São eles⁵:

- “Manter o tamanho do *DOM* razoável: Limitar a quantia de informação no *DOM* em uma só página utilizando paginação ou outra técnica apropriada;
- Evitar Recarregamento de Páginas: Refletir mudanças de estado ou mostrar diferentes visões na aplicação atualizando páginas dinamicamente (manipulando o *DOM*) em detrimento de recarregá-las”([CONNORS; SULLIVAN, 2010](#)).

No aplicativo desenvolvido, o conteúdo é previamente carregado em uma única página, que se apresenta dividida em abas. A Figura 6 mostra a tela para captura de dados.

⁵ Com adaptações

Essa página é carregada dentro da página inicial (index.html) como se fossem a mesma página, utilizando o recurso de diretivas do *framework* AngularJS. O recurso de diretivas permite que o *DOM* existente seja ampliado e facilita o reuso, com o recarregamento da parte comum.

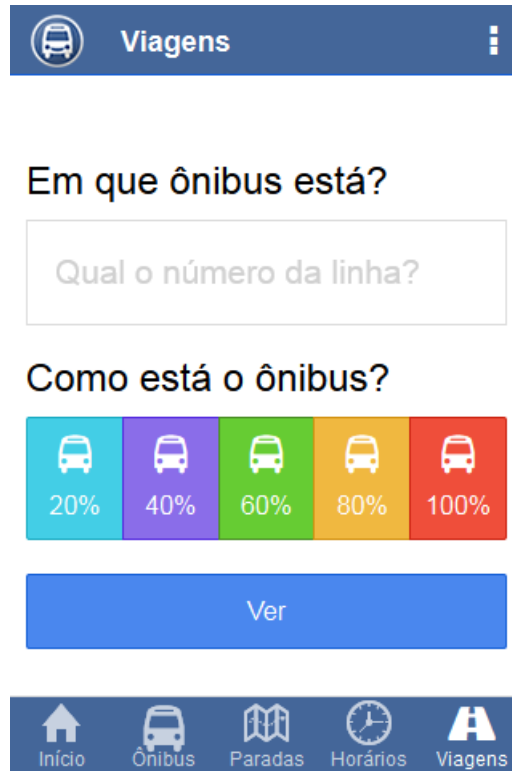


Figura 6 – Tela para captura de dados. Fonte: Autor.

A vantagem do *Angular* é a redução das manipulações do *DOM* e a manutenção do seu tamanho, isto é, a árvore do *DOM* é manipulada de modo que as partes reutilizáveis estejam carregadas em memória e apenas renderizadas quando utilizadas, sem estarem fisicamente escritas no *DOM*. No tempo de carregamento, a árvore tem apenas as partes dinâmicas alteradas, carregando elementos de *HTML* não renderizados presentes nos *templates*.

A Figura 7 mostra um exemplo de como isso funciona no aplicativo:

“Em *Angular*, os *templates* são escritos com *HTML* que contém elementos e atributos específicos do *Angular*. O *Angular* combina o *template* com informações da *model* (Modelo) e da *controller* (Controladora) para processar a visão dinâmica que um usuário vê no navegador” (ANGULARJS, 2014).

Na Figura 7 observa-se três pequenos trechos de código que exemplificam o funcionamento do conjunto de tecnologias utilizadas:

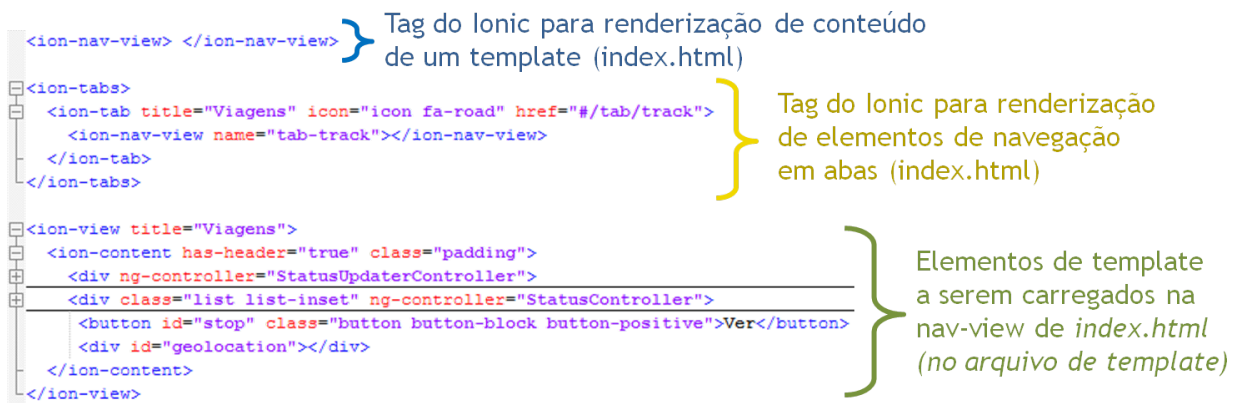


Figura 7 – Exemplo de trechos de código do uso combinado do *Angular* com o *Ionic*.
Fonte: Autor.

- 1º Bloco: *tag* do *framework* Ionic entre os delimitadores da *tag* `<body></body>` do HTML, que indica onde o conteúdo manipulado pelo Angular será exibido;
- 2º Bloco: *tag* para exibição da navegação em abas, que passa a referência de um *link* que é interceptado pela controladora, para exibição de um novo conteúdo;
- 3º Bloco: código do *template*, a ser exibido dentro da página inicial quando um evento chamar este conteúdo.

O aplicativo desenvolvido utiliza um padrão misto entre *Model-View-Controller* (MVC) e *Model-View-Whatever* (MVW), concebido sob a forma de um *WebApp* encapsulado nativamente. Larman (2000) afirma que o padrão MVC, separa as funcionalidade da aplicação em três camadas – a camada de negócio (Modelo), a camada de visualização (Visão) e a camada de controle (Controladora). O padrão *MVW*, para o presente trabalho, permite que se terceirize a controladora para outra aplicação *web*, permitindo a integração da aplicação a outra que pode ter arquitetura diferente.

Os desenvolvedores do *AngularJS* oficialmente afirmam que é um *framework MVC* mas segundo Runeberg (2013) “para muitos desenvolvedores é um padrão *Model-View-ViewModel* (MVVM)”. Para Haapanen (2014) o termo MV* ou MVW descreve em termos gerais o padrão de projeto MVC, e suas várias modificações, como a *Model-View-Template* (MVT) e MVVM referindo-se ao fato de que o *framework* dá liberdade para o implementador usar seu método preferido.

Topsholm (2014) afirma que o *AngularJS* permite que se insira um terceiro papel no lugar da controladora do *MVC*, para que seja o que o programador quiser. *MVC* segue o princípio de separação Modelo-Visão que, de acordo com Larman (2000), estabelece que os objetos que compõe a visão (elementos de interface) não devem ser conhecidos diretamente pelos elementos de domínio (Modelo).

“A abordagem *MVC* é composta por três tipos de objetos. O *Modelo* é o objeto de aplicação, a *Visão* é a apresentação na tela e o *Controlador* é o que define a maneira como a interface do usuário reage às entradas do mesmo. [...] A *MVC* separa esses objetos para aumentar a flexibilidade e a reutilização” (GAMMA et al., 1995).

O meio-termo entre ambas é uma aplicação com a divisão de responsabilidades da controladora entre um código local e uma aplicação externa. Isso permite que mesmo que a conexão de dados seja perdida a aplicação mantenha seu funcionamento, possibilita fácil integração à aplicação servidora, assim como permite a evolução ou substituição da aplicação servidora de modo transparente ao usuário.

3.3.2.3 Navegação

A forma como um usuário faz uso da aplicação está relacionada diretamente com a disponibilização da informação. Foi utilizada a premissa de quanto menor a quantidade de interações para obtenção de determinada informação, mais fácil a interação do usuário. Na Figura 8, apresenta-se a estrutura de navegação do aplicativo proposto.

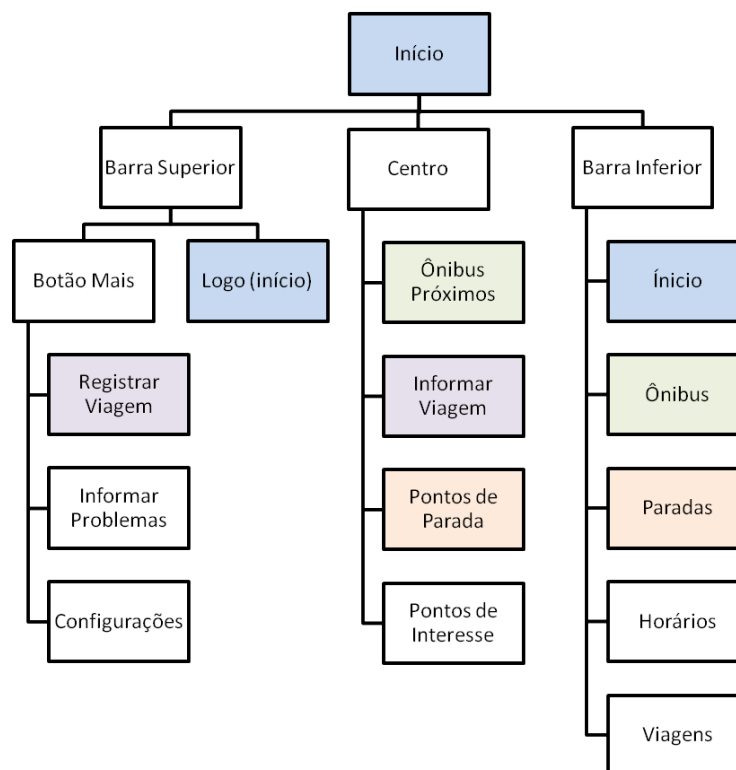


Figura 8 – Estrutura de Navegação para o Aplicativo. Fonte: Autor.

3.3.2.4 Identidade Visual

A identidade visual é a caracterização visual de um objeto de interesse. Segundo Krusser (2002) serve para “explicitar a personalidade da organização, tornando reconhecíveis seus produtos, espaços, serviços e ideias como integrantes desses conceitos e filosofia, como portadores dos mesmos valores”. Para esse sistema os recursos de identidade visual foram pensados sob a ótica de transmitir conforto e simplicidade.

A interface do aplicativo contém barras na área superior e inferior nas cores azul (hexadecimal #469) e branco (hexadecimal #FFF), com 44 pixels de altura e 100% de largura. A área de conteúdo manterá fundo em cor branca, a exceção das telas com mapa, onde o mapa assume o fundo.

O ícone do aplicativo é um ônibus icônico inspirado na fonte FontAwesome com um sorriso na cor branca, dentro de um círculo azul (hexadecimal #469) com borda branca. O logotipo criado é apresentado na Figura 9.



Figura 9 – Logotipo do Aplicativo, elemento composto com um círculo azul de borda branca com ícone de um ônibus com um leve sorriso. Fonte: Autor.

Na tela de captura de dados, foi incluído o campo para inserção do número da linha e a informação sobre o estado da lotação do ônibus, conforme a Figura 10.

3.3.3 Da Persistencia Remota

Em um segundo momento, o protótipo foi refinado para permitir a persistência de dados remotamente. Foram avaliadas linguagens de programação e de banco de dados para a construção dessa persistência de modo a tratar os dados georreferenciados.



Figura 10 – Tela inicial e versão final da tela de captura de dados com resoluções respectivamente de 240px×320px e 320px×480px. Fonte: Autor.

A primeira opção foi a construção em PHP de um módulo de escrita em arquivo a partir da leitura de dados enviados pela *Uniform Resource Locator* (URL), via requisição GET do protocolo *HyperText Transfer Protocol* (HTTP). Essa iniciativa se mostrou ineficiente, visto que dificulta a escrita simultânea de valores.

A segunda opção foi o uso de banco de dados com *webservices*. As opções avaliadas foi a utilização de MySQL, PostGIS e MongoDB. As opções PostGIS e MongoDB possuem nativamente recursos para tratamento de dados georreferenciados. A opção MySQL, por não possuir estes recursos, foi descartada.

Dentre as opções persistentes, a escolha se pautou na escalabilidade do banco de dados e a facilidade de uso. O PostGIS possui vasta documentação, entretanto o MongoDB, por ser um banco NoSQL permite a escalabilidade de uma aplicação sem preocupação com qualquer modelo de dados. Outra vantagem do MongoDB é que a sua linguagem de programação é, assim como no Cordova, JavaScript e os dados são salvos como arquivos *JavaScript Object Notation* (JSON).

Segundo [MongoDB \(2013\)](#), o MongoDB é um banco de dados orientado a documentos *open-source*. A ausência de modelo estruturado para sua implementação permite o agrupamento de dados que possuem relação entre si sob uma mesma estrutura, permitindo que com sob uma mesma consultas atômicas se obtenha as informações desejadas.

3.3.4 Da Aplicação Web

Com base nas experiências coletadas ao se desenvolver o protótipo, implementou-se um *webservice Representational State Transfer* (REST), para realizar as operações *Create Update Retrieve Delete* (CRUD) do sistema.

“O estilo REST (Transferência do Estado Representativo) é uma abstração de elementos arquiteturais em um sistema distribuído de hipermídia. REST ignora os detalhes da implementação de componente e sintaxe de protocolo com objetivo de focar nos papéis dos componentes, as restrições sobre suas interações com outros componentes, e suas interpretações de elementos de dados significativos. Ele envolve as restrições fundamentais, conectores, e dados que definem a base de uma arquitetura *web*, e ainda a essência do seu comportamento como uma aplicação baseada em rede.” (FIELDING, 2000)

Com a experiência obtida nas fases iniciais de prototipação, entendeu-se que o uso de JSON como linguagem de comunicação entre o *webservice* e a aplicação mobile era ideal por ambos serem escritos em *JavaScript*, não sendo necessária a conversão dos dados coletados dos dispositivos móveis e o banco de dados. Seguindo o mesmo raciocínio, optou-se pelo uso da plataforma Node.js para a implementação do servidor de aplicação e do *webservice*.

O *Node.js* é uma plataforma *JavaScript* projetada para implementação de aplicações em tempo real com transação intensa de dados orientada a eventos. Segundo Quixabeira, Almeida e Filho (2013), o Node.js tem a vantagem de ser amplamente utilizado para manipulação de dados em bancos de dados NoSQL. e utilizar *JavaScript* como *back e front-end* para aplicações.

Quixabeira, Almeida e Filho (2013) em seu trabalho fazem uma comparação do desempenho de uma aplicação NodeJS Server com uma Aplicação PHP + Apache Server. Essa comparação demonstra a superioridade do NodeJS a medida que a quantidade de requisições aumenta.

Na Figura 11 observa-se o potencial do NodeJS para aplicações com elevada quantidade de requisições. Para o sistema proposto neste trabalho de graduação, entende-se o atendimento a um número de requisições consideravelmente elevado, visto que é necessário a captura de dados dos diversos usuários apresentados em 3.3.1, e para funcionamento *online* pleno, ao menos dados de um usuário para cada ônibus circulante.

Com a escolha do conjunto aplicativo escrito com Cordova, banco de dados MongoDB e servidor de aplicação NodeJS, foi possível criar um ambiente no qual a escrita e leitura dos dados não exige conversão entre formatos, porque todos fazem uso da notação JSON, o que proporciona menor uso de recursos computacionais.

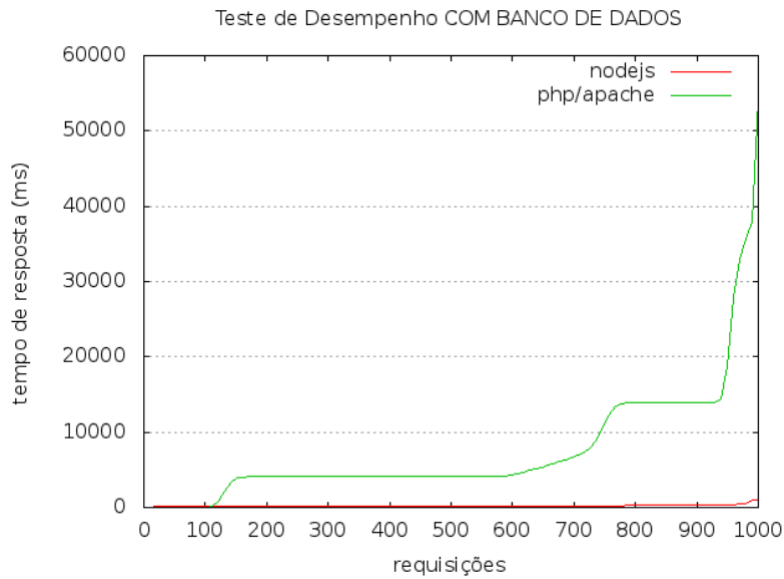


Figura 11 – Gráfico de comparação de desempenho NodeJS e PHP+Apache em tempo de resposta por quantidade de requisições. (QUIXABEIRA; ALMEIDA; FILHO, 2013)

3.3.5 Do Processo de Coleta de Dados

Para o presente trabalho, foram avaliadas 112 amostras de linhas de ônibus do Distrito Federal, coletadas do período de junho a outubro de 2014, observados sob a perspectiva de usuário do transporte público, majoritariamente no horário de maior movimento, compreendido do período entre 7h e 9h da manhã e também entre 17h e 19h30 da noite. Foram coletados também dados nos períodos intermediários de 11h às 13h e em períodos de trânsito livre das 21h à meia-noite, a fim de comparação.

A Figura 12, mostra a área de abrangência do trabalho, com viagens realizadas nas rodovias Estrada Parque Núcleo Bandeirante (EPNB), Estrada Parque Indústria e Abastecimento (EPIA), Estrada Parque Aeroporto (EPAR), Estrada Parque Taguatinga-Guará (EPTG), Estrada Parque Indústrias Gráficas (EPIG), DF-001, DF-002 (Eixo Rodoviário), e Eixo Monumental. As linhas coletadas abrangiram também avenidas internas das regiões administrativas Recanto das Emas, Samambaia, Gama, Taguatinga, e Brasília.

As linhas que transitam pela EPNB e pela EPIA foram as que sofreram maiores erros de coleta, devido à interferência das rotas de avião e torres de controle de tráfego aéreo civil e militar, mencionadas na subseção 1.5.3.

Além da interferência já esperada, outros fatores foram observados durante a coleta dos dados. Foram eles:

- Linhas de Alta Tensão;
- Bateria do *smartphone* com bateria fraca (redução da precisão);

- Tecidos grossos (calças jeans, casacos, etc);
- Céu nublado;
- Linha férrea;
- Motores de grandes veículos próximos (caminhões e camionetes);

Observou-se que apenas as interferências por rotas de avião e céu nublado efetivamente ocasionaram a perda momentânea do sinal dos satélites GPS, ocasionando *timeout* em algumas medições, sem prejuízo aos dados coletados. As demais fontes de interferência atuaram na aferência das velocidades e altitudes, retornando valores com distorção visível, como, por exemplo, velocidade superiores a $120km/h$.

Empiricamente, a solução proposta foi a simples eliminação dos dados com valores acima da faixa de $120km/h$. Apesar do limite de velocidade oficiais serem de $80km/h$ e a velocidade média do trânsito em áreas urbanas com deslocamento pendular ser de cerca de $22,5km/h$ ⁶ (LOBO; CARDOSO; MAGALHÃES, 2013), foi observado uma situação de irregularidade durante a coleta, no qual um ônibus atingiu por alguns segundos a velocidade real de $113km/h$, o que forçou a incluir valores nessa faixa como valores possíveis.

3.4 Resultados da Etapa 4

A Etapa 4 apresenta os resultados obtidos a partir da análise dos dados coletados, com a apresentação dos conceitos utilizados, as características observadas, o processo de coleta e análise dos dados, os procedimentos criados e adotados e, por fim, as limitações do trabalho.

3.4.1 Engenharia de Características

A Engenharia de Características é a transformação de dados em seu estado bruto para características que possam ser processadas para uso em soluções de aprendizado de máquina.

Segundo (TURNER et al., 1999), a “Engenharia de Características promove características como objetos de primeira-classe ao longo do ciclo de vida do software e através do domínio do problema e da solução”. No contexto de modelagem de problemas segundo uma abordagem de aprendizado de máquina, a *feature engineering* é necessária para viabilizar o uso de dados para o aprendizado de máquina.

⁶ Baseado na média dos valores apresentados por Lobo, Cardoso e Magalhães (2013) para velocidade média de deslocamento pendular nas regiões metropolitanas de Belém, Belo Horizonte, Curitiba, Fortaleza, Porto Alegre, Recife, Rio de Janeiro, Salvador, São Paulo.

“Entendemos por característica qualquer quantidade que possa ser computada diretamente como função de dados brutos, enquanto variáveis de respostas se refere ao parâmetro alvo a ser predito para cada fonte nova” (RICHARDS et al., 2012). As variáveis de respostas procuradas pela análise de dados são os pontos de parada, e as características foram levantadas com base nos dados coletados.

Como os resultados obtidos estão diretamente relacionado com os dados de entrada, o trabalho de abstração das características dos dados é essencial, para que os dados amostrais para treinamento auxiliem na generalização dos modelos. Sob a perspectiva apresentada, apresenta-se em termos gerais as características dos elementos que compõem o transporte público.

3.4.1.1 Das Linhas de Ônibus do Distrito Federal

Devido a divisão interna do Distrito Federal em Regiões Administrativas, conhecidas popularmente por “cidades-satélites”, a distribuição urbana se dá sob diversos núcleos urbanos próximos, muitas vezes com cornubações, e áreas verdes separando subconjuntos.

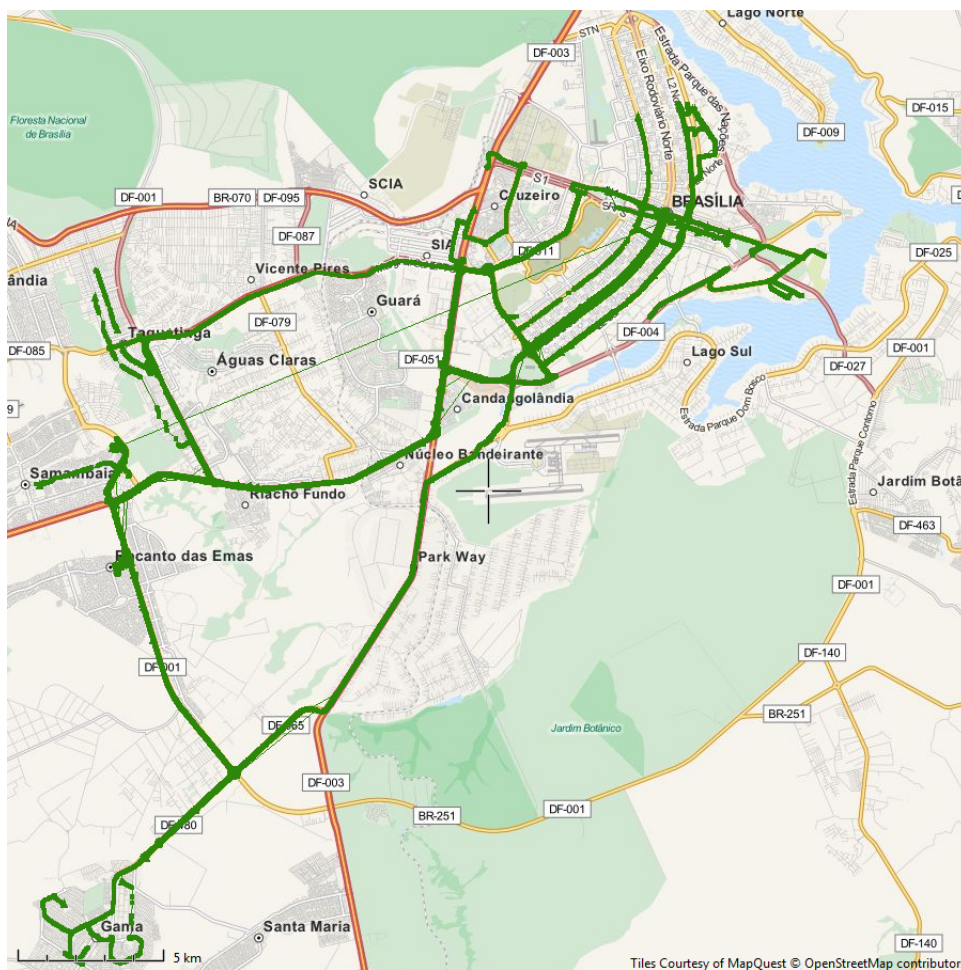


Figura 12 – Área de abrangência da coleta de dados. Produzido com o *software* Viking, ferramenta *open source* de análise e edição de dados GPS.

A característica predominante da movimentação da população é o fluxo pendular, isto é, a migração diária para trabalho/estudo, e retorno para descanso.

Assim sendo, as linhas de ônibus do STPC/DF foram criadas para atender à demanda dos diferentes tipos de movimentação. O sistema convencional do DF é composto atualmente em 799 linhas, ainda em fase de mudança. A ST/DF classificou as linhas em Metropolitanas e Urbanas, classificadas de modo a saber:

- Metropolitana 1 (Ligação Curta): Cidade-Satélite / Plano Piloto;
- Metropolitana 2 (Ligação Longa): Cidade-Satélite / Plano Piloto;
- Metropolitana 3 (Ligação Intermediária): Cidade-Satélite / Cidade-Satélite; Cidade-Satélite / Plano Piloto.
- Urbana 1 (Circular Curta): Cidade-Satélite e Plano Piloto;
- Urbana 2 (Circular Longa): Cidade-Satélite e Plano Piloto;
- Urbana 3 (Circular Interna): Cidade-Satélite. (DISTRITO FEDERAL, 2013c).

| 809 - Recanto das Emas / Rodoviária do Plano Piloto | | | |
|---|------------------------|------------------------|--------------|
| time | latitude | longitude | speed (km/h) |
| 10/07/2014 11:37 | -15.874.585.216 | -48.039.863.774 | 56,1 |
| 10/07/2014 11:37 | -15.874.638.582 | -48.039.611.584 | 49,7 |
| 10/07/2014 11:37 | -15.874.677.567 | -48.039.394.998 | 42,4 |
| 10/07/2014 11:37 | -15.874.645.519 | -48.039.079.652 | 6,8 |
| 10/07/2014 11:37 | -15.874.641.021 | -48.038.740.131 | 32,7 |
| 10/07/2014 11:37 | -15.874.667.799 | -48.038.417.908 | 41,5 |
| 10/07/2014 11:38 | -15.874.712.687 | -48.038.077.110 | 44,1 |
| 110 - Rodoviária do Plano Piloto / UnB (Circular) | | | |
| time | latitude | longitude | speed (km/h) |
| 21/08/2014 11:42 | -15.769.913.769 | -47.866.993.801 | 39,7 |
| 21/08/2014 11:42 | -15.769.832.939 | -47.867.050.844 | 39,1 |
| 21/08/2014 11:42 | -15.769.719.163 | -47.867.131.466 | 27,5 |
| 21/08/2014 11:42 | -15.769.635.044 | -47.867.168.126 | 1,4 |
| 21/08/2014 11:42 | -15.769.474.162 | -47.867.278.864 | 15,4 |
| 21/08/2014 11:42 | -15.769.271.717 | -47.867.428.808 | 24,9 |
| 21/08/2014 11:43 | -15.769.044.615 | -47.867.597.944 | 27,9 |

Figura 13 – Recorte dos dados coletados próximo a um ponto de parada para as linhas 809 (tipo Metropolitana 2) e 110 (tipo Urbana 3). Em amarelo, um ponto de parada, e em negrito a maior velocidade na proximidade da parada.

Com base na observação feita a partir dos dados coletados, com atenção à mobilidade no espaço urbano, constatou-se que linhas do tipo **Metropolitana** são caracterizadas pelo uso de rodovias, sujeição a trechos com fluxo elevado de veículos, maior variação

de velocidade (trechos de velocidade máxima de 40km/h , 60km/h e 80km/h), e menor número de interrupções no trânsito (poucos semáforos, faixas-de-pedestre e cruzamentos).

Ainda com os dados coletados, observou-se que as linhas do tipo **Urbana** são caracterizadas pela operação em velocidade baixa (máximas de 60km/h), menor variação de velocidade (média em torno de 25km/h , oscilando $\pm 5\text{km/h}$), grande quantidade de interrupções no fluxo (muitos semáforos e cruzamentos), e menor distância percorrida.

Essas características divergentes impactaram a análise dos dados obtidos, evidenciando a necessidade de criação e uso de dois modelos para possibilitar o aprendizado de máquina a partir dos dados obtidos. No conjunto de dados coletados, foram abordadas apenas as linhas do tipo Metropolitana 2, Metropolitana 3 e Urbana 3.

3.4.1.2 Dos Pontos de Parada

Assume-se como pontos de parada para o presente trabalho as localidades de embarque e desembarque de passageiros do STPC. Para [Distrito Federal \(2013b\)](#), “são os locais destinados aos veículos do Sistema de Transporte Público Coletivo do Distrito Federal pararem para o embarque e/ou desembarque de passageiros ao longo de seus itinerários”.

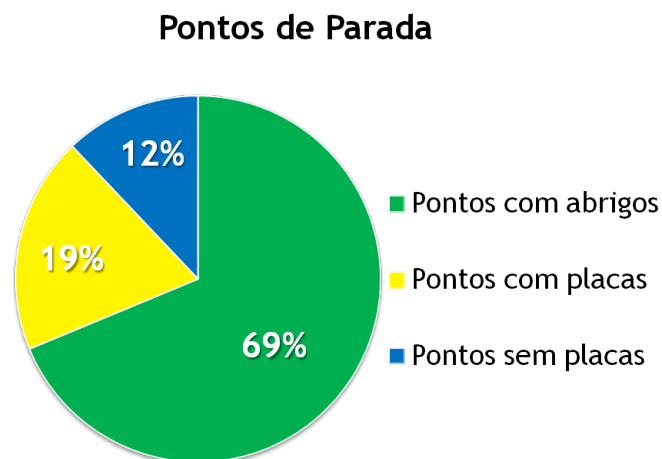


Figura 14 – Percentual de Pontos de Parada por Tipo. Adaptado de [Distrito Federal \(2013b\)](#).

Há três tipos de pontos de parada: pontos com abrigo, pontos com placas (sem abrigo), e pontos sem placas. Levando-se em conta que juntos os pontos sem nenhum abrigo representam quase um terço do total, métodos por reconhecimento de imagens aéreas não seriam efetivos.

No Distrito Federal há oficialmente 4313 pontos de parada [Distrito Federal \(2013b\)](#), incluindo os pontos habituais (com origem informal mas que foram incorporados ao iti-

nerário). Todavia, além dos pontos oficiais, é comum, apesar de indevido e arriscado, o embarque e desembarque de passageiros em pontos além dos oficiais, como em semáforos, trechos engarrafados e margens de rodovias.

Pontos não-oficiais podem ter dois significados: 1º - necessidade real por novos pontos de paradas, 2º irregularidades que devem ser fiscalizadas. O trabalho de mapeamento de todos os tipos é oneroso, e pode, com uso de informações coletadas pelos próprios usuários do transporte público, ser facilitado.

Quanto ao espaço físico que compõe o espaço das paradas de ônibus, estes podem ser classificados em paradas com recuo, e paradas sem recuo, conforme figura abaixo.



Figura 15 – Exemplo de Pontos de Parada com recuo (à esquerda) e sem recuo (à direita), na Região Administrativa de Taguatinga, ambas a cerca de 20km de Brasília. Fonte: (WIKIMAPIA, 2012) com adaptações.

A presença ou ausência de recuo nas paradas de ônibus influencia o comportamento da movimentação do veículo nas proximidades. As com recuo exigem um deslocamento lateral na direção do ponto com redução de velocidade e em seguida uma re-aceleração na direção oposta, o que requer também menor tempo para reintrodução no trânsito, ou seja, maior aceleração. As sem recuo não exigem o deslocamento lateral, o que indica que não é necessário grande aceleração para reintrodução na via, desta forma a aceleração é mais suave em comparação a anterior.

Existem outros elementos componentes do sistema viário urbano que influenciam o fluxo de veículos e conseqüentemente a velocidade operacional dos ônibus metropolitanos que não caracterizam paradas. Tais elementos, se mostram mais como ruídos, e serão considerados no próxima seção.

3.4.1.3 Dos Semáforos, Faixas de Pedestres, Cruzamentos e outros Pontos de Baixa Velocidade

Há muitos ocasionadores de redução de velocidade. Os elementos físicos fixos são os semáforos, as faixas de pedestre, os cruzamentos e as barreiras eletrônicas. Outros elementos presentes ocasionais são os engarrafamentos, acidentes de trânsito, condições climáticas e estado de conservação das vias. Essas influencias modificam a generalização de modelo, uma vez que ocorrem em diferentes trechos, podendo ou não serem intercombinadas, o que dificulta o processo de classificação.

Segundo [CONTRAN \(2014\)](#), define-se:

- “*Semáforo* - elemento componente da sinalização semafórica que fornece informações aos condutores de veículos e aos pedestres através de indicações luminosas. [...]”;
- *Sinalização semafórica de advertência* – sinalização semafórica que tem a função de advertir sobre a existência de obstáculo ou situação perigosa, devendo o condutor reduzir a velocidade [...]”;
- *Sinalização semafórica de regulamentação* – [...] controle do trânsito numa interseção ou seção de via, através de indicações luminosas, alternando o direito de passagem dos vários fluxos de veículos e/ou pedestres”.

As sinalização semafórica de regulamentação não tem um tempo específico para abertura e fechamento do trânsito, o tempo é determinado pelo órgão responsável pela engenharia de tráfego local, com base nas informações de trânsito, seguindo especificação de cálculo presente no Volume V do Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito. Por não ser constante, em determinados momentos, ao se utilizar das informações de velocidade para análise dos pontos de parada, as características podem ser confundidas.

A *Faixa de Travessia de Pedestres* (*pop.* faixa de pedestres) é definida pelo Volume IV do Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito como “a área destinada à travessia de pedestres e regulamenta a prioridade de passagem dos mesmos em relação aos veículos [...] onde haja necessidade de ordenar e regulamentar a travessia de pedestres [...] semaforizados ou não, onde o volume de pedestres é significativo[...].” ([CONTRAN, 2007](#)).

Nas proximidades das faixas de pedestre o comportamento da velocidade do ônibus se assemelha a de um ponto de parada, e, em algumas situações, a faixa de pedestre acaba utilizada também como tal, mesmo que não oficial.

Os pontos de cruzamentos são as regiões onde há interseção de vias, o que exige redução de velocidade e não obstante, até mesmo paradas. Muitos cruzamentos são sinalizados com placas de PARE ou “dê a preferência”.

É comum também ocasiões onde há o encontro de três elementos que introduzem baixa velocidade no trânsito dos veículos — cruzamento, semáforo e faixa de pedestres — em regiões com grande movimentação de pessoas, de maneira a ordenar o fluxo. Nos casos onde há um ponto de parada próximo aos três elementos, o processo de classificação dos dados não é conclusivo.

O conjunto de regiões de baixa velocidade aqui apresentados foram avaliados sob a perspectiva do comportamento da variação de velocidade. Na seção 3.4.2, apresenta-se os procedimentos adotados para a caracterização e classificação.

3.4.2 Do Processo de Análise de Dados

A análise baseou-se na avaliação do vetor de velocidade porque a informação obtida diretamente do GPS representa a combinação das informações de tempo e espaço conforme 2.2. É incontestável a evidência da preponderância da velocidade, visível claramente sem esforço.

Com base nas definições apresentadas em 3.4.1, estabeleceu-se como primeiro passo da avaliação *ad hoc*, a observação das regiões de baixa velocidade, inicialmente menor ou igual a 6km/h , que segundo Monteiro e Araújo (2001) é a ideal para caminhada, para distingui-la de um pedestre. *A priori* procurou-se observar 7 pontos centrados nessas regiões.

As regiões amostrais mostraram que esses valores ignoravam uma quantidade considerável de paradas devido ao fato de que em um intervalo de 5 segundos nem sempre captura-se um ponto de parada, pois o tempo de embarque/desembarque é volúvel.

Medições em campo do tempo de parada foram realizadas durante o período de uma semana para todos os pontos de parada das linhas 809 e 816 (Metropolitana 2), 205 e 205.1 (Metropolitana 3), cronometrando o tempo de embarque/desembarque. Com base nas medições obteve-se o tempo mínimo de 3 segundos para uma parada (1 segundo para abertura da porta, 1 segundo aberto e 1 segundo para fechamento).

O valor de observação para as regiões de baixa velocidade foi então redefinido para $< 10\text{km/h}$, 1km/h acima do valor considerado por Monteiro e Araújo (2001) para prática de exercício de corrida, com objetivo de considerar uma possível situação de um

usuário correndo em direção ao ônibus. Foram então observados os valores com velocidade superior aos da velocidade da via (80km/h).

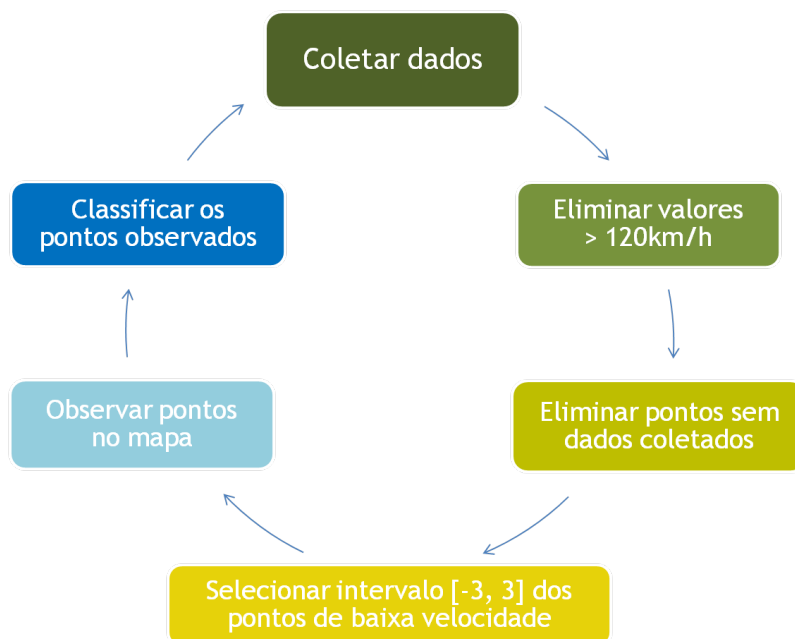


Figura 16 – Processo de classificação dos dados coletados. Fonte: Autor.

A Figura 16 mostra o processo utilizado para a classificação dos dados coletados feito em 6 etapas cíclicas. 1 - Coletar Dados; 2 - Eliminar valores superiores a 120km/h ; 3 - Eliminar pontos sem dados coletados; 4 - Selecionar intervalo $[-3,3]$ dos pontos de baixa velocidade; 5 - Observar pontos no mapa; e 6 - Classificar os pontos coletados.

Como mencionado em 3.3.5, os valores acima de 120km/h foram excluídos, por indicar erros causados por interferências ou erro no sinal de GPS. Foram excluídos também pontos cujos valores de velocidade não foram coletados por algum erro aleatório.

Utilizou-se o site de mapas *Wikimapia*⁷, no nível mais próximo da superfície para identificação dos subconjunto de dados, e um campo para classificação foi criado. Como as linhas são de uso cotidiano do autor, o conhecimento da região permitiu a identificação das características de cada ponto do trajeto. Repetiu-se o procedimento para dados das linhas do tipo Metropolitana 2, pela maior quantidade de pontos (≈ 1000 pontos).

Baseado nas informações da seção 3.4.1 os pontos foram classificados em:

- P — Ponto de Parada;
- S — Semáforo;
- E — Engarrafamento;

⁷ <http://wikimapia.org>

- C — Cruzamento;
- F — Faixa de Pedestre;
- X — Erro do GPS;
- T — Trânsito Normal;

| type | time | latitude | longitude | altitude (m) | speed (km/h) |
|------|------------------|-----------------|-----------------|--------------|--------------|
| T | 10/07/2014 11:29 | -15.901.062.784 | -48.055.142.548 | 1246 | 0 |
| T | 10/07/2014 11:29 | -15.901.031.673 | -48.055.053.883 | 1242 | 5.2 |
| C | 10/07/2014 11:29 | -15.901.006.987 | -48.054.958.982 | 1237 | 3.2 |
| C | 10/07/2014 11:30 | -15.901.037.139 | -48.054.869.783 | 1234 | 2.1 |
| T | 10/07/2014 11:30 | -15.901.088.933 | -48.054.751.505 | 1234 | 5 |
| T | 10/07/2014 11:30 | -15.901.215.203 | -48.054.551.928 | 1233 | 23 |
| T | 10/07/2014 11:30 | -15.901.241.948 | -48.054.311.691 | 1230 | 23.3 |
| T | 10/07/2014 11:30 | -15.901.123.264 | -48.054.217.666 | 1229 | 29.8 |
| T | 10/07/2014 11:30 | -15.900.925.358 | -48.054.184.496 | 1234 | 40.1 |
| T | 10/07/2014 11:30 | -15.900.690.525 | -48.054.196.625 | 1230 | 47 |
| T | 10/07/2014 11:30 | -15.900.463.432 | -48.054.285.625 | 1235 | 48.5 |
| T | 10/07/2014 11:30 | -15.900.227.484 | -48.054.426.271 | 1234 | 108.8 |
| T | 10/07/2014 11:30 | -15.900.005.534 | -48.054.553.003 | 1235 | 33.8 |
| T | 10/07/2014 11:30 | -15.899.781.023 | -48.054.672.511 | 1232 | 100.9 |
| T | 10/07/2014 11:30 | -15.899.535.417 | -48.054.772.208 | 1232 | 35.2 |
| T | 10/07/2014 11:30 | -15.899.272.978 | -48.054.826.035 | 1230 | 53.5 |
| T | 10/07/2014 11:30 | -15.899.036.419 | -48.054.876.987 | 1230 | 96.7 |
| P | 10/07/2014 11:31 | -15.898.575.174 | -48.055.005.841 | 1234 | 4.9 |
| T | 10/07/2014 11:31 | -15.898.424.839 | -48.055.066.499 | 1234 | 32.3 |
| T | 10/07/2014 11:31 | -15.898.253.470 | -48.055.133.047 | 1230 | 36.6 |
| T | 10/07/2014 11:31 | -15.898.043.934 | -48.055.201.736 | 1231 | 43.9 |
| T | 10/07/2014 11:31 | -15.897.672.721 | -48.055.326.172 | 1224 | 52 |
| T | 10/07/2014 11:31 | -15.897.435.089 | -48.055.409.173 | 1225 | 50.1 |
| T | 10/07/2014 11:31 | -15.897.002.288 | -48.055.496.470 | 1222 | 58.8 |
| T | 10/07/2014 11:31 | -15.896.768.018 | -48.055.588.783 | 1221 | 50.1 |

Figura 17 – Enxerto de dados coletados da linha 809 (Recanto das Emas / Rodoviária do Plano Piloto) com os 25 primeiros pontos de uma viagem. Fonte: Autor.

A Figura 17 é uma amostra dos primeiros 25 pontos de uma viagem com 441 pontos coletados da linha 809. Em destaque uma região de baixa velocidade classificada como parada. É possível perceber também que os pontos de baixa velocidade iniciais não foram classificados como paradas e sim como cruzamentos e trânsito comum.

Com base nas informações levantadas e com a coluna de classificação dos pontos completa, fez-se uma análise do comportamento da curva de velocidade para os componentes do sistema viário e do transporte coletivo, apresentada na Figura 18.

Apesar de existirem valores discrepantes, constatou-se que, nas regiões de paradas, os pontos anteriores a parada têm, na maioria das vezes, velocidade superior em relação aos pontos pós-parada. A constatação advém da realidade pois, é necessário um maior tempo para reinserção dos ônibus no trânsito normal nos pontos de parada com recuo e, além disso, o peso do veículo dificulta a re-aceleração inclusive nos pontos sem recuo.

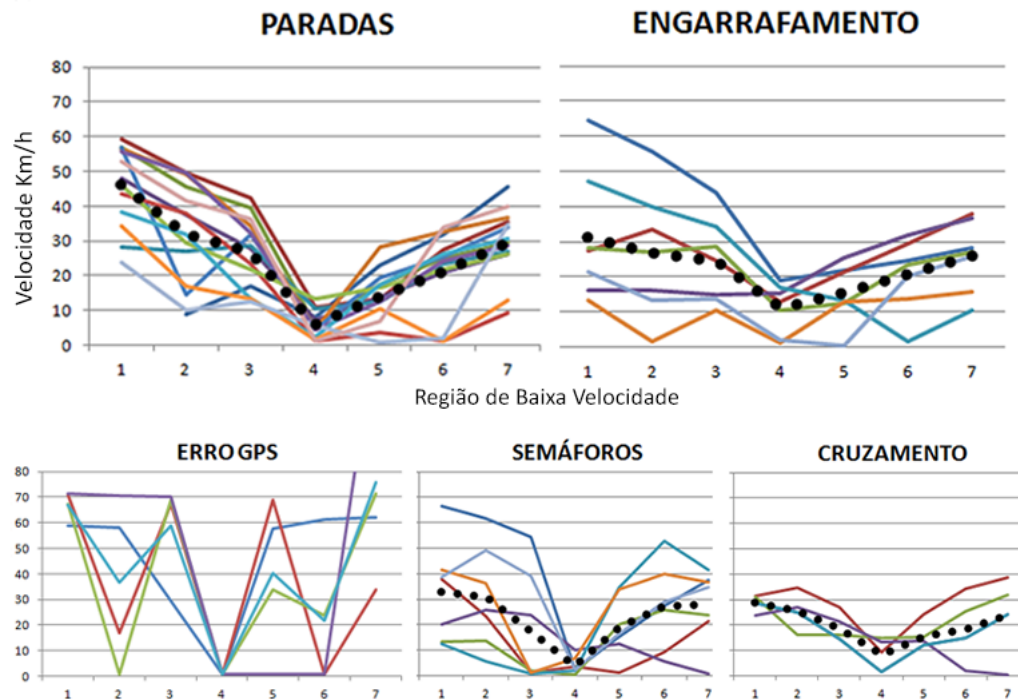


Figura 18 – Comparação das regiões de baixa velocidade com dados da linha 805.1. Fonte: Autor.

Os pontos de semáforos se comportam quase que simetricamente em relação ao ponto central. A simetria ocorre porque o sinal luminoso indicativo é visível a uma distância maior não apenas pelo motorista dos coletivos, mas também pelos outros motoristas que circulam na via. Isso faz com que todos reduzam juntos a velocidade, e na re-aceleração, os veículos ao redor limitam mutualmente suas velocidades.

Os engarrafamentos foram caracterizados também pela simetria e por ter velocidade média menor com oscilações inconstantes. Quando o trânsito está intenso, motoristas reduzem velocidade pela proximidade com outros veículos, forçando-os a andar com velocidades semelhantes. Todavia, todas as pequenas interferências internas, como por exemplo, motoqueiros entre faixas de rolagem, outros veículos com trocas de faixas e veículos pesados geram oscilações na velocidade dos ônibus.

Os cruzamentos tem comportamento espelhado em relação aos pontos de parada. Nas regiões com cruzamentos, a velocidade após o ponto central é maior do que a anterior, isso se dá porque a sinalização de preferência nessas regiões exige a redução de velocidade antes de se atravessar e, como a distância em um cruzamento é curta, é necessário uma aceleração maior para a reinserção no trânsito comum.

Os erros de coleta do GPS mostram claramente sua aleatoriedade, com grandes variações de velocidade de oscilações. Como apresentado em 1.5.3 e 3.3.5, os erros possuem muitas fontes de origem e a de identificação com maior facilidade são as relacionadas às rotas dos aviões e às torres de alta tensão, pois possuem coordenadas conhecidas.

A Figura 19 mostra todos os pontos de baixa velocidade extraídos de uma viagem com a linha 805.1 (Recanto das Emas / Taguatinga Centro), do tipo Metropolitana 3, com a marca d'água indicando a classificação dos pontos.

Os pontos foram classificados conforme o processo *ad hoc*. Esse levantamento auxiliou a observação das características de movimentação nas regiões de baixa velocidade e dos trechos com interferências.

Munido das informações previamente apresentadas buscou-se então o desenvolvimento de um modelo que pudesse representar computacionalmente os padrões observados. Na seção 3.4.3 apresenta-se o modelo desenvolvido.

3.4.3 Do Modelo Desenvolvido

Os pontos de parada foram os elementos predominantes nas regiões de baixa velocidade e com curvas de alteração com uniformidade superior aos demais elementos, contudo, semelhante às regiões semaforizadas. Na seção 3.4.4 a semelhança fica evidenciada pela análise dos resultados.

A transformada de Fourier apresentada no Capítulo 2 é um poderoso recurso matemático com largo uso no processamento de sinais digitais. O vetor de velocidade das viagens realizadas foi visto sob a ótica de um sinal e o recurso da transformada serviu como fonte de uma análise gráfica dos dados.

Ainda conforme o Capítulo 2, a normalização dos dados referente a velocidade de tráfego pode melhorar a taxa de convergência e o desempenho de modelos. Sendo assim, os dados foram normalizados anteriormente à aplicação da transformada. Foi utilizado apenas a parte real de Fourier, descartado o par imaginário.

A aplicação da transformada exhibe os dados sob a perspectiva da frequência, onde picos maiores indicam uma maior ocorrência de algum padrão e picos menores, ocorrências menores. Para termos práticos, a transformada de Fourier foi aplicada sobre os dados utilizando-se do algoritmo da transformada rápida de Fourier, cujo funcionamento foi abordado no Capítulo 2.

Ao observar a plotagem do valor, não foi obtido nenhuma informação visualmente relevante. A Figura 20 mostra alguns exemplos de velocidade (em vermelho tracejado) e sua transformada (em azul contínuo).

Com o objetivo de se trazer valores com significado identificável no domínio do tempo, buscou-se então um método de destacar as regiões semelhantes aos pontos de parada. Foi necessário a descoberta de elementos que correlacionassem o padrão de curva dos pontos de parada com os dados de velocidade.

Utilizou-se então o recurso matemático da multiplicação vetorial entre o vetor que

representa a velocidade e os pontos de parada. A multiplicação vetorial permite encontrar um vetor ortogonal a ambos os vetores, comumente utilizado para descrever os efeitos de

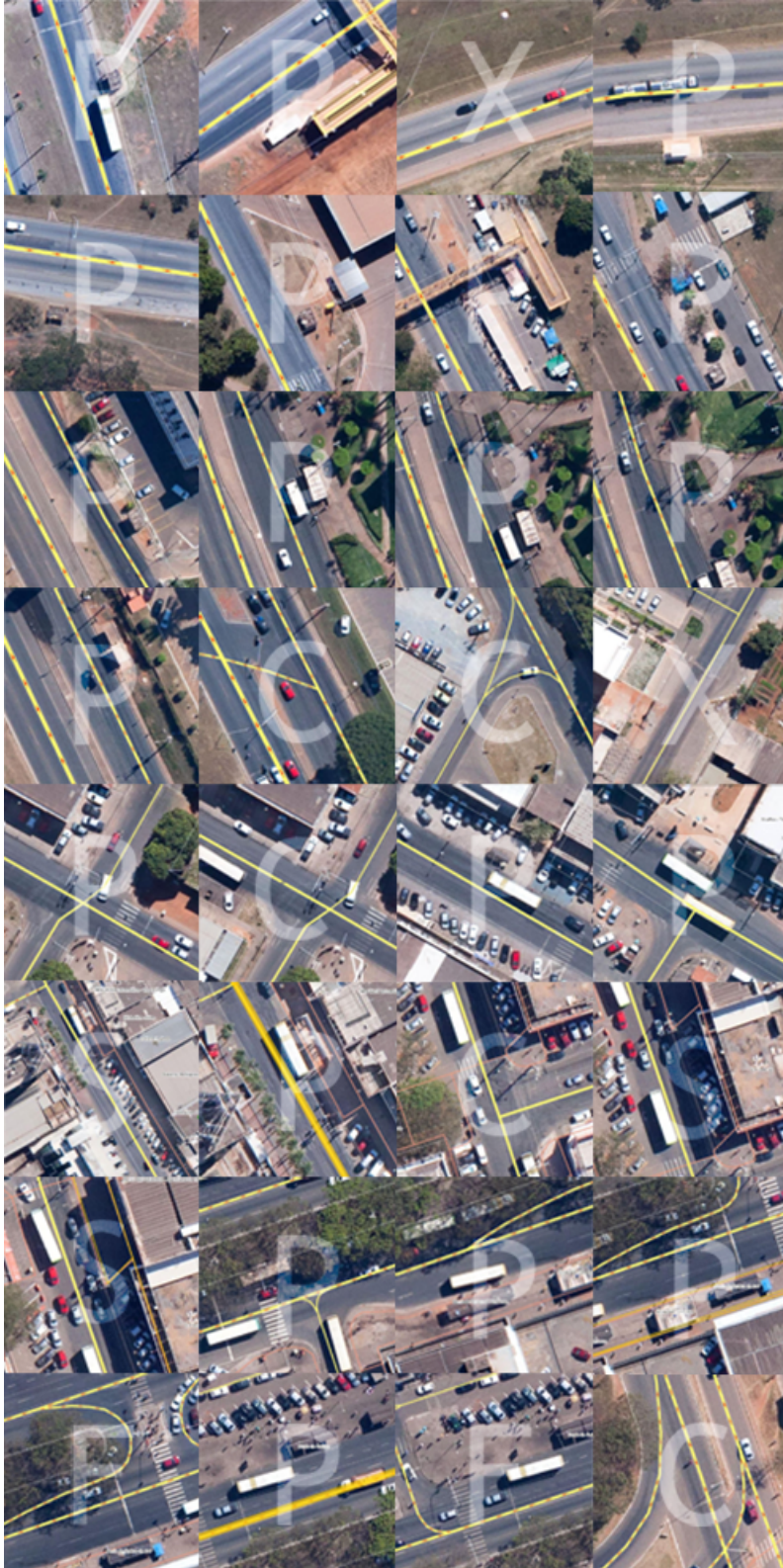


Figura 19 – Fotos de satélite dos pontos de baixa velocidade da linha 805.1 do tipo Metropolitana 3. Fonte: Imagens de (WIKIMAPIA, 2012) adaptadas pelo autor.

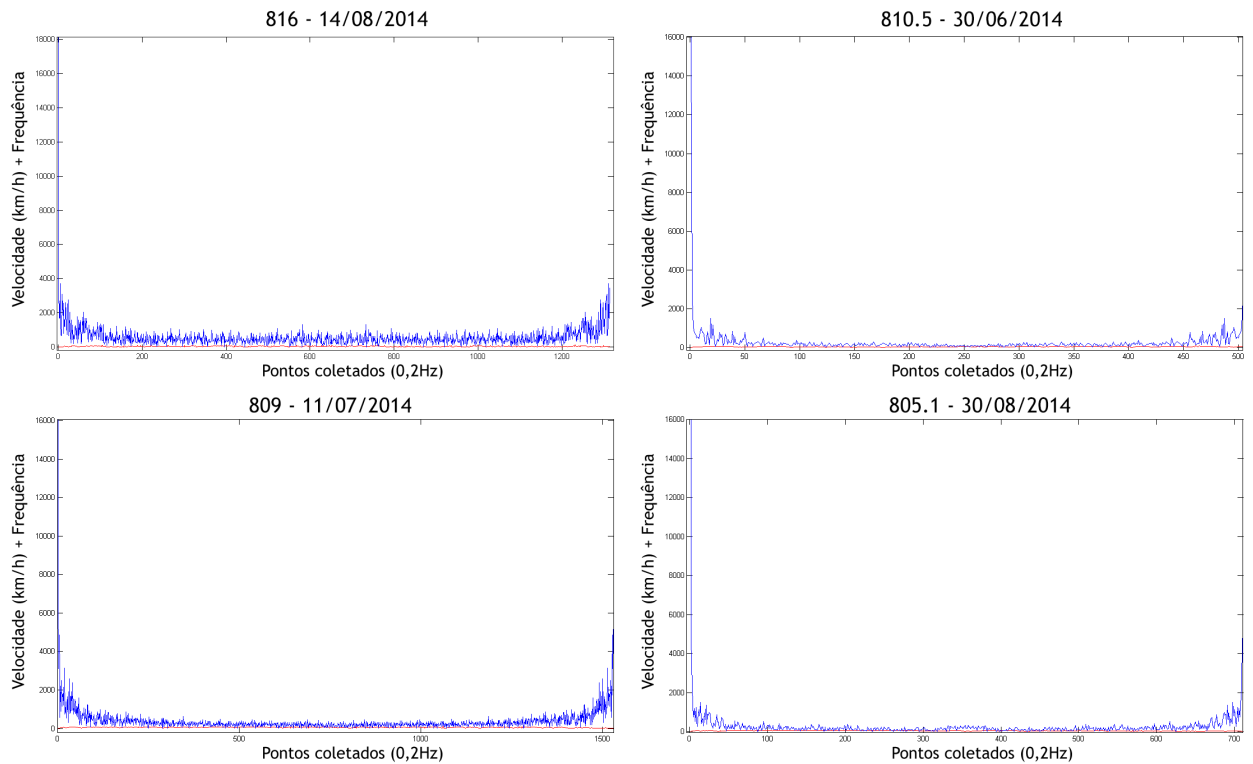


Figura 20 – Vetor de velocidade para amostra das linhas 809, 810.5 e 816 (Metropolitana 2), e 805.1 (Metropolitana 3) e sua transformada. Fonte: Autor.

forças (THOMAS et al., 2009).

Foi criado um vetor com 7 pontos construído a partir da mediana dos pontos de diversos pontos de parada para representá-los. Como para obter o produto vetorial é necessário que estejam sob forma $a_{nm} \times b_{mn}$, o vetor de paradas foi transposto. Abaixo o modelo criado:

1. Tomar o valor absoluto da transformada de Fourier do vetor de velocidade normalizado;
2. Estabelecer um vetor representante dos pontos de parada;
3. Aplicar a transformada de Fourier para ambos os vetores;
4. Realizar o produto vetorial $VelocidadeTransformada \times ParadasTransformada^T$;
5. Calcular a média da transposta da matriz resultante do produto vetorial;
6. Aplicar a transformada inversa do vetor médio no domínio da frequência;
7. Normalizar a saída dividindo-a pelo vetor de velocidade.

Primeiramente, foi utilizado como base o vetor de velocidade de pontos de parada da linha 809, escolha pautada na extensão da linha e por esta linha atravessar trechos urbanos e rodoviários, ou seja, com maior variedade de pontos de parada.

Como resultado, obteve-se um gráfico onde todas as regiões de baixa velocidade são exibidas como picos e as regiões de trânsito minimizadas, apresentado na Figura 21.

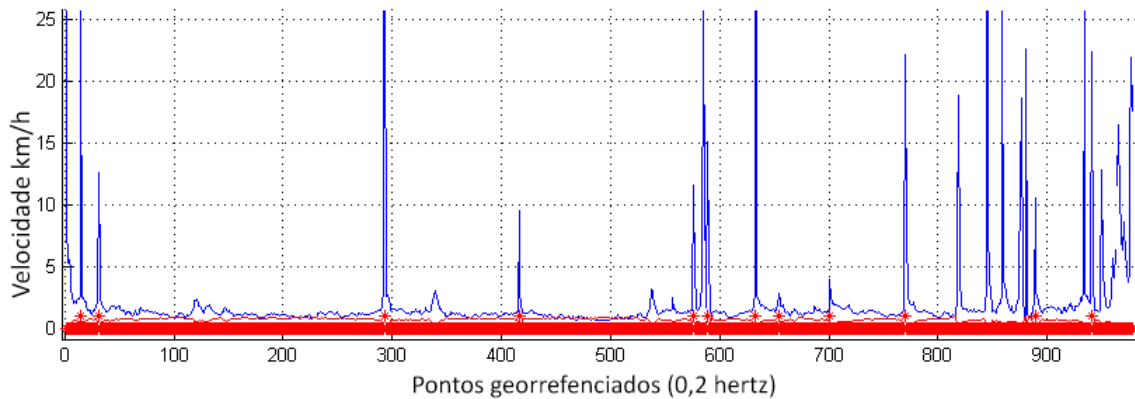


Figura 21 – Velocidade (vermelho), Transformada de Fourier (azul) e Pontos de Parada (asteriscos) da linha 810.5. Fonte: Autor.

Observa-se que as curvas nas regiões com pontos de parada tem comportamento bastante semelhante no espectro, apesar dos valores no eixo y terem amplitudes diferentes. Já nos outros componentes as curvas possuem deformidades ou são acompanhadas por outro pico próximo.

3.4.4 Resultados Obtidos

O modelo desenvolvido se mostrou inconcludente para regiões com a combinação dos elementos semáforos, cruzamentos e faixa de pedestres. Nas regiões com os pontos de parada sem a interferência dos outros elementos o modelo mostrou-se efetivo.

Na Figura 22 apresenta-se uma amostra dos resultados obtidos com a linha 810.5 (Recanto das Emas / Lago Norte – Tipo Metropolitana 2), em vermelho a velocidade e em azul a transformada. Na figura, a primeira linha mostra paradas de ônibus e o respectivo comportamento da curva. Na segunda, há os outros elementos encontrados nesta viagem e as curvas resultantes.

Na curva correspondente ao cruzamento, há um pico anterior ao ponto central da região, indicando a redução da velocidade em duas etapas. O que a diferencia dos picos de parada de ônibus é o abaulamento da curva de velocidade.

Na correspondente ao semáforo, percebe-se que o pico tem forma diferente dos demais picos, com relação direta com fluxo do trânsito reduzido, e um trecho mais longo com velocidade baixa.

Por último, para a faixa de pedestre obteve-se uma curva muito diferente das demais pela interferência da presença dos elementos semáforo e cruzamento a poucos metros de distância. O fato de estar na região de desembarque dessa viagem interferiu no ponto pela mudança brusca de velocidade.

A Figura 23 mostra o *script* Octave/Matlab desenvolvido para aplicação do modelo desenvolvido e permitir a análise realizada.

Os valores que o algoritmo apresenta evidenciam as regiões de pontos de parada, entretanto outras regiões de baixa velocidade também ficam evidenciadas. É necessário então uma análise da amplitude para separação entre o que é ou não parada.

Analisando uma série de viagens, percebeu-se a necessidade de um limiar no eixo y pois, mesmo após a aplicação do modelo, pequenos picos que não representam pontos de baixa velocidade apareceram. Estabeleceu-se então o limite de corte em $y = 7$. Para realizar o corte nesse limite, foi realizado uma análise numérica da aplicação do modelo nas linhas 809, 816, 813, 810.5, 821, 099.1, 805.1, 042, 805.3, 225, procurando uma forma de minimizar os falsos positivos. Deve-se salientar que este corte foi realizado com base nesta amostra e não pode ainda ser generalizado. Estudos mais aprofundados devem ser feitos para otimizá-lo ou correlacioná-lo às características dos dados.

Após a nova análise, com o critério de exclusão adicionado, foram obtidos os seguintes resultados:

A Figura 24 mostra a quantidade de pontos de paradas efetivamente realizadas durante as viagens, a quantidade de paradas indicadas pelo método, a quantidade de falsos

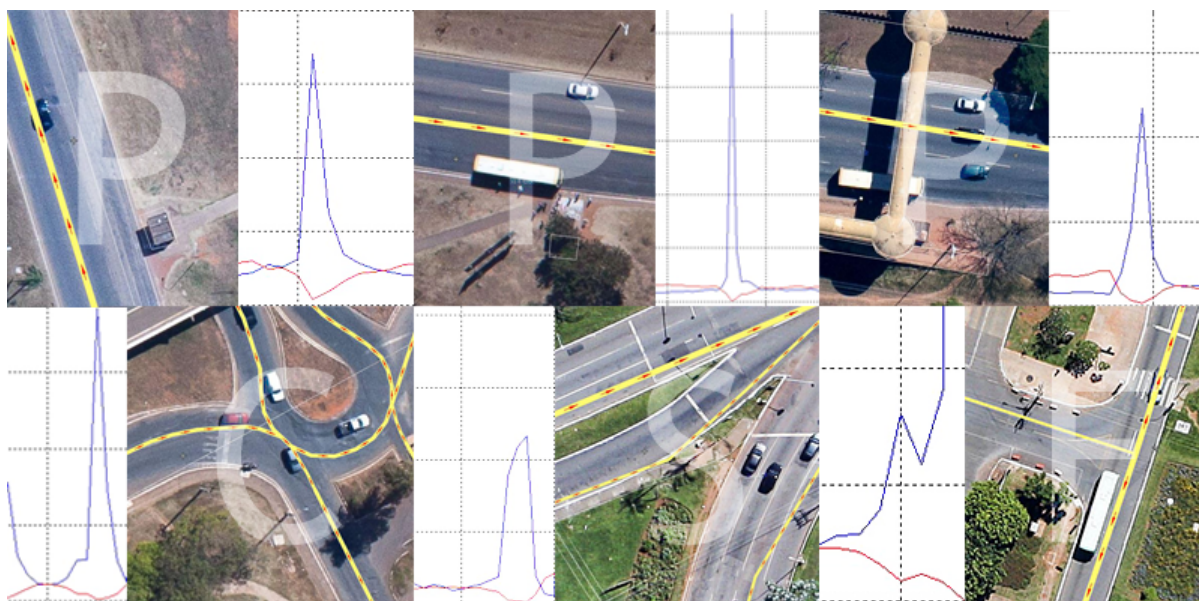


Figura 22 – Amostra de três paradas, um cruzamento, um semáforo e uma faixa de pedestre da linha 810.5. Fonte: Autor com imagens de satélite de ([WIKIMÁPIA, 2012](#))

```

%Seleção do vetor de velocidade
speed = data(:,2);
%Normalização
speedN = (speed - max(speed))/(max(speed)-min(speed)) + 1;
%Transformada de Fourier
speedT = abs(fft(speedN));
%Vetor de paradas
paradas = [23.5; 31.4; 29; 5.9; 13.2; 21.4; 26.4];
%Normalização
paradasN = (paradas - max(paradas))/(max(paradas)-min(paradas)) + 1
%Transformada de Fourier
paradasT = abs(fft(paradasN));
%Produto Vetorial no domínio da frequência
filtrada = speedT*paradasT';
%Média da Matriz filtrada
media = mean(filtrada');
%Retorno ao domínio do tempo
inv = abs(ifft(media));
%Redução do resultado á escala da velocidade
paradaId = inv./(speedN');
%Plotagem dos dados
hold on;
plot(paradaId);
plot(speedN, 'r');

%Pontos de Parada
P8105 = data(:,1)
plot(P8105, 'r*');
grid();

```

Figura 23 – Script Octave/Matlab para operação do método e apresentação dos dados.
Fonte: Autor.

positivos (pontos que não eram pontos de parada mas foram identificados tal como), a quantidade de falsos negativos (pontos que eram paradas mas foram identificados como se não fossem), o percentual de falsos positivos e falsos negativos, e o total de pontos coletados.

No campo dos falsos positivos, observa-se na Figura 24 que o resultados da linha 8 teve erro discrepante em relação aos outros. São dados da linha 042 expressa no resultado é uma linha circular do tipo Urbana 3, que passa por todo o Eixo Monumental, com contorno no Setor Comercial e Bancário Sul. Essa região possui grandes antenas de radiotransmissão (incluindo a Torre de TV de Brasília) e muitos trechos com mudança de direção de rota (cruzamentos com semáforos e viadutos), essa combinação de elementos fez com que o modelo não distinguísse pouco mais de 40% das regiões de baixa velocidade.

Já em relação aos falsos negativos, a linha 9 contém a maior taxa de erro (33%). Os valores correspondem à linha 805.1, do tipo Metropolitana 2. O modelo indicou apenas 3

| Linhas | Paradas da Viagem | Paradas Indicadas Pelo Método | Falsos Positivos | Falsos Negativos | % Falsos Positivos | % Falsos Negativos | Pontos Totais |
|--------------|-------------------|-------------------------------|------------------|------------------|--------------------|--------------------|---------------|
| 1 | 33 | 31 | 0 | 2 | 0 | 6,45 | 1313 |
| 2 | 21 | 24 | 3 | 0 | 12,5 | 0 | 1257 |
| 3 | 15 | 19 | 4 | 0 | 21,1 | 0 | 1183 |
| 4 | 15 | 18 | 3 | 0 | 16,7 | 0 | 1049 |
| 5 | 12 | 19 | 7 | 0 | 36,8 | 0 | 979 |
| 6 | 13 | 17 | 4 | 0 | 23,5 | 0 | 612 |
| 7 | 7 | 6 | 0 | 1 | 0 | 16,67 | 578 |
| 8 | 8 | 14 | 6 | 0 | 42,9 | 0 | 428 |
| 9 | 4 | 3 | 0 | 1 | 0 | 33,33 | 279 |
| 10 | 7 | 9 | 2 | 0 | 22,2 | 0 | 267 |
| MÉDIA | 13,5 | 16 | 2,9 | 0,4 | 17,57 | 5,645 | 794,5 |

Figura 24 – Resultados obtidos para os pontos de parada das linhas 809, 816, 813, 810.5, 821, 099.1, 805.1, 042, 805.3, 225. Fonte: Autor.

pontos de parada e haviam 4 pontos, ou seja, 1 ponto do tipo parada não foi corretamente classificado. Não houve justificativa para o ocorrido.

Considerando a taxa de acertos e a taxa de erros, percebe-se que o modelo desenvolvido é capaz de identificar a grande maioria dos pontos de paradas (cerca de 95%), entretanto, sob a ótica da capacidade de diferenciação dos outros elementos componentes do sistema viário, o modelo pode ser melhorado, pois pouco mais de 80% do total de pontos indicados eram de fato pontos de parada. Excluindo-se os pontos extremos, os dados obtidos foram:

| Linhas | Paradas da Viagem | Paradas Indicadas Pelo Método | Falsos Positivos | Falsos Negativos | % Falsos Positivos | % Falsos Negativos | Pontos Totais |
|--------------|-------------------|-------------------------------|------------------|------------------|--------------------|--------------------|---------------|
| 1 | 33 | 31 | 0 | 2 | 0 | 6,45 | 1313 |
| 2 | 21 | 24 | 3 | 0 | 12,5 | 0 | 1257 |
| 3 | 15 | 19 | 4 | 0 | 21,1 | 0 | 1183 |
| 4 | 15 | 18 | 3 | 0 | 16,7 | 0 | 1049 |
| 5 | 12 | 19 | 7 | 0 | 36,8 | 0 | 979 |
| 6 | 13 | 17 | 4 | 0 | 23,5 | 0 | 612 |
| 7 | 7 | 6 | 0 | 1 | 0 | 16,67 | 578 |
| 10 | 7 | 9 | 2 | 0 | 22,2 | 0 | 267 |
| MÉDIA | 15,375 | 17,875 | 2,875 | 0,375 | 16,6 | 2,89 | 904,75 |

Figura 25 – Resultados refinados para os pontos de parada das linhas 809, 816, 813, 810.5, 821, 099.1, 805.1, 042, 805.3, 225. Fonte: Autor.

A Figura 25 mostra que com a exclusão dos pontos extremos o ganho do modelo não foi muito significativa, sendo a taxa de falsos positivos reduzida de 17,57% para 16,6% e a de falsos negativos de 5,65% para 2,89%.

4 Considerações Finais

Este trabalho abordou os problemas relacionados à questão de mobilidade urbana no mundo, Brasil e principalmente no Distrito Federal, alarmando sobre a situação crítica em que se encontra e a necessidade de alternativas com urgência. Apresentou-se então alternativas tecnológicas no contexto de Sistemas Inteligentes de Transporte — *Intelligent Transportation System* (ITS) com o propósito de amenização do problema. Foi exposto também o fato de que para a implantação de ITS no DF seriam necessários uma mudança cultural e realização de alguns passos tecnológicos.

O objetivo geral do trabalho foi fornecer dados para o aumento da confiabilidade no transporte público coletivo do Distrito Federal. Diante das inúmeras necessidades, para o escopo do trabalho, optou-se pelos dados de mapeamento dos pontos de parada, pois atualmente são coletados de modo manual e têm manutenção trabalhosa.

A criação de um modelo de identificação e mapeamento dos pontos serve de insumo para criação e análise de outros dados do STPC. A distribuição do trabalho de coleta automatizada entre os usuários do aplicativo proposto foi a forma encontrada para aumentar a confiabilidade dos dados.

Em paralelo ao trabalho, dados oficiais sobre a movimentação dos ônibus, que devem ser públicos conforme edital de estabelecimento o Sistema Integrado de Mobilidade do Distrito Federal, foram solicitados, mas infelizmente não foram fornecidos pela autarquia responsável.

A indisponibilidade dos dados ajudou a fortalecer o entendimento de que o uso de *crowdsourcing* era a melhor alternativa. Esta alternativa, ao longo da evolução do trabalho mostrou-se ser superior até mesmo aos dados oficiais por permitir que no futuro o modelo seja estendido a qualquer STPC por ônibus, independentemente do uso de equipamentos, como exposto nas seções [1.5.3](#), [1.5.4](#) e [1.5.5](#).

O trabalho foi dividido em quatro etapas a fim de entender toda a problemática e trazer uma solução tecnológica aderente. As etapas foram: consolidar o entendimento sobre as necessidades mínimas dos usuários do transporte público coletivo do Distrito Federal; definir requisitos para ferramenta de coleta e divulgação de dados georreferenciados de movimentação pelo transporte público por ônibus; construir protótipo de coleta dos dados para dispositivos móveis; e elaborar modelo de reconhecimento de pontos de parada por padrões.

O cruzamento de dados de diversas fontes em nível local, nacional e mundial permitiu descobertas de informações valiosas sobre o tamanho do problema de mobilidade

como, por exemplo, a área ocupada pelos carros no Distrito Federal (engarrafamento potencial) apresentado na Etapa 1 (seção 3.1) e a eminente situação de imobilidade urbana.

Após o esmiuçamento do problema e das definições mínimas de requisitos realizada na Etapa 2 (seção 3.2), um protótipo para entendimento da dinâmica foi implementado. Foi durante esta etapa que o escopo do trabalho foi efetivamente delimitado no mapeamento dinâmico de pontos de parada, visto que é um pilar de viabilidade de outras soluções inteligentes de transporte coletivo.

A busca pela possibilidade de inclusão dos variados perfis de usuários do transporte público fez que se escolhesse uma tecnologia multiplataforma centrada no uso de recursos de dispositivos dos usuários. Assim a escolha do *framework Cordova* e de outras tecnologias *web-based* foi feita e o seus usos compreendidos ainda dentro da Etapa 2 (seção 3.2).

A realização da Etapa 3 (seção 3.3) foi fundamental para o refinamento da Etapa (seção 3.2) e o real entendimento do problema. Com o protótipo em mãos, pôde-se compreender as questões que influenciavam a coleta de dados e os problemas relacionados na capacidade de diferenciação dos pontos de parada dos outros componentes do sistema viário.

As decisões arquiteturais apresentadas na subseção 3.3.2.2 foram levantadas e aprofundadas com foco cada vez maior na forma de interação dos usuários e na otimização dos usos de recursos dos *mobiles*, tentando superar suas heterogeneidades. Os recursos dos *frameworks* utilizados foram abordados e justificados.

Durante esse processo, foram feitas descobertas importantes como, por exemplo, a influência do tráfego aéreo e de linhas de alta tensão no sinal das linhas de ônibus (seção 3.3.5), e o tempo mínimo de embarque e desembarque (seção 3.4.2).

Por fim, na Etapa 4 3.4, fez-se um estudo profundo das características de cada componente do sistema viário para conseguir abstrair as características preponderantes para a construção do modelo. Munido de todas as informações levantadas ao longo do trabalho, e lançando mão dos recursos matemáticos apresentados no Capítulo 2, chegou-se no modelo apresentado na seção 3.4.3. O modelo desenvolvido foi uma forma encontrada de representar computacionalmente as informações advindas de uma análise *ad hoc* e da experiência direta com o transporte público do Distrito Federal

4.1 Trabalhos Futuros

O presente trabalho foi baseado exclusivamente nos dados de um único usuário em 112 viagens, e 41 linhas do total de 799 componentes do STPC/DF, que abrangeram somente três dos seis tipos de linhas. As características do relevo não foram consideradas, visto que o Distrito Federal se localiza no Planalto Central brasileiro, não havendo em

nenhuma das viagens aclives ou declives relevantes.

O trabalho pode embasar diversos tipos de trabalho sobre Mobilidade Urbana e Sistemas Inteligentes de Transporte.

Percebe-se a necessidade de se integrar o modelo para identificação desenvolvido ao aplicativo e o sistema web. Assim como explorá-lo profundamente com dados reais de diversos usuários simultâneos, e com todos os tipos de linhas.

É necessário também testar a eficiência do modelo proposto com diversos vetores que representam os pontos de parada e com novas formas de definição do vetor além da mediana dos pontos. Outro trabalho possível é utilizar e explorar filtros para destaque dos padrões de identificação dos pontos de parada.

A pesquisa para automatização da descoberta do limiar de corte apresentado na Seção 3.4.4 para inclusão ou exclusão dos picos apresentados graficamente pelo modelo pode aumentar consideravelmente a eficiência do modelo proposto neste trabalho de graduação. O modelo proposto pode utilizá-lo como fator de ajuste, minimizando os falsos positivos.

As diferenças de padrões entre as paradas com e sem recuo ficaram fora do escopo. Durante o desenvolvimento do modelo, considerou-se o uso do recurso Compasso dos *smartphones* para diferenciação do recuo com base no movimento de frenagem com deslocamento no sentido da parada, e aceleração no sentido da via, entretanto foi descartado pela imprecisão dos valores retornados pelo compasso e por ter variação dependente do modelo dos dispositivos.

Durante a pesquisa que conduziu ao uso da transformada de Fourier como instrumento de análise, constatou-se a presença de outros métodos que utilizam o domínio da frequência ou outros domínios, como as transformadas Wavelet (ondeletas) e de Laplace. Aplicar novos métodos pode melhorar a assertividade do modelo.

As outras estórias de usuários que chegaram a ser consideradas mas ficaram fora do escopo do trabalho (informação da lotação dos ônibus – 3.2.2.1 e informação da demanda flutuante – 3.2.2.3) são também de grande relevância para contribuir para iniciativas de *ITS*.

A lotação do ônibus não foi abordada devido a imprecisão que apenas um usuário traz à medição. Supõe-se que ela pode ter influência significativa na desaceleração e aceleração pois quanto maior o peso do ônibus, maior a força exigida para se movimentar.

Unir as informações coletadas pelo aplicativo desenvolvido com as informações do Centro de Controle de Operações do DFTrans e das empresas de ônibus é um trabalho futuro de grande valor, pois permitirá que ambos ampliem sua confiabilidade.

A *gameficação* do aplicativo pode ser uma alternativa para estimular seu uso e

torná-lo fonte de renda. Também é importante integrar o aplicativo com ferramentas de cartografia e exibição de mapas para melhorar a interação dos usuários. Disponibilizá-lo para outras plataformas também ajudará a captar mais usuários.

Estudar o modelo proposto em ambientes adversos, como regiões com relevo irregular, vias de grandes metrópoles ou em contextos diferentes como o transporte de trilhos permitirá a generalização do modelo a um nível não apenas regional mas global.

O desenvolvimento de sistemas de correção de erros de medições via satélite e das interferências ocasionadas por fontes eletromagnéticas e a elaboração de equipamentos e algoritmos para monitoramento do tráfego são complementos importantes ao trabalho realizado. A aplicação de diversos métodos de aprendizado de máquina sobre os dados coletados e a comparação de eficiência entre os métodos é fundamental para a evolução do trabalho apresentado e sua competitividade com outros disponíveis nas lojas de aplicativos.

Fora da área tecnológica, há estudos a serem realizados sobre colaboração para mobilidade urbana, impacto financeiro na sociedade causado pelo uso do aplicativo, impacto sobre o meio-ambiente do estímulo ao transporte coletivo, mudanças culturais que desestimulem o transporte individual e valorizem o coletivo, formas de redução do tempo de espera nos pontos de parada.

Referências

- ANDRADE, A. W. et al. Portabilidade entre dispositivos móveis: aplicações multiplataformas e adaptadas ao contexto. *VI Congresso Internacional de Software Livre e Governo Eletrônico*, 2013. Citado 2 vezes nas páginas 48 e 49.
- ANGULARJS. *Developer Guide / Templates*. 2014. Online. Disponível em: <<https://docs.angularjs.org/guide/templates>>. Citado na página 52.
- ANTP, A. Transporte humano: cidades com qualidade de vida. *Revista dos Transportes Públicos - ANTP - Ano 19 - 1997 - 3º trimestre*, São Paulo, 1997. Citado na página 21.
- BECK, K. Embracing change with extreme programming. *Computer*, v. 32, n. 10, p. 70–77, Oct 1999. ISSN 0018-9162. Citado 2 vezes nas páginas 44 e 45.
- BOLZAN, M. J. A. Análise da transformada em ondas aplicadas em sinal geofísico. *Revista brasileira de ensino de física*, SciELO Brasil, v. 26, n. 1, p. 37–41, 2004. Citado na página 33.
- BRABHAM, D. Moving the crowd at istockphoto: The composition of the crowd and motivations for participation in a crowdsourcing application. *First Monday*, v. 13, n. 6, 2008. ISSN 13960466. Disponível em: <<http://pearl.accc.uic.edu/ojs/index.php/fm/article/view/2159>>. Citado na página 26.
- BRASIL. *Normas para o Projeto das Estradas de Rodagem*. Rio de Janeiro, RJ, 1973. Citado na página 48.
- BRASIL. *Constituição da República Federativa do Brasil*. Brasília, DF: Palácio do Planalto, 1988. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constitui%C3%A7ao.htm>. Citado na página 19.
- BRASIL. *Definição de transporte coletivo*. Brasília, DF, 2006. Disponível em: <http://bd.camara.gov.br/bd/bitstream/handle/bdcamara/1720/definicao_transporte_borges.pdf>. Citado na página 19.
- BRASIL. *Controle Social: Orientações aos cidadãos para participação na gestão pública e exercício do controle social*. Brasília, DF: Controladoria-Geral da União – CGU, 2011. (Olho Vivo no dinheiro público). Citado na página 25.
- BRASIL. *Política Nacional de Mobilidade Urbana - Lei Nº 12.587 de 3 de Janeiro de 2012*. Diário Oficial da União, 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/12587.htm>. Citado 2 vezes nas páginas 20 e 24.
- CELINO, I. et al. Urbanopoly – a social and location-based game with a purpose to crowdsource your urban data. In: *Privacy, Security, Risk and Trust (PASSAT), 2012 International Conference on and 2012 International Conference on Social Computing (SocialCom)*. [S.l.: s.n.], 2012. p. 910–913. Citado na página 25.
- CNT, C. Passageiros, corredores de transporte. Pesquisa CNT. 2002. Citado na página 20.

- COCHRAN, W. et al. What is the fast fourier transform? *Proceedings of the IEEE*, v. 55, n. 10, p. 1664–1674, Oct 1967. ISSN 0018-9219. Citado na página 34.
- CONNORS, A.; SULLIVAN, B. Mobile web application best practices. *W3C Recommendation*, 2010. Disponível em: <<http://www.w3.org/TR/2010/REC-mwabp-20101214>>. Citado 2 vezes nas páginas 48 e 51.
- CONTRAN, C. *Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito Volume IV - Sinalização Horizontal*. 1ª. ed. [S.l.], 2007. Disponível em: <http://www.denatran.gov.br/publicacoes/download/manual_horizontal_resolucao_236.pdf>. Citado na página 64.
- CONTRAN, C. *Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito Volume V - Sinalização Semafórica*. 1ª. ed. [S.l.], 2014. Disponível em: <http://www.denatran.gov.br/download/resolucoes/resolucao4832014_anexo.pdf>. Citado na página 64.
- CORBUSIER, L. *A carta de Atenas*. São Paulo: Editora de Humanismo, Ciência e Tecnologia HUCITEC, 1943. Citado na página 21.
- COVER, R. *W3C Document Object Model (DOM)*. [S.l.], 2003. Disponível em: <<http://xml.coverpages.org/dom.html>>. Citado na página 51.
- DETRAN/DF. *Frota de Veículos Registrados no Distrito Federal*. [S.l.], 2014. Disponível em: <<http://www.detran.df.gov.br/images/04%20-%20Abril%20Frota.pdf>>. Citado 3 vezes nas páginas 11, 38 e 39.
- DISTRITO FEDERAL. *Decreto nº 30.584, de 16 de julho de 2009. Aprova o regulamento do Sistema de Transporte Público Coletivo do Distrito Federal, instituído pela Lei Orgânica do Distrito Federal*. Brasília, DF: Diário Oficial do Distrito Federal, 2009. Citado 3 vezes nas páginas 19, 24 e 38.
- DISTRITO FEDERAL. *Plano Diretor de Transporte Urbano e Mobilidade do Distrito Federal e Entorno*. Brasília, DF, 2010. Disponível em: <http://editais.st.df.gov.br/pdtu/final/relatorio_final.pdf>. Citado 2 vezes nas páginas 39 e 40.
- DISTRITO FEDERAL. Edital de licitação do sistema de transporte coletivo do distrito federal. In: _____. Brasília, DF: Diário Oficial do Distrito Federal, 2012. Anexo II 5.1., cap. Manual dos Padrões Técnicos dos Veículos do STPC/DF. Citado na página 27.
- DISTRITO FEDERAL. *Dados Relativos ao Transporte Público Coletivo Rodoviários do Distrito Federal*. [S.l.], 2013. Disponível em: <<http://www.dftrans.df.gov.br/informacoes/dados-sobre-o-transporte-publico-coletivo-rodoviario-do-df.html>>. Citado na página 39.
- DISTRITO FEDERAL. *Pontos de Parada*. SAIN - Estação Rodoferroviária - Ala Sul - Sobreloja - Brasília, DF., 2013. Disponível em: <<http://www.dftrans.df.gov.br/servicos/pontosdeparada.html>>. Citado 2 vezes nas páginas 11 e 62.
- DISTRITO FEDERAL. *Serviço Convencional*. SAIN - Estação Rodoferroviária - Ala Sul - Sobreloja - Brasília, DF., 2013. Disponível em: <<http://www.dftrans.df.gov.br/transportes/convencional.html>>. Citado na página 61.
- DISTRITO FEDERAL. *Estrutura*. [S.l.], 2014. Disponível em: <<http://www.metro.df.gov.br/sobre-o-metro/estrutura.html>>. Citado na página 39.

- ERIC, G. C. S. Towards a characterization of crowdsourcing practices. *Journal of Innovation Economics & Management*, n. 7, p. 93–107, 2011. Disponível em: <<http://www.cairn.info/revue-journal-of-innovation-economics-2011-1-page-93.htm>>. Citado na página 25.
- ESBJÖRNSSON, M.; ÖSTERGREN, M. Issues of spontaneous collaboration and mobility. In: *in: Spontaneti'02, workshop proceedings on Supporting Spontaneous Interaction in Ubiquitous Computing Settings, at UBICOMP'02*. [S.l.: s.n.], 2002. Citado na página 26.
- ESTELLÉS-AROLAS, E.; GONZÁLEZ-LADRÓN-DE-GUEVARA, F. Towards an integrated crowdsourcing definition. *J. Inf. Sci.*, Sage Publications, Inc., Thousand Oaks, CA, USA, v. 38, n. 2, p. 189–200, abr. 2012. ISSN 0165-5515. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1177/0165551512437638>>. Citado na página 25.
- FIELDING, R. T. *Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures*. Tese (Doctoral dissertation) — University of California, Irvine, CA., 2000. Citado na página 57.
- GAMMA, E. et al. *Design Patterns: Elements of Reusable Object-oriented Software*. Boston, MA, USA: Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., 1995. ISBN 0-201-63361-2. Citado na página 54.
- GEGNER, M. O brasileiro e o seu ego-carro. uma visão sociológica europeia sobre o ato de dirigir em um “país do futuro”. *Revista de Pesquisa em Arquitetura e Urbanismo*, p. 7, 2011. Disponível em: <www.revistas.usp.br/risco/article/view/44815>. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 22.
- GOMIDE, A. d. v. *Agenda governamental e o processo de políticas públicas: o projeto de lei de diretrizes da política nacional de mobilidade urbana*. 2008. Texto para Discussão 1334. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=4891>. Citado na página 20.
- GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. *Processamento de imagens digitais*. [S.l.]: Edgard Blucher, 2000. Citado 4 vezes nas páginas 11, 33, 34 e 35.
- HAAPANEN, M. J. *Selainkäyttöliittymä palautteenkeräysjärjestelmälle - The Browser User Interface Feedback Collection System*. Dissertação (Mestrado) — Tampere University of Technology - Faculty of Engineering Sciences, 2014. Citado na página 53.
- HARVEY, D. O espaço como palavra-chave. *GEOgraphia*, v. 14, n. 28, 2013. ISSN 1517-7793. Disponível em: <<http://www.uff.br/geographia/ojs/index.php/geographia/article/view/551/345>>. Citado na página 32.
- HÉGARET, P. L.; WHITMER, R.; WOOD, L. Document object model (dom). *W3C recommendation*, 2002. Disponível em: <<http://www.w3.org/DOM>>. Citado na página 51.
- IBGE. *IBGE | Cidades | Infográficos | Distrito Federal | Brasília | Dados Gerais*. [S.l.], 2010. Disponível em: <<http://cod.ibge.gov.br/232NT>>. Citado na página 39.
- IPEA. *Mobilidade urbana, Sistema de Indicadores de Percepção Social - SIPS*. Brasília, DF, 2011. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/SIPS/110124_sips_mobilidade.pdf>. Citado na página 19.

ITS EUROPA. Economics of investment in intelligent transportation systems, white paper. 2007. Citado na página 25.

ITS KOREA. *Introduction to Understanding ITS*. Coréia do Sul: Head, Standard Research Center, 2013. Citado na página 41.

JENSEN, S. H.; MADSEN, M.; MØLLER, A. Modeling the html dom and browser api in static analysis of javascript web applications. In: ACM. *Proceedings of the 19th ACM SIGSOFT symposium and the 13th European conference on Foundations of software engineering*. [S.l.], 2011. p. 59–69. Citado na página 51.

KRUSSE, R. *Um olhar ergonômico para projetos de identidade visual*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Santa Catarina, 2002. Disponível em: <<http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/82359>>. Citado na página 55.

LARMAN, C. *Utilizando UML e Padrões—Um Guia para a Análise e Projeto Orientados a Objetos*. Ed. [S.l.]: Bookman. 3ª Edição—2007, 2000. ISBN 978-85-60031-52-8. Citado 2 vezes nas páginas 49 e 53.

LAYMAN, L. et al. Essential communication practices for extreme programming in a global software development team. *Information and Software Technology*, v. 48, n. 9, p. 781 – 794, 2006. ISSN 0950-5849. Special Issue Section: Distributed Software Development. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950584906000024>>. Citado na página 44.

LOBO, C.; CARDOSO, L.; MAGALHÃES, D. J. A. V. Acessibilidade e mobilidade espaciais da população na região metropolitana de belo horizonte: análise com base no censo demográfico de 2010. *Cadernos Metrópole*, scielo, v. 15, p. 513 – 533, 12 2013. ISSN 2236-9996. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2236-99962013000200513&nrm=iso>. Citado na página 59.

MARTINELLI, J. C. N.; AROUCHA, M. O. G. Sistemas inteligentes de transporte. In: _____. [S.l.]: ANTP, 2012. (Cadernos Técnicos, v. 8), cap. Fase Atual da Bilhetagem Eletrônica, p. 78 – 99. Citado na página 28.

MÜENSTEN, . C. d. Bicycle education and promotion in muenster. Muenster, Alemanha. 1997. Disponível em: <<http://www.geo.sunysb.edu/bicycle-muenster>>. Citado 2 vezes nas páginas 20 e 38.

MONGODB. Agile and scalable. Página Inicial do MongoDB. 2013. Disponível em: <<http://www.mongodb.org/>>. Citado na página 56.

MONTEIRO, W. D.; ARAÚJO, C. G. S. d. Transição caminhada-corrida: considerações fisiológicas e perspectivas para estudos futuros. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, scielo, v. 7, p. 207 – 222, 12 2001. ISSN 1517-8692. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-86922001000600004&nrm=iso>. Citado na página 65.

OLIVEIRA, J. M. et al. A influência do transporte público no stress e no desempenho dos trabalhadores. *Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, Brasília, DF*, 2008. Disponível em: <http://www.aedb.br/seget/artigos08/460_Seget%20%202008%20%20Transporte%20coletivo%20e%20stress%20no%20trabalho.pdf>. Citado na página 19.

- OSGOOD, P. B. *The Fourier Transform and its Applications. Lecture Notes for EE 261*. Electrical Engineering Department, 2007. Disponível em: <<http://see.stanford.edu/materials/lsoftae261/book-fall-07.pdf>>. Citado na página 33.
- PAIVA, J. A. G. *Efeitos da ionosfera de baixas latitudes no GPS – SBAS (Global System Positioning – Space Based Augmentation System)*. Dissertação (Mestrado) — Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2004. Citado 2 vezes nas páginas 26 e 27.
- QUIXABEIRA, R. F.; ALMEIDA, W. R. M.; FILHO, P. M. de A. Utilização da tecnologia nodejs para consumo eficiente dos recursos de servidores web. *Acta Brazilian Science*, I, n. I, p. 100–110, apr 2013. ISSN: 2317-7403. Disponível em: <<http://www.actabrazilianscience.com.br/arquivos/edicao1/vol1.pdf#page=100>>. Citado 3 vezes nas páginas 11, 57 e 58.
- REIS, M. do C. Comunicação e mudança organizacional: Uma interlocução instrumental e constitutiva. *Organicom*, n. 1, p. 18, Agosto 2004. Citado 2 vezes nas páginas 11 e 22.
- RICHARDS, J. W. et al. Active learning to overcome sample selection bias: Application to photometric variable star classification. *The Astrophysical Journal*, v. 744, n. 2, p. 192, 2012. Nota de rodapé 4. Disponível em: <<http://stacks.iop.org/0004-637X/744/i=2/a=192>>. Citado na página 60.
- RUNEBERG, J. To-do with javascript mv*: A study into the differences between backbone.js and angularjs. *Arcada - Nylands svenska yrkeshögskola*, 2013. Citado na página 53.
- SOUSA, C. R. M. de. *Interferidores de GPS: Análise do Sistema e de potenciais fontes de interferência*. Dissertação (Mestrado) — Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro - RJ, 2005. Citado na página 27.
- STAUFFER, D. Gerando envolvimento na equipe. In: _____. 2ª reimpressão. ed. [S.l.]: Harvard Business School, 2007. (Gestão Orientada para Resultados), cap. Como conquistar a adesão das pessoas, p. 63–70. Citado na página 22.
- THE APACHE SOFTWARE FOUNDATION. *About Apache Cordova™*. 2013. Website. Disponível em: <<http://cordova.apache.org/>>. Citado 3 vezes nas páginas 11, 49 e 50.
- THOMAS, G. B. et al. Cálculo. In: _____. 11th. ed. [S.l.]: Pearson Education Inc., 2009. v. 2, cap. 12 - Vetores e a geometria do espaço, p. 191 – 196. Citado na página 71.
- TOPSHOLM, M. *Transactional Data Encryption View*. 2014. 27 p. (TRITA-ICT-EX, 2014:59). Citado na página 53.
- TURNER, C. R. et al. A conceptual basis for feature engineering. *Journal of Systems and Software*, v. 49, n. 1, p. 3 – 15, 1999. ISSN 0164-1212. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016412129900062X>>. Citado na página 59.
- UNESCO. *Lista de Patrimônios da Humanidade nº 445*. [S.l.], 1987. Citado na página 21.
- W3C. *MOBILE WEB*. 2013. Online. Disponível em: <<http://www.w3.org/standards/webdesign/mobilweb>>. Citado na página 48.

- WANG, J.; SHI, Q. Short-term traffic speed forecasting hybrid model based on chaos-wavelet analysis-support vector machine theory. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, v. 27, n. 0, p. 219 – 232, 2013. ISSN 0968-090X. Selected papers from the Seventh Triennial Symposium on Transportation Analysis (TRISTAN VII). Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0968090X1200109X>>. Citado na página 31.
- WEISSTEIN, E. W. *Fast Fourier Transform*. 2014. Website. Disponível em: <<http://mathworld.wolfram.com/FastFourierTransform.html>>. Citado na página 34.
- WEISSTEIN, E. W. *Fourier Series*. 2014. Website. Disponível em: <<http://mathworld.wolfram.com/FourierSeries.html>>. Citado 2 vezes nas páginas 32 e 33.
- WEISSTEIN, E. W. *Fourier Transform*. 2014. Website. Disponível em: <<http://mathworld.wolfram.com/FourierTransform.html>>. Citado na página 33.
- WIKIMÁPIA. *Wikimápia - Let's describe the whole world*. 2012. Online. Disponível em: <<http://wikimapia.org/>>. Citado 5 vezes nas páginas 11, 12, 63, 70 e 73.
- XIA, J. et al. Translational biomarker discovery in clinical metabolomics: an introductory tutorial. *Metabolomics*, Springer US, v. 9, n. 2, p. 280–299, 2013. ISSN 1573-3882. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s11306-012-0482-9>>. Citado na página 31.
- YAMIN, A. et al. Explorando o escalonamento no desempenho de aplicações móveis distribuídas. In: *Workshop EM Sistemas Computacionais DE Alto Desempenho*. [S.l.: s.n.], 2001. v. 2, p. 1–8. Citado na página 48.
- ZHAO, Y.; ZHU, Q. Evaluation on crowdsourcing research: Current status and future direction. *Information Systems Frontiers*, Springer US, v. 16, n. 3, p. 417–434, 2014. ISSN 1387-3326. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s10796-012-9350-4>>. Citado na página 26.