

**MÁRCIO EIJI TAMURA**

**DIAGNÓSTICO DO SISTEMA METROFERROVIÁRIO  
UTILIZANDO TECNOLOGIA EMBARCADA DE SMARTPHONES -  
PROVA TEÓRICA DE CONCEITO**

**São Paulo**

**2016**



**MÁRCIO EIJI TAMURA**

**DIAGNÓSTICO DO SISTEMA METROFERROVIÁRIO  
UTILIZANDO TECNOLOGIA EMBARCADA DE SMARTPHONES -  
PROVA TEÓRICA DE CONCEITO**

**Monografia apresentada à Escola  
Politécnica da Universidade de São  
Paulo para a conclusão do Curso de  
Especialização em Tecnologia  
Metroferroviária – PECE/USP.**

**Orientador  
Prof. Dr. Denis Gabos**

**São Paulo  
2016**



**MÁRCIO EIJI TAMURA**

**DIAGNÓSTICO DO SISTEMA METROFERROVIÁRIO  
UTILIZANDO TECNOLOGIA EMBARCADA DE SMARTPHONES -  
PROVA TEÓRICA DE CONCEITO**

**Monografia apresentada à Escola  
Politécnica da Universidade de São  
Paulo para a conclusão do Curso de  
Especialização em Tecnologia  
Metroferroviária – PECE/USP.**

**Orientador**

**Prof. Dr. Denis Gabos**

**São Paulo**

**2016**

#### Catálogo-na-publicação

Tamura, Márcio Eiji

Diagnóstico do Sistema Metroferroviário Utilizando Tecnologia Embarcada de Smartphones - Prova Teórica de Conceito / M. E. Tamura -- São Paulo, 2016.

49 p.

Monografia (Especialização em Tecnologia Metroferroviária) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia.

1.Inteligência Coletiva 2.Plataforma Colaborativa 3.Beacon  
4.Smartphone 5.Transportes sobre Trilhos I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia II.t.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecimentos a minha esposa Eveli Dertinati Tamura e meus filhos Isadora Ayumi Dertinati Tamura e Eduardo Massatoshy Dertinati Tamura por serem fontes de inspiração, e a meus Tadassi Tamura e Nobuco Tamura pelo carinho e educação que depositaram no crescimento de seus filhos.

## RESUMO

O escopo deste trabalho é apresentar uma arquitetura básica de obtenção remota de dados sobre tempos médios de circulação de passageiros entre locais previamente determinados dentro da rede metroferroviária, auxiliando também no diagnóstico de equipamentos de estação e de material rodante, por meio de recursos coletivos de *Smartphones* conectados em uma plataforma colaborativa de serviços, concebida para prover informações aprimoradas aos usuários e gestores da rede. A arquitetura prevê o uso de uma malha de dispositivos *indoor* de localização (*Beacon*) distribuída no ambiente interno de trens e estações da rede, e que utiliza a tecnologia *Bluetooth Low Energy* (BLE), com um conjunto de servidores desenvolvidos para tratar as solicitações de serviços e também o armazenamento de todos os dados. Para sua viabilidade, utiliza uma pequena parcela do pacote de dados de seus usuários e da infraestrutura das operadoras da rede de dados móvel que faz a cobertura dos túneis e estações da rede de transporte. Dentro deste contexto, este trabalho dá ênfase na demonstração teórica da viabilidade técnica e funcional de uma plataforma proposta através do detalhamento de alguns serviços principais inicialmente previstos.

Palavras-chave: Inteligência Coletiva. *Crowdsensing*. Plataforma Colaborativa. Localização *Indoor*. *Beacon*. *Bluetooth*. *Smartphones*. Redes 4G. Transportes sobre Trilhos. *Big Data*. *Internet das Coisas*.



## **ABSTRACT**

The scope of this work is to present a basic architecture for remote data collection about average times of passenger traffic along predetermined places within the subway and railway network, also supporting the diagnosis of station and rolling stock systems, through collective resources from the Smartphones connected into a collaborative platform of services, designed to provide enhanced information to users and transport operators managers. The architecture provides the use of a mesh composed by indoor localization devices (Beacon) distributed in the internal environment of trains and network stations and the application of Bluetooth Low Energy Technology (BLE) with a group of servers developed to handle the services requested and also to store all the data. For its viability, it is necessary to consume a small portion of the 4G data from the Smartphone's users and the mobile data network infrastructure owned by operators that covers internal locations such as tunnels and stations of the rail transportation network. In this context, this work emphasizes the theoretical demonstration of technical and functional feasibility of the proposed architecture by detailing some major services initially planned.

**Keywords:** Collective Intelligence. Crowdsensing. Collaborative Platform. Indoor Location. Beacon. Bluetooth. Smartphones. 4G Networks. Rail Transportation. Big Data. Internet of Things.



## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 - Exemplo de arquitetura de rede de telecomunicações para o SID.	18
Figura 2 - Procedimento de comunicação para o serviço Melhor Rota	25
Figura 3 - Procedimento principal do serviço Melhor Rota	27
Figura 4 - Procedimento de orientação para navegação do serviço Melhor Rota	28
Figura 5 - Procedimento de comunicação para o serviço Melhor Trem	34
Figura 6 - Procedimento principal do serviço Melhor Trem	35
Figura 7 - Procedimento de atualização do serviço Melhor Rota	35
Figura 8 - Procedimento de comunicação para a ferramenta Melhor Serviço	38



## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Formato e conteúdo do pacote da mensagem DTR001	29
Tabela 2 - Formato e conteúdo do pacote da mensagem SMP005	30
Tabela 3 - Campos do pacote de dados da mensagem SEC002	38



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CCO	Centro de Controle Operacional
METRÔ	Companhia do Metropolitano de São Paulo
CPTM	Companhia Paulista de Trens Metropolitanos
EMTU	Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos
GCS	Gerência de Projetos e Concepção de Sistemas do Metrô
GOP	Gerência de Tecnologia da Informação e Comunicação do Metrô
GPI	Planejamento e Integração de Transportes Metropolitanos do Metrô
IHM	Interface Homem-Máquina
ITS	<i>Intelligent Transport System</i>
SID	Sistema de Informação e de Diagnóstico da Rede Metroferroviária
UDP	<i>User Datagram Protocol</i>





## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	11
1.2	OBJETIVO	12
1.3	JUSTIFICATIVA	12
1.4	DESCRIÇÃO DO DOCUMENTO	13
1.5	METODOLOGIA ADOTADA	13
2	PESQUISA BIBLIOGRÁFICA	15
3	TECNOLOGIAS HABILITADORAS	16
4	PROPOSTA DO SISTEMA	17
4.1	VISÃO GERAL	17
4.2	SERVIÇOS INICIAIS	19
4.3	ARQUITETURA BÁSICA.	20
4.4	PROVA TEÓRICA DE CONCEITO DA ARQUITETURA	20
4.4.1	MELHOR ROTA	21
4.4.2	MELHOR TREM	31
4.4.3	MELHOR SERVIÇO	36
4.4.4	VERIFICAÇÃO DE CAPACIDADE DA REDE MÓVEL CELULAR	38
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	40
6	CONCLUSÕES	41
7	RECOMENDAÇÕES E PRÓXIMOS PASSOS	42



## 1 INTRODUÇÃO

O escopo deste trabalho é conceber um sistema capaz de monitorar o desempenho de linhas metroferroviárias, funcionamento de equipamentos e obter informações detalhadas de fluxos de usuários na rede, e, em contrapartida, fornecer informações atualizadas aos usuários e operadoras, oferecendo serviços de planejamento de rotas, criando opções para aumentar o nível de conforto nos deslocamentos, possibilitar rápidos diagnósticos e restabelecimentos em falhas etc.

Para isto, os modernos *smartphones* cumprem papel fundamental para alimentar o Sistema de Informação e Diagnóstico da Rede Metroferroviária (SID) com dados de campo de forma colaborativa, e, aliados a Beacons (dispositivos indoor de localização, ver capítulo 3), são capazes de fornecer suas localizações com precisão.

Esta monografia possui ênfase em exercitar prova teórica de conceito da viabilidade técnica e funcional de uma plataforma expansível e configurável para funcionamento do SID. Para informações completas das informações desenvolvidas para este trabalho, recursos do SID e das tecnologias que auxiliam o seu funcionamento, a monografia (COPCHE, 2016) pode ser consultada.

### 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O aumento vertiginoso das demandas de passageiros e a sujeição crítica do funcionamento das cidades à perfeita operação das redes de circulação urbana – as principais delas estruturadas por modos sobre trilhos – torna inexorável o avanço da tecnologia de ITS (Sistemas Inteligentes de Transporte) no setor metroferroviário.

O avanço das tecnologias embarcadas nos Smartphones com a melhoria na qualidade de serviço da rede de dados, além da maior aceitação pela população em geral de ferramentas colaborativas, criam a possibilidade de coleta de dados nos Smartphones, através de um aplicativo oficial de serviços, que auxilie na monitoração de índices de desempenho dos ativos da rede metroferroviária. O crescente número de sensores possibilitará a obtenção de um vasto volume de informações sem a necessidade de investimentos extras nas instalações da rede, somente a atualização do software de aplicativos dos Smartphones e de alguns servidores para viabilizar um novo serviço.

A rede metroviária da região metropolitana de São Paulo possui cinco linhas. Se não for considerada a malha de transporte da CPTM (Companhia Paulista de Trens Metropolitanos), que também atendem esta região, a rede tem então seis estações de transferência (Sé, Luz, República, Consolação, Paraíso e Ana Rosa) que oferece um número limitado de rotas possíveis no centro da malha de transporte sem grandes dificuldades do usuário decidir sobre seu melhor trajeto. Com o plano de expansão da rede metroferroviária que se encontra em andamento, projeta-se um cenário onde o nível de complexidade de escolha de rotas pelos usuários será bem mais significativo, inclusive, se forem consideradas variáveis como tempo de movimentação, níveis de conforto, desempenhos de cada linha ou até mesmo o inconveniente de uma rota escolhida pelo usuário estar momentaneamente parada.

## 1.2 OBJETIVO

Este trabalho visa exercitar prova teórica de conceito da viabilidade técnica e funcional de uma solução colaborativa de serviços e informações que atendam necessidades atuais e futuras dos passageiros e da Companhia do Metropolitano de São Paulo–Metrô, através de uma plataforma configurável e expansível de serviços.

## 1.3 JUSTIFICATIVA

O conceito do SID é de ser uma plataforma de serviços configurável e expansível de serviços, onde várias populações podem se beneficiar de seus produtos. Um grupo que recebe benefícios diretos são os usuários da rede metroferroviária, onde receberão informações em tempo real dos estados de operação de cada linha, estação e trem, ferramentas otimizadas de comunicação com a operadora da linha. As operadoras de linhas também se beneficiam por receberem informações detalhadas de fluxos de usuários, características, comportamentos, inclusive por tipo de perfil de usuário, acompanhar resultados da aplicação de uma estratégia operacional, conhecer o uso de suas instalações. As equipes de manutenção também podem receber registros de ocorrências de forma mais apurada e precisa para diagnosticar falhas, verificar a relação entre falhas e eventos. Informações de uso da rede e do SID podem ser mensuradas para apresentação à investidores.

Estes são alguns exemplos de serviços que podem ser oferecidos pelo SID, o que justifica a adoção de uma plataforma que possa agregar novas funções e expandir serviços existentes.

#### 1.4 DESCRIÇÃO DO DOCUMENTO

No capítulo 1 deste trabalho, foi contextualizado o cenário atual e futuro da rede de transporte metropolitano sobre trilhos, citando algumas mudanças sociais, tecnológicas e de infraestrutura, e estabelecendo a relação com a necessidade de se criar uma nova ferramenta de informação para os passageiros contemporâneos. Na sequência, foram descritos o propósito do desenvolvimento desta ferramenta e escopo deste trabalho. O capítulo 2 apresenta uma pesquisa bibliográfica, representando o estado da arte em serviços e tecnologias para o Metrô. O capítulo 3 discorre sobre as tecnologias mais relevantes cujo entendimento é necessário para compreender a proposta do sistema. O capítulo 4 apresenta toda a proposta de arquitetura necessária para implantar uma plataforma colaborativa de serviços. O capítulo 5 descreve as metas atingidas que foram levantadas nos processos da metodologia adotada. O capítulo 6 faz o balanço dos resultados do exercício desta monografia. No capítulo 7 são sugeridos estudos relacionados ao tema deste trabalho.

#### 1.5 METODOLOGIA ADOTADA

A seguir, é mostrado o processo adotado para a concepção do SID partindo de uma premissa, nesta altura ainda não confirmada, que é possível criar uma inovadora plataforma colaborativa de serviços a partir de tecnologias já disponíveis e consagradas no mercado.

Para auxiliar no levantamento dos requisitos do SID, foram as seguintes etapas:

- Levantamento de artigos, matérias, publicações e TCC relacionadas com o escopo do trabalho;
- Reuniões com os *stakeholders* internos do Metrô e externos (Consórcio ViaQuatro, SPTrans, CPTM, EMTU);
- Leitura e organização dos materiais coletados;
- Identificação de etapas ou soluções similares já desenvolvidas;
- Identificação das tendências tecnológicas relacionadas com a proposta do trabalho (fabricantes de hardware, operadoras, sites de buscas, aplicativos etc.);
- Análise crítica dos possíveis serviços que o SID poderá oferecer;
- Realimentação com os *stakeholders*.

Das etapas previstas, vale destacar uma visita realizada na central de monitoramento de ônibus da SPTrans e reuniões com áreas internas da empresa (GPI, GOP, GCS). Alguns stakeholders não foram consultados devido à diversidade de áreas e de interesses distintos. Para o trabalho, entendeu-se ser suficiente a identificação dos tipos de serviços e dados que serão trafegados para comprovar a viabilidade da solução. Na ocasião da execução do SID, é recomendável que todos os stakeholders sejam consultados antes para mapeamento de cada necessidade e na formatação de informações.

Após o mapeamento e seleção destes serviços, o desenvolvimento técnico do trabalho foi planejado basicamente da seguinte forma:

- Definição e descrição da plataforma básica do SID;
- Definição e descrição dos possíveis serviços;
- Levantamento dos requisitos de sistema;
- Levantamento dos requisitos de implantação;
- Prova teórica de conceito de alguns serviços principais para comprovar a viabilidade da arquitetura projetada.

## 2 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

Visando obter inspiração, conhecimento e verificar a factibilidade da arquitetura que será desenvolvida neste trabalho, alguns estudos e projetos, relacionados a este sistema, foram também consultados.

Os trabalhos de pesquisas de (HAN; OWUSU; NGUYEN; PERRIG; ZHANG, 2015), (PRATAMA; WIDYAWAN; HIDAYAT, 2015) e (STOCKX; SCHÖNING, 2014) dissertam sobre o uso de acelerômetros para finalidade de localização e navegação indoor, porém, como pode ser visto nos resultados, existe considerável erro do posicionamento sentido em comparação com o real.

Outras fontes interessantes relacionados às tecnologias emergentes, em estudo, desenvolvimento e/ou em aplicação em várias partes do mundo, relacionados as tecnologias de NFC, monitoramento em tempo real de equipamentos e usuários, IoT, navegação indoor, ITS em sistemas metroferroviários, que também serviram de referência para esta monografia, estão registrados ao final deste documento.

### 3 TECNOLOGIAS HABILITADORAS

Neste capítulo, são apresentadas as informações básicas das tecnologias necessárias ao funcionamento do SID e que permitem sua viabilidade técnica da plataforma colaborativa de serviços.

Na monografia completa (COPCHE, 2016), são descritas características de *Beacons* e formas de aplicação; recursos de smartphones modernos, descrevendo as principais interfaces e sensores embarcados; cenário brasileiro da tecnologia de comunicação celular; e tecnologia de monitoração embarcada nos trens do Metrô e dissertação sobre possíveis interfaces de coleta de dados e comunicação.



## 4 PROPOSTA DO SISTEMA

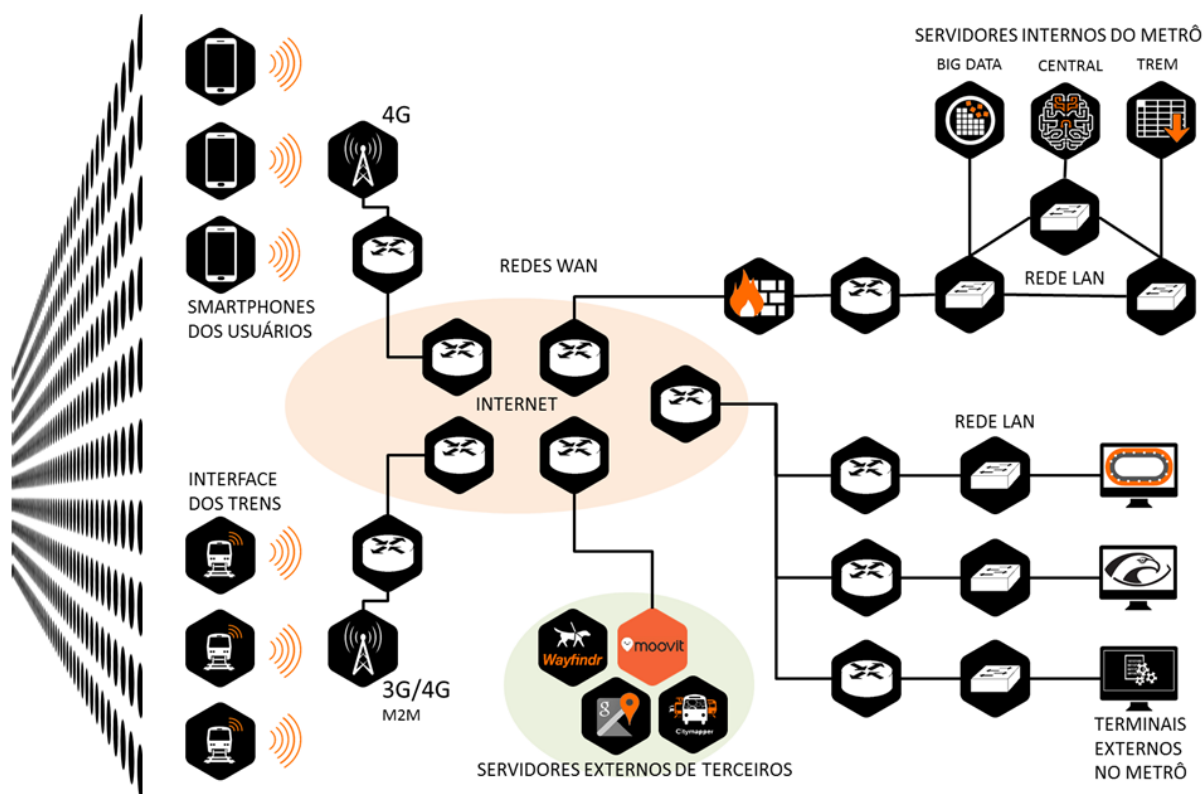
Neste capítulo é apresentado todo o desenvolvimento técnico deste trabalho, descrevendo alguns serviços que serão inicialmente oferecidos aos passageiros, algumas funções necessárias para o diagnóstico da infraestrutura metroferroviária, as entradas e saídas necessárias ao funcionamento do SID, tecnologias e canais de comunicação do sistema, tipos de dados trafegados, a arquitetura básica necessária, sua expansão e interface com servidores de terceiros, a estratégia de distribuição dos *Beacons* na rede e o compartilhamento da malha de *Beacons* com serviços de terceiros, os módulos de software no aplicativo dos usuários, nos servidores, nas interfaces dos trens e um detalhamento mais técnico dos serviços mais importantes deste projeto para os usuários.

### 4.1 VISÃO GERAL

Conforme descrito no início deste trabalho, trata-se de uma plataforma escalável de serviços de informações para os passageiros e para o Metrô de forma colaborativa, utilizando o potencial tecnológico dos recentes *Smartphones*, uma malha distribuída, configurável e expansível de minúsculos dispositivos de localização dos passageiros dentro da rede; interfaces embarcadas de informações nos trens; um conjunto de três módulos de servidores; uma relação de serviços que demanda a criação de rotinas de software para os aplicativos, servidores e interface dos trens; a interface com servidores de terceiros; terminais de consulta; tudo isso se conversando em grande parte através de uma rede de dados móvel que futuramente dará cobertura aos túneis e estações de toda a rede metroferroviária.

A Figura 1 a seguir mostra o panorama geral básico da rede de comunicação entre estes elementos.

Figura 1 - Exemplo de arquitetura de rede de telecomunicações para o SID.



Fonte: Copche (2016)

Conforme está apresentado, existe uma malha de *Beacons* distribuída ao longo das estações da infraestrutura da rede, onde é possível que o sinal de cada um destes dispositivos possa ser captado em algum momento do percurso pelos *Smartphones* dos usuários. Quanto aos *Beacons* instalados ao longo da linha de plataforma, estes também podem ser lidos somente pelos trens que circulam na lateral da linha de *Beacons*. Tanto os *Smartphones* dos usuários como as interfaces embarcadas nos trens transmitem sua localidade via rede móvel 4G assim que perdem o alcance de um sinal de *Beacon* previamente detectado. Estes dados chegam ao conjunto de servidores da empresa por meio da internet. Para grande parte das comunicações a camada de aplicativo e de transporte confirma o recebimento correto do dado recebido e de todo o pacote trafegado. Por meio da internet e por uma rede local, terminais da empresa consultam a base de dados destes servidores. Também por meio da internet, um dos servidores de armazenamento da empresa recebe dados de posição de pessoas com deficiência visual dentro da rede através de um servidor de terceiro. Este mesmo servidor de armazenamento também pode compartilhar dados de posição de usuários comuns para outros servidores de terceiros.

## 4.2 SERVIÇOS INICIAIS

A seguir são apresentados os principais de serviços possíveis do SID.

Melhor Rota - Apresenta as melhores rotas a partir de uma estação origem até outra de destino considerando os tempos médios atualizados de deslocamento em diversos pontos na rede.

Melhor Trem - Apresenta periodicamente a lotação de cada carro dos próximos trens para uma determinada plataforma, com tempos atualizados de chegada, identificação da frota e do trem.

Melhor Serviço - Ferramenta aprimorada de comunicação entre os usuários com as operadoras de linhas metroferroviárias para assuntos relacionados às instalações físicas e o adequado funcionamento de equipamentos, limpeza e conservação, com atalhos para as solicitações e reclamações mais frequentes.

Denúncia - Ferramenta aprimorada de comunicação entre os usuários com as operadoras de linhas metroferroviárias para assuntos relacionados à assédio sexual, furtos e roubos, agressões, comércio irregular, vandalismos, consumo de entorpecentes, comportamentos inadequados, violação ao acesso preferencial, pedintes.

Estado da Rede - Mapa online da rede de metrô informando um indicador de fluidez atual dos trens em cada linha bem como do deslocamento de pessoas entre as estações de transferências da rede.

Mapa da Estação - Mostra o leiaute de cada nível da estação ou trem baseado na localização do passageiro na estação ou no trem.

Achados e Perdidos – Registro remoto de informações estruturadas de ocorrências de objetos perdidos pelos usuários na rede.

Monitoração de Conforto - Monitora periodicamente o nível de conforto no salão dos trens e ambientes das estações através dos sensores embarcados de luminosidade, ruído e temperatura dos Smartphones dos passageiros.

Identificação e Perfil - Todo o processo de instalação do aplicativo nos Smartphones estará vinculado a um número válido de celular e ao preenchimento manual de dados básicos do passageiro tais como nome completo, data de nascimento, CPF, e-mail, ocupação, usuário frequente ou turista, portador de necessidades especiais etc.

Monitoração de Pessoas com Mobilidade Reduzida (PMR) - Acompanhamento remoto da viagem ou até mesmo auxiliando a equipe operacional na localização de PMR em situações normais ou em emergência.

Monitoração de Deficientes Visuais - Considera ou prevê que o Servidor Big Data obtenha de servidores de terceiros, a posição de passageiros com deficiência visual que circulam dentro da rede metroferroviária, possibilitando o acompanhamento remoto da viagem ou até mesmo auxiliando a equipe operacional na localização destas pessoas em situações normais ou em emergência.

Pesquisa de Satisfação – Permite aos gestores das operadoras de transporte disparar uma solicitação para o preenchimento de um breve indicador de satisfação, cuja rotina já se encontra disponível e latente do aplicativo do Smartphone.

Dados de Desempenho da Rede – Extração de diversos relatórios e a realização de pesquisas sobre os registros e informações dos servidores do SID para finalidades de estratégias operacionais, atividades de manutenção, novos negócios e informes detalhados de uso e desempenho da rede metroferroviária.

Para maiores detalhes de cada função, consultar a monografia completa (COPCHE, 2016),

#### 4.3 ARQUITETURA BÁSICA.

Neste capítulo são descritos os principais elementos da arquitetura da plataforma do SID, suas interações e formatos de saídas de informações. Para maiores detalhes, consultar a monografia completa (COPCHE, 2016),

#### 4.4 PROVA TEÓRICA DE CONCEITO DA ARQUITETURA

Para testar e comprovar as propriedades da arquitetura da plataforma do SID, três tipos de serviços distintos foram selecionados. Este tópico também detalha os

recursos operacionais de cada função, descreve funcionamentos de macro rotinas internas em cada equipamento e procedimentos de comunicação entre os equipamentos.

Ao final deste tópico foram feitas algumas considerações básicas sobre a largura de banda necessária e a capacidade de expansão.

#### 4.4.1 MELHOR ROTA

Descrição Operacional: Esta ferramenta apresenta ao usuário até três alternativas de rotas para uma estação de origem até outra de destino, considerando os tempos de deslocamentos atuais da rede. Neste segmento, descrevemos os principais recursos operacionais do serviço de Melhor Rota, passo-a-passo:

- O usuário abre o aplicativo no *Smartphone* e seleciona o botão “MELHOR ROTA” na tela do aplicativo;
- O aplicativo irá procurar a presença de *Beacons* nas proximidades por um breve período (até 1 segundo);
- Caso o software encontre um código neste período, verifica se o *Beacon* se enquadra no plano interno de identificação e de endereçamento estabelecido para o mapeamento de posição na rede metroferroviária;
- Dentro do intervalo de busca, caso nenhum dispositivo *Beacon* seja encontrado ou mesmo se um ou mais *Beacons* detectados não se enquadrarem no plano de identificação estabelecido, o aplicativo irá solicitar ao usuário a seleção manual dos campos “LINHA ORIGEM” e “ESTAÇÃO ORIGEM”;
- Dentro do intervalo de busca, se um ou mais *Beacons* detectados se enquadrarem no plano de identificação estabelecido, automaticamente o software irá selecionar e mostrar na tela do aplicativo os campos “LINHA ORIGEM” e “ESTAÇÃO ORIGEM” relativos ao local onde o usuário se encontra;
- Caso o usuário desejar fazer uma consulta de melhor rota a partir de uma localidade de origem distinta da estação onde se encontra, será possível editar os campos de forma manual a qualquer momento após o aplicativo ter executado a rotina de busca automática;

- O software do aplicativo deverá dispor de uma opção para o usuário selecionar uma “ESTAÇÃO ORIGEM” a partir de uma lista de estações favoritas armazenadas no *Smartphone*;
- Tendo já preenchidos os campos “LINHA ORIGEM” e “ESTAÇÃO ORIGEM”, o aplicativo irá liberar para preenchimento manual os campos “LINHA DESTINO” e “ESTAÇÃO DESTINO”;
- O software do aplicativo deverá dispor também de uma opção para o usuário de selecionar uma “ESTAÇÃO DESTINO” a partir de uma lista de estações favoritas armazenadas no *Smartphone* para cada linha;
- Com os campos de destino preenchidos, o aplicativo irá liberar o botão “CONSULTA”;
- Ao usuário pressionar o botão “CONSULTA”, o aplicativo enviará a solicitação do serviço via rede móvel de dados para os servidores do SID. Se por algum motivo, a mensagem não puder ser entregue, o aplicativo apresentará uma mensagem ao usuário informando a situação e solicitando que tente novamente mais tarde;
- Os servidores irão verificar internamente as três melhores rotas disponíveis, verificando inclusive os horários de operação de cada linha no momento previsto de passagem do usuário neste trecho. Caso não exista rota alguma disponível, o *Smartphone* apresentará uma mensagem ao usuário informando a situação;
- Em situações normais de operação, o servidor irá selecionar e enviar as três melhores rotas disponíveis naquele horário entre a estação de origem e de destino de acordo com o perfil do usuário, ou seja, ordenadas pelo menor tempo de viagem ou pela menor quantidade de estações de transferência;
- O *Smartphone* recebe as informações do servidor Central e o aplicativo mostra na tela as alternativas de rotas, ordenadas conforme o perfil do usuário. Em cada alternativa são apresentados os nomes das estações de transferência e os tempos estimados parciais, além do tempo total do trajeto;
- Após o usuário selecionar uma das rotas sugeridas, o aplicativo carrega as informações de navegação e instruções complementares, como estações de transferência, tempos parciais estimados, horários de encerramento do serviço, lado de desembarque do trem, estação destino e tempo estimado de chegada;
- Os horários de prestação de serviços são enviados pelos servidores do SID através do serviço Estado da Rede, conforme a necessidade, e o *Smartphone*

verifica a estimativa de horários para a rota selecionada com os horários de funcionamento das estações para orientação do usuário durante o progresso da rota;

- Com uma das rotas selecionadas pelo usuário e ainda ligada interface *Bluetooth*, o software do aplicativo irá automaticamente monitorar a presença de *Beacons* de plataforma. Caso um *Beacon* de plataforma seja detectado e sua codificação coincida com uma estação anterior às estações de transferências da rota ou uma estação anterior à estação de destino, o aplicativo deverá aguardar a perda deste sinal de Beacon, indicando que o trem já está a caminho da estação seguinte e gerar uma notificação audiovisual e tátil ao usuário, para alertar a chegada da estação de transferência ou a estação destino, mostrando na notificação o nome da estação e lado de desembarque do trem;
- Durante o percurso do usuário, caso seja detectado um *Beacon* de plataforma fora da rota previamente selecionada ou mesmo seja detectado um *Beacon* de estação (mezaninos, elevadores, acessos internos) que não condiz com as estações de origem, de transferência ou de destino, o aplicativo deverá gerar automaticamente uma notificação audiovisual e tátil ao usuário informando que o mesmo se encontra no momento fora da rota;
- Durante o percurso do usuário na rede, o aplicativo monitora a presença de *Beacons* de plataforma e, ao perder o sinal de um *Beacon* pertencente à rota selecionada, atualiza as informações dos trechos seguintes até a estação destino. Para isto, a opção de atualização automática do software deve estar configurada como ativa pelo usuário;
- Se durante o percurso, algum *Beacon* não pertencente à rota selecionada for detectado, o aplicativo alertará o usuário e oferecerá a opção de cálculo de nova rota para correção até o destino.

A amigabilidade do formato da apresentação das informações relativas à melhor rota pode ser refinada posteriormente, agregando recursos visuais tais como sinópticos da rede, apresentação do traçado da rota sobre o mapa da rede, seleção de estações de origem e destino por apontamento no mapa etc.

A aplicação deve solicitar a ativação da interface *Bluetooth* caso esteja desligada. A aplicação somente prestará serviço com a interface *Bluetooth* na condição ligada.

A aplicação deve solicitar a ativação do uso do pacote de dados celulares 3G/4G ou ativação da interface Wi-Fi, no caso de interface alguma estar ligada, sempre que o usuário solicitar um serviço ao SID ou houver solicitação automática interna do aplicativo. Caso uma interface esteja ligada, porém, sem sinal, um alerta deve ser gerado ao usuário.

O aplicativo deve verificar o código de endereçamento de cada *Beacon* detectado e somente considerar os que fizerem parte do plano de endereçamento do SID.

Os pacotes de dados que requerem confirmação de recebimento devem ser monitorados pela aplicação solicitante. Caso a confirmação não chegue num período estabelecido, a aplicação deverá reenviar o pacote de dados numa frequência compatível com o serviço, limitando-se a um determinado número de tentativas. Se a aplicação não receber a confirmação de recebimento após o limite de tentativas, um registro de alarme deve ser gerado no próprio dispositivo informando que o serviço não pode ser efetivado.

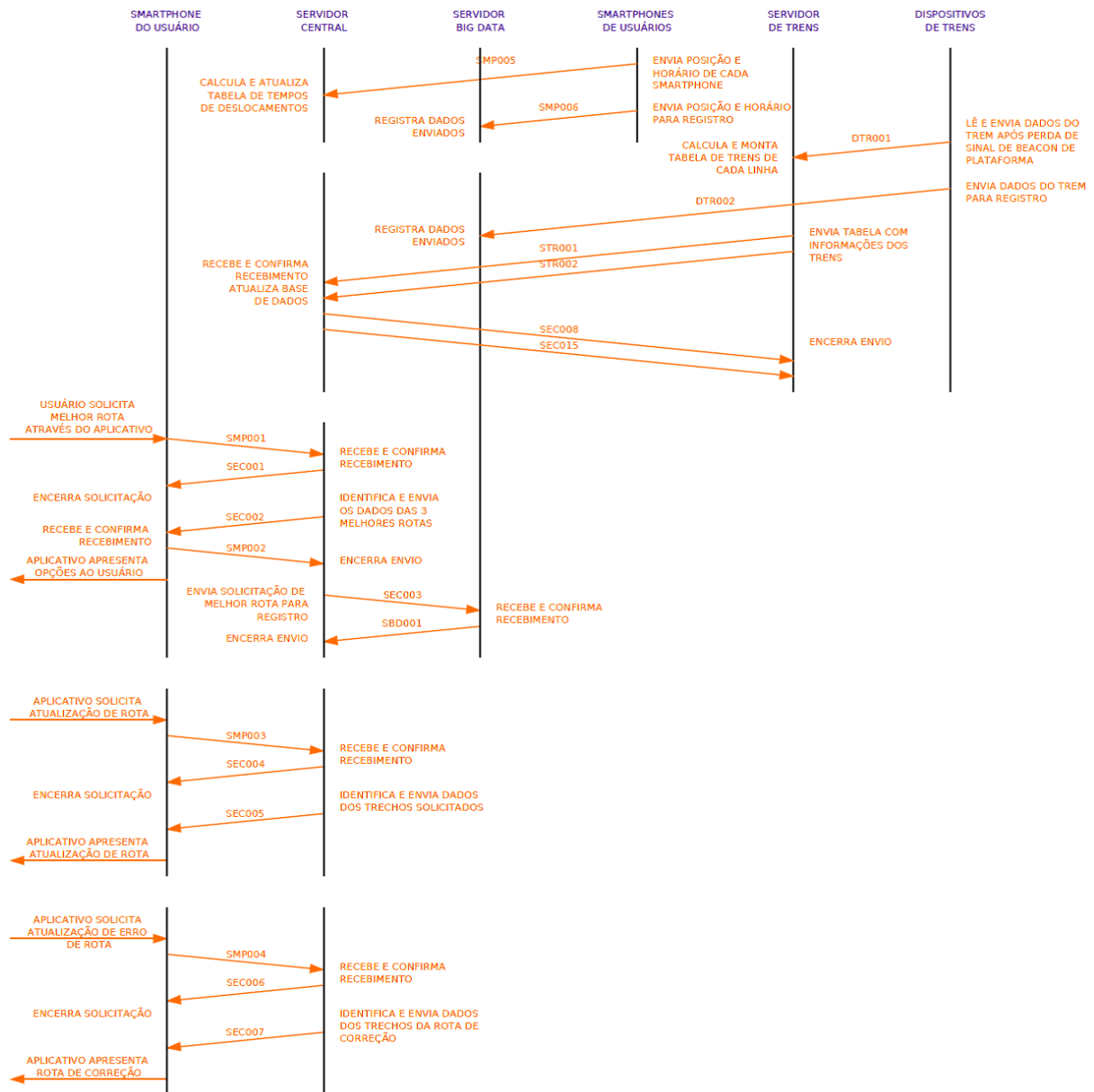
No caso de ser o aplicativo de *Smartphone*, deve saltar na tela uma mensagem de alerta ao usuário. Caso a confirmação de recebimento chegue, uma mensagem deve ser gerada informando que o contato foi realizado com sucesso.

Procedimento de Comunicação:

Seguindo a descrição funcional deste capítulo, foi gerado o diagrama da Figura 2 a seguir, ilustrando o procedimento de comunicação entre os diferentes participantes deste serviço.



Figura 2 - Procedimento de comunicação para o serviço Melhor Rota

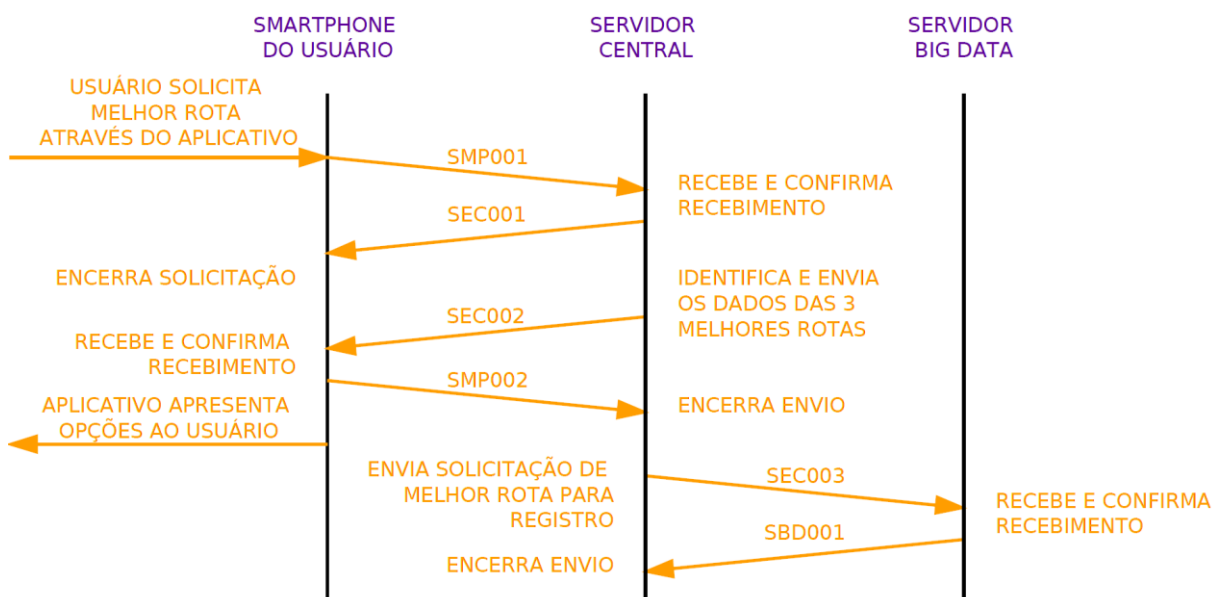


Fonte: Tamura (2016)

O serviço de Melhor Rota é iniciado pelo usuário através do aplicativo de seu Smartphone. O aplicativo solicita ao Servidor Central 3 rotas para uma origem e destino (SMP001). O Servidor Central irá receber o pacote de dados e irá verificar a integridade dos dados transmitidos, caso os dados recebidos estiverem íntegros, o servidor envia confirmação de recebimento (SEC001), *acknowledge* (reconhecimento) de aplicação; caso contrário, a confirmação não será enviada e o *Smartphone* deverá reenviar a solicitação a cada 200ms, até que receba a confirmação de recebimento, mas limitando-se a cerca de vinte tentativas. Após este

número, o *Smartphone* apresentará mensagem na tela do usuário dizendo que a solicitação não pode ser entregue e que tente novamente mais tarde. Com a solicitação entregue, o servidor Central consulta a sua base de dados e calcula quais as três melhores rotas para o perfil de usuário solicitado. Verifica inclusive se o momento de passagem em cada trecho está compatível com os horários de operação programados. No caso de usuário frequente, o objetivo é encontrar as rotas mais rápidas. Já para usuários turistas, busca duas alternativas com menores transferências e uma de menor tempo. O servidor Central, para reduzir o tempo no processo de cálculo de melhores rotas, possui um algoritmo que constantemente calcula as melhores rotas para cada dois pontos indiretamente ligados, isto para todos os pontos da rede. Assim, quando chega a solicitação, o servidor já sabe quais são as melhores rotas e retorna indicações ao *Smartphone* solicitante (SEC002). O *Smartphone* recebe e envia confirmação de recebimento (SMP002). De posse dos dados atuais da rede, o *Smartphone* combina as informações recebidas com as informações permanentes do aplicativo e apresenta as alternativas de rotas ao usuário. O servidor Central ainda envia o registro da solicitação ao servidor Big Data (SEC003). O servidor Big Data recebe e envia confirmação de recebimento (SBD001). Segue a rotina descrita em destaque na Figura 3.

Figura 3 - Procedimento principal do serviço Melhor Rota

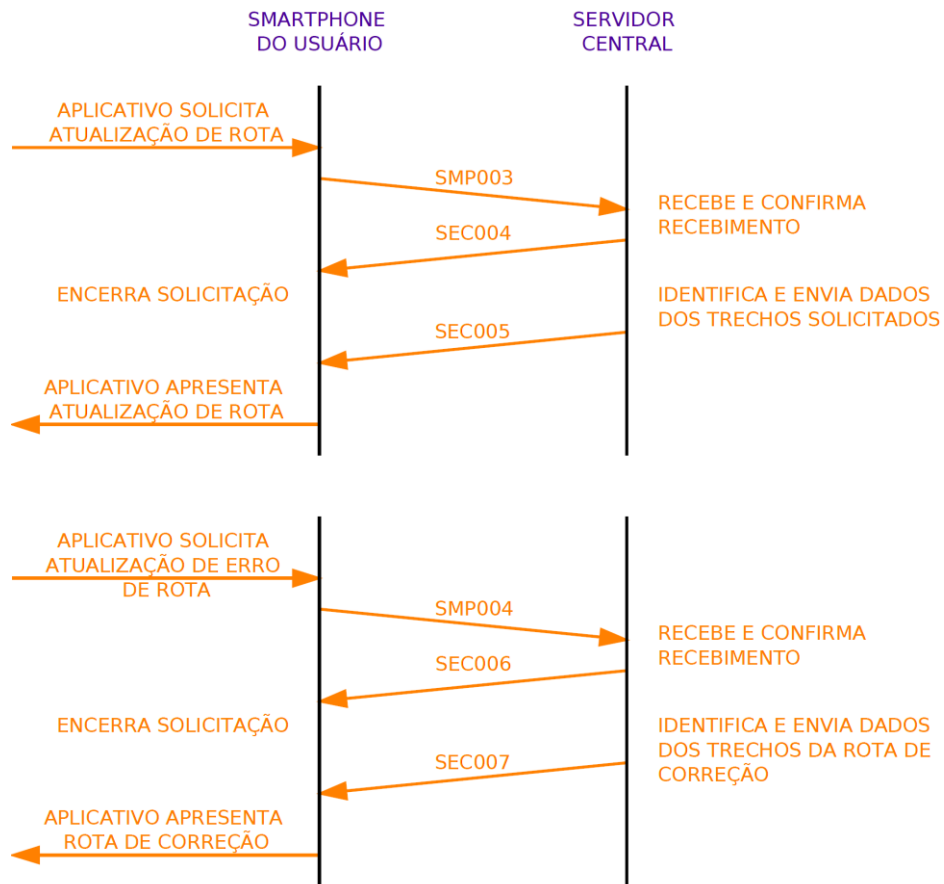


Fonte: Tamura (2016)

Com a rota selecionada, o aplicativo carrega as informações de navegação para orientar o usuário durante o progresso da rota e atualiza as informações dos trechos seguintes a partir do ponto atual de localização, tendo como disparador a perda de sinal de *Beacon* de plataforma. Para isto, envia automaticamente ao servidor Central a solicitação de atualização de informação dos trechos seguintes da rota selecionada (SMP003), onde dentro do pacote constam as estações de origem, destino e as intermediárias da rota selecionada. O Servidor Central recebe e envia confirmação de recebimento (SEC004) e em seguida envia as informações solicitadas (SEC005). O aplicativo recebe as informações e atualiza na tela de navegação.

De forma similar, o aplicativo acompanha localmente o progresso da rota selecionada e alerta o usuário caso algum *Beacon* diferente da rota seja detectado, na sequência, solicita correção de rota ao servidor Central (SMP004), recebe confirmação de recebimento (SEC006) e o servidor Central calcula e envia a rota de correção mais rápida para a estação destino (SEC007). Segue a rotina descrita em destaque na Figura 4.

Figura 4 - Procedimento de orientação para navegação do serviço Melhor Rota



Fonte: Tamura (2016)

Além do servidor Big Data com informações de posição dos Smartphones dos demais usuários que estão circulando pela rede com o aplicativo do SID, o servidor Central conta também com o auxílio do servidor Trem para ter informações atualizadas de desempenho dos trechos da rede.

Os dispositivos de coleta de informações e comunicação, instalados em cada trem, enviam os dados do trem ao servidor de Trens (DTR001), a formação destes pacotes aparece na Tabela 2. O envio do DTR001 ocorre somente após a perda de leitura do sinal de Beacon de plataforma e depois de considerar um tempo de cerca de trinta segundos para acomodação e leitura do carregamento, além do trem já ter atingindo sua velocidade de cruzeiro no trecho entre estações após este período.

Tabela 1 - Formato e conteúdo do pacote da mensagem DTR001

	CÓDIGO DO SERVIÇO	HORÁRIO	ID DA FROTA	ID DO TREM	CÓDIGO DE LOCALIDADE	CÓDIGOS DE CARREGAMENTO	TAMANHO DE DADOS
DTR001	5	17	6	6	10	6	50

Fonte: Tamura (2016)

O campo “CÓDIGO DO SERVIÇO” serve para identificar o tipo de serviço, conforme item anterior, onde até o momento está prevista uma quantidade de 13 serviços; 5 bits comportam até 32 tipos de serviços. O campo “HORÁRIO” serve para o destinatário verificar se a mensagem é atual, uma vez que os relógios dos diferentes servidores estão sincronizados. O campo “ID DA FROTA” serve para identificar a frota do trem; 6 bits comportam até 64 frotas diferentes. O campo “ID DO TREM” serve para identificar o trem dentro de uma frota; 6 bits comportam até 64 trens diferentes por frota. O campo “CÓDIGO DE LOCALIDADE” serve para identificar em que estação o trem se encontra; 10 bits comportam 1024 estações diferentes. O campo “CÓDIGOS DE CARREGAMENTO” serve para indicar a lotação de carro; 8 bits comportam 5 estados para até 12 carros. O tamanho total de dados deste pacote é de 50 bits.

O servidor Trem, com as informações atualizadas da posição de todos os trens que estão circulando na rede, calcula os tempos para deslocamento para cada trecho de via de cada linha, monitora as situações de carregamento de cada carro e monta tabela da ordem de circulação dos trens e atualiza o posicionamento de cada um ao longo da Linha.

Paralelamente, os Dispositivos dos Trens enviam os dados do trem ao Servidor Big Data para registro (DTR002). O Servidor de Trens monta a tabela de trens com as informações de cada trem e envia estas informações ao Servidor Central a cada 1s (STR001). O Servidor Central recebe e envia confirmação de recebimento

(SEC008). Desta forma, o Servidor Central mantém as informações atualizadas dos trens da rede para rápidas respostas às solicitações.

De forma similar, os tempos de deslocamentos para os trechos dentro das estações são obtidos através dos dados enviados pelos *Smartphones* dos usuários. Os *Smartphones* detectam os *Beacons* espalhados pelos ambientes da rede e enviam informações ao perder seu sinal (SMP005), a formação destes pacotes aparece na Tabela 2.

Tabela 2 - Formato e conteúdo do pacote da mensagem SMP005

	CÓDIGO DO SERVIÇO	HORÁRIO	ID DO USUÁRIO	LOCALIDADE TREM	LOCALIDADE ESTAÇÃO	TAMANHO DE DADOS
SMP005	5	17	48	15	36	121

Fonte: Tamura (2016)

O campo “ID DO USUÁRIO” serve para identificar o usuário, 48 bits comporta o envio do *MAC Address* do *Smartphone*. O campo “LOCALIDADE TREM” serve para identificar o posicionamento do *Smartphone* dentro do trem; 15 bits comportam identificar Operadora do trem (4 bits), frota (5), carro (4) e posição (2). O campo “LOCALIDADE ESTAÇÃO” serve para identificar o posicionamento do *Smartphone* nos ambientes das estações; 36 bits, sendo 5 bits para identificar acessos à rua, 5 bits para identificar locais em bloqueios, 3 bits para identificar quantidade de mezaninos, 8 bits para identificar locais em cada mezanino, 3 bits para identificar elevadores, 6 bits para identificar escadas rolantes, 6 bits para identificar escadas fixas. O tamanho total de dados deste pacote é de 121 bits.

O Servidor Central com as informações de todos os *Smartphones* que estão circulando na rede calcula os tempos para deslocamento para cada trecho interno de estação.

Paralelamente, cada *Smartphone* envia os seus dados ao Servidor Big Data para registro (SMP006). O Servidor Central calcula a média de velocidade para cada

trecho de estação e monta tabela de tempos de deslocamentos em estações a cada 1s. Desta forma, o Servidor Central mantém as informações atualizadas dos tempos de deslocamentos dentro das estações para rápidas respostas às solicitações.

#### 4.4.2 MELHOR TREM

Descrição Operacional: Esta ferramenta apresenta ao usuário o carregamento de cada carro dos próximos 3 trens que prestarão serviço para uma determinada plataforma. Neste segmento, descrevemos os principais recursos operacionais do serviço Melhor Trem, passo-a-passo:

- No aplicativo do Smartphone, o usuário seleciona o botão “MELHOR TREM”.
- O aplicativo reage conforme as situações seguintes:
  - *Beacon* de plataforma detectado, o aplicativo automaticamente informará o carregamento de cada carro dos próximos trens.
  - *Beacon* de estação que não seja de plataforma (linha de bloqueios, mezaninos) detectado, o aplicativo automaticamente irá preencher os campos “LINHA” e “ESTAÇÃO” e irá solicitar a seleção manual do “SENTIDO DE PLATAFORMA”.
- Além das opções anteriores, caso *Beacon* algum seja detectado ou o reconhecimento automático não seja o desejado, haverá recurso para seleção manual de Linha, estação e “SENTIDO DE PLATAFORMA”.
- Selecionados os campos “LINHA”, “ESTAÇÃO” e “SENTIDO DE PLATAFORMA”, o botão “CONSULTA” é liberado.
- Ao pressionar o botão “CONSULTA”, o aplicativo solicita aos Servidores do SID as informações de carregamentos dos próximos trens que prestarão serviço na plataforma selecionada.
- O aplicativo do *Smartphone* reenvia a cada 0,5s a solicitação até que os servidores retornem confirmação de recebimento ao aplicativo do Smartphone.
- O servidor, ao receber solicitação de um aplicativo de *Smartphone* de lotação dos carros dos próximos trens, identifica quais são os carros e trens solicitados e envia os dados de lotação ao *Smartphone* solicitante. Juntamente, envia a identificação de frota, número dos trens e previsão de chegada de cada trem.
- O SID pode realizar interface com o sistema de programação e oferta de trens do CCO para receber o alinhamento de rota de cada trem. Assim, pode antever se o

trem irá passar direto em algumas estações, reverter no meio da linha etc. devido a estratégias operacionais especiais.

- O aplicativo recebe os dados de carregamento dos carros dos próximos trens e abre tela no *Smartphone* indicando os carregamentos por ordem de chegada dos trens na plataforma com as respectivas informações de previsão de chegada, frota e número do trem. A informação de carregamento será através de cores:
  - Verde indica o carregamento que corresponde à lotação a até quatro (inclusive) passageiros por m<sup>2</sup>;
  - Amarelo indica o carregamento que corresponde à lotação a até seis (inclusive) passageiros por m<sup>2</sup>;
  - Laranja indica o carregamento que corresponde à lotação a até oito (inclusive) passageiros por m<sup>2</sup>;
  - Vermelho indica o carregamento que corresponde à lotação superior a oito passageiros por m<sup>2</sup>;
  - Cinza indica sem interface embarcada no trem ou com falha na comunicação. No caso de um ou dois carros, indica que os respectivos carros estão com todas as portas isoladas e não prestará serviço.
- No rodapé da IHM, será exibido dinamicamente o horário atual o horário da última atualização, ambos no formato [hh:mm:ss].
- Permanecendo nesta tela, o aplicativo do *Smartphone* atualizará automaticamente as informações dos trens em um período de tempo menor que o *headway* das linhas. Para isto, o aplicativo solicita automaticamente as informações aos Servidores do SID, seguindo o processo já descrito anteriormente.
- As informações serão atualizadas até o limite de 15 min. Após isto, as cores dos trens se apresentam na cor CINZA e somente serão atualizadas caso o usuário pressione novamente o botão “CONSULTA”.

Para as estações terminais da linha, um aviso será mostrado sobre o sinóptico dos trens indicando que esta informação não está disponível para a plataforma solicitada.

Para estações intermediárias, próximas às estações terminais iniciais, serão mostrados somente os carregamentos dos trens que já estão no mesmo sentido da



plataforma solicitada e que já partiram da estação terminal. Caso exista somente 1 ou 2 trens nesta condição, a IHM exibirá o carregamento dos carros do 2º ou 3º trens na cor cinza.

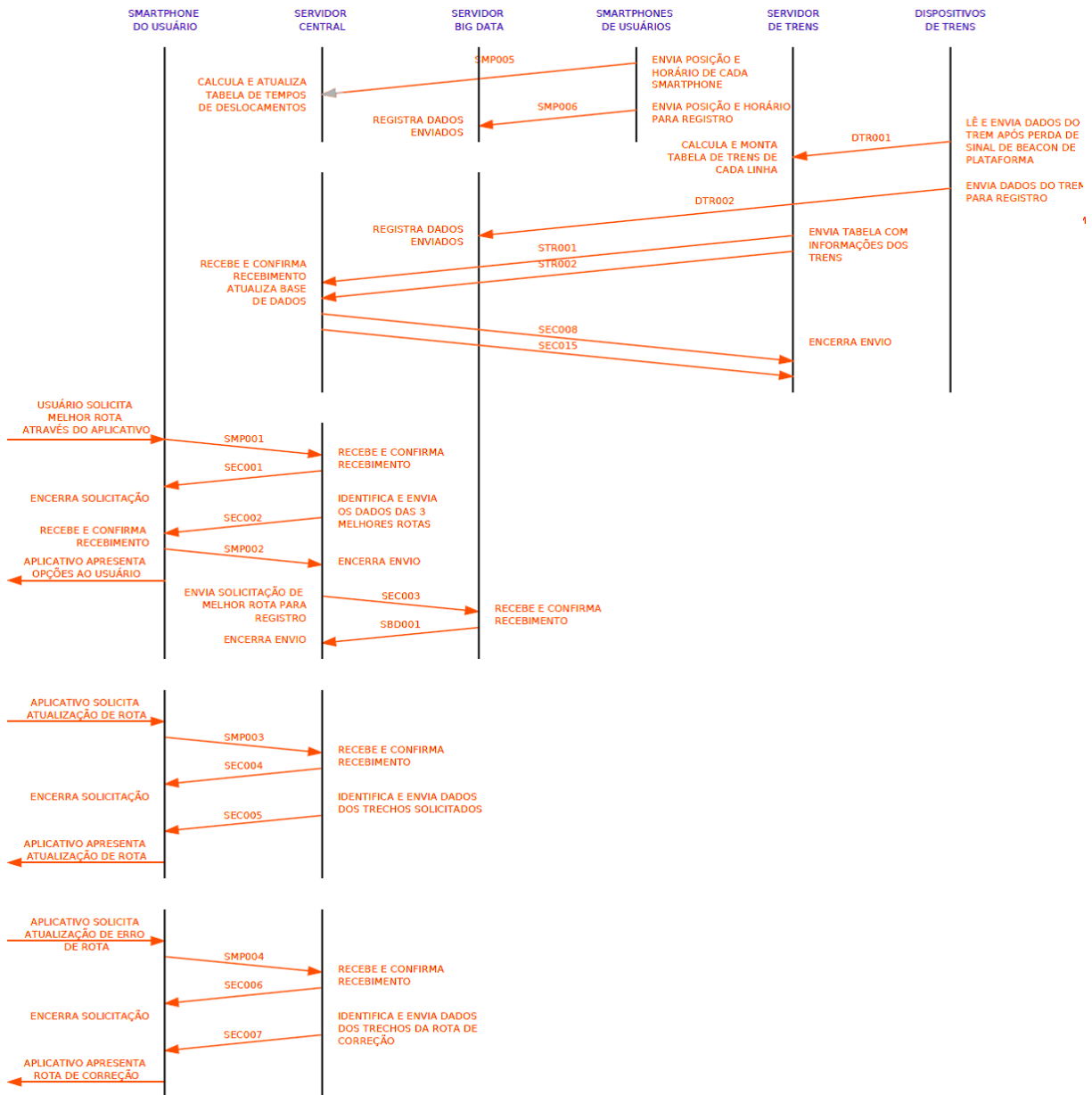
Em condições aceitáveis de conforto nos trens da linha, este serviço pode contribuir para uniformizar a distribuição do carregamento de passageiros ao longo do trem. Por outro lado, no caso do sistema se encontrar saturado, nos horários de pico ou em ocorrências de falhas na rede, este serviço poderá ser prejudicial à operação em razão da possibilidade de usuários permanecerem mais tempo nas plataformas.

Caso exista em algum momento uma falha de comunicação entre a interface do trem com o servidor, o software do servidor deverá sinalizar ao aplicativo do *Smartphone*, que deverá informar ao usuário tal ocorrência, simulando um trem intermediário, mas sem informações de carregamento, baseado no *headway* momentâneo da linha.

Procedimento de Comunicação:

Seguindo a descrição funcional do item 4.4.2 , foi gerado o diagrama da Figura 5 seguinte, ilustrando o procedimento de comunicação entre os diferentes participantes deste serviço.

Figura 5 - Procedimento de comunicação para o serviço Melhor Trem

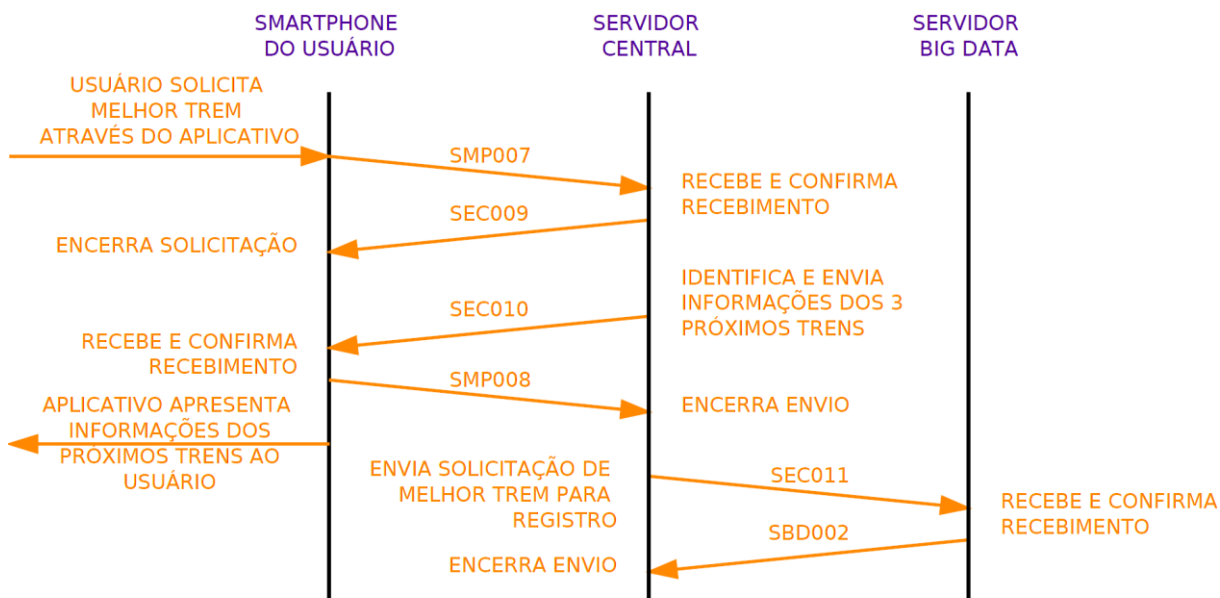


Fonte: Tamura (2016)

O serviço MELHOR TREM é iniciado pelo usuário através do aplicativo de seu Smartphone. O aplicativo solicita ao Servidor Central apresentar a lotação dos próximos 3 trens para uma determinada plataforma (SMP007). O Servidor Central recebe a mensagem e envia confirmação de recebimento (SEC009). O Servidor Central consulta a sua tabela de trens atualizada e envia as informações dos próximos 3 trens (SEC010). O *Smartphone* recebe e envia confirmação de recebimento (SMP008). O Smartphone, de posse das informações, carrega-as na tela ao usuário. O Servidor Central, ainda envia registro da solicitação ao Servidor

Big Data (SEC011). O Servidor Big Data recebe e envia confirmação de recebimento (SBD002). Segue a rotina descrita em destaque na Figura 6.

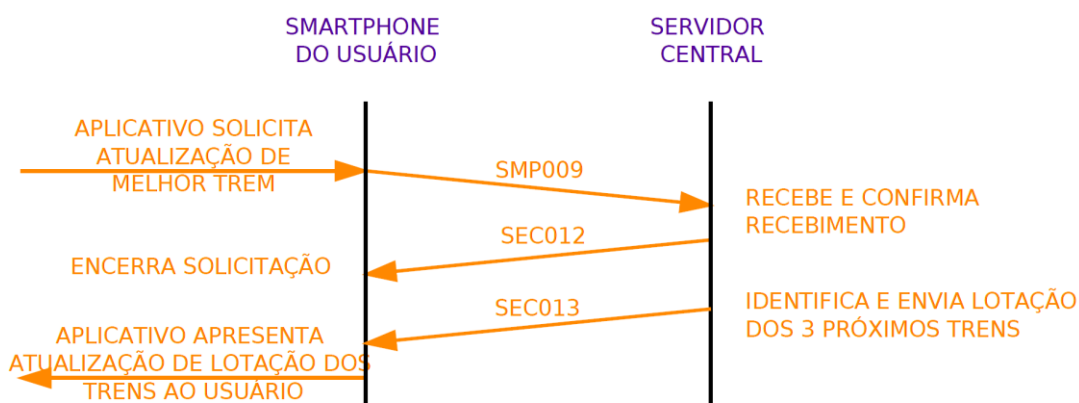
Figura 6 - Procedimento principal do serviço Melhor Trem



Fonte: Tamura (2016)

Estando a tela de MELHOR TREM aberta, o aplicativo envia automaticamente solicitação de atualização a cada 30s ao Servidor Central (SMP009). O Servidor Central recebe a mensagem e envia confirmação de recebimento (SEC012). O Servidor Central consulta a sua tabela de trens atualizada e envia as informações dos próximos 3 trens (SEC013). Segue a rotina descrita em destaque na Figura 7:

Figura 7 - Procedimento de atualização do serviço Melhor Rota



Fonte: Tamura (2016)

O procedimento para manter as informações dos trens atualizadas no Servidor Central já foi descrito no item. 4.10.1.

#### 4.4.3 MELHOR SERVIÇO

Descrição Operacional: Esta ferramenta oferece ao usuário, apenas com um único toque, um canal de comunicação com destaque para as principais reclamações ou melhorias conhecidas atualmente pelo Metrô, relacionadas a ambientes e equipamentos. Além disto, partes dos dados do contato podem ser preenchidas automaticamente pelo aplicativo, deixando o usuário focado no objeto do contato e, também, o registro fica mais bem estruturado, facilitando a análise e tratamento posterior. Neste segmento, descrevemos os principais recursos operacionais do serviço Melhor Serviço, passo-a-passo:

- Já com o aplicativo aberto no *Smartphone*, o usuário seleciona o botão “MELHOR SERVIÇO” na tela do aplicativo;
- O aplicativo abrirá uma tela com as seguintes opções:
  - LUMINOSIDADE;
  - TEMPERATURA DO AR-CONDICIONADO OU VENTILAÇÃO NOS TRENS;
  - LIMPEZA DOS TRENS OU ESTAÇÕES;
  - FREADAS BRUSCAS OU SOLAVANCO;
  - INFILTRAÇÕES EM ESTAÇÕES;
  - PROBLEMAS EM EQUIPAMENTOS DE TRANSPORTE VERTICAL (elevadores, escadas rolantes, ECRE - Elevador de Cadeira de Rodas para Escada, esteira rolante etc.);
  - APARELHO SONORO ALTO;
  - OUTROS, para contato não coberto pelos outros botões;
- Após seleção do tipo de contato, o aplicativo abrirá nova tela com os seguintes campos:
  - Identificação da linha;
  - Identificação do trem e número do carro;
  - Local da estação.
- Na abertura da última tela, o aplicativo irá procurar a presença de *Beacons* nas proximidades por um breve período (até 1 segundo). Caso *Beacons* válidos sejam detectados, os campos de localização serão automaticamente preenchidos conforme características dos *Beacons* reconhecidos e, mesmo

assim, haverá recursos para alterações e preenchimentos manuais destes campos.

- O botão “ENVIAR” somente será habilitado após o preenchimento dos campos obrigatórios para cada tipo de contato, que deverão ser sinalizados ao usuário como pendentes durante o preenchimento do contato.
- Após o preenchimento de todos os campos necessários ao tipo de contato, o usuário pressiona o botão “ENVIAR”.
- O aplicativo do *Smartphone* envia o contato aos Servidores do SID para tratamento. Os servidores recebem e retornam confirmação de recebimento.

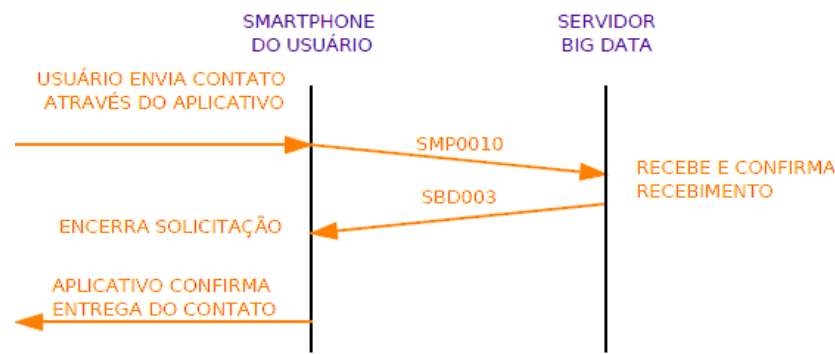
Para alguns tipos de contatos, o *Smartphone* do usuário pode coletar dados de seus sensores para mensurar e complementar o contato. São exemplos:

- LUMINOSIDADE: medição automática da intensidade luminosa enquanto o contato está sendo registrado;
- TEMPERATURA DO AR-CONDICIONADO OU VENTILAÇÃO NOS TRENS: medição automática de temperatura enquanto a reclamação está sendo registrada;
- APARELHO SONORO ALTO: medição automática de ruído enquanto a reclamação está sendo registrada.

Procedimento de Comunicação entre Equipamentos:

Seguindo a descrição funcional do item anterior foi gerado o diagrama da Figura 8 a seguir, ilustrando o procedimento de comunicação entre os diferentes participantes deste serviço.

Figura 8 - Procedimento de comunicação para a ferramenta Melhor Serviço



Fonte: Tamura (2016)

O serviço MELHOR SERVIÇO é iniciado pelo usuário através do aplicativo de seu Smartphone. O aplicativo envia ao Servidor Big Data os dados relativos ao motivo do contato (SMP010). O Servidor Big Data recebe a mensagem e envia confirmação de recebimento (SBD003). O aplicativo apresenta mensagem na tela do *Smartphone* dizendo que a mensagem foi enviada com sucesso.

4.4.4 VERIFICAÇÃO DE CAPACIDADE DA REDE MÓVEL CELULAR

Diante dos diagramas apresentados nas figuras anteriores, destacamos as mensagens SEC002 para verificação de tráfego de dados celulares por possuírem maiores conteúdos de dados.

A seguir, detalhamento dos campos do pacote da mensagem SEC002:

Tabela 3 - Campos do pacote de dados da mensagem SEC002

5	ID DO SERVIÇO	
4	CÓDIGO AUXILIAR	
17	HORÁRIO	
2	Q. DE ROTAS ENCONTRADAS	
5	Q. DE ALTERAÇÕES DE DIREÇÃO NA 1ª ROTA	
10	1ª ESTAÇÃO INTERMEDIÁRIA	
16	TE ATÉ A 1ª EI	
10	2ª ESTAÇÃO INTERMEDIÁRIA	
16	TE ATÉ A 2ª EI	
10	Nª ESTAÇÃO INTERMEDIÁRIA	
16	TE ATÉ A Nª EI	
10	ÚLTIMA ESTAÇÃO INTERMEDIÁRIA	
16	TE ATÉ A ÚLTIMA EI	
10	Nª ESTAÇÃO DESTINO	
16	TE ATÉ A ESTAÇÃO DESTINO	
5	Q. DE ALTERAÇÕES DE DIREÇÃO NA 1ª ROTA	
10	1ª ESTAÇÃO INTERMEDIÁRIA	
16	TE ATÉ A 1ª EI	
10	2ª ESTAÇÃO INTERMEDIÁRIA	
16	TE ATÉ A 2ª EI	
10	Nª ESTAÇÃO INTERMEDIÁRIA	
16	TE ATÉ A Nª EI	
10	ÚLTIMA ESTAÇÃO INTERMEDIÁRIA	
16	TE ATÉ A ÚLTIMA EI	
10	Nª ESTAÇÃO DESTINO	
16	TE ATÉ A ESTAÇÃO DESTINO	
5	Q. DE ALTERAÇÕES DE DIREÇÃO NA 1ª ROTA	
10	1ª ESTAÇÃO INTERMEDIÁRIA	
16	TE ATÉ A 1ª EI	
10	2ª ESTAÇÃO INTERMEDIÁRIA	
16	TE ATÉ A 2ª EI	
10	Nª ESTAÇÃO INTERMEDIÁRIA	
16	TE ATÉ A Nª EI	
10	ÚLTIMA ESTAÇÃO INTERMEDIÁRIA	
16	TE ATÉ A ÚLTIMA EI	
10	Nª ESTAÇÃO DESTINO	
16	TE ATÉ A ESTAÇÃO DESTINO	

Fonte: Tamura (2016)

O exemplo da Tabela 3, serve para uma solicitação de Melhor Rota que identificou 3 rotas alternativas para uma determinada estação de origem e outra de destino, e cada rota possui 3 transferências.

O campo “Q. DE ROTAS ENCONTRADAS” serve para identificar a quantidade de rotas encontradas, varia de 0 a 3. O campo “Q. DE ALTERAÇÕES DE DIREÇÃO NA ROTA” serve para indicar a quantidade de conversões ou transferências em cada rota e também serve para identificar até que campo as instruções da 1ª rota terminam e iniciam a rota seguinte. Os campos intermediários são variáveis conforme a complexidade das rotas encontradas. O *Smartphone* tem em sua memória as estações de origem e destino e o mapeamento das estações de transferências da rede metroferroviária. O Servidor Central envia as estações e transferências de alteração de direção ao longo de cada rota, juntamente com os tempos parciais até estas localidades. O tamanho total de dados deste pacote é de 433 bits.

Considerando que a rede 3G atualmente disponibiliza no mínimo 400kbps, então, a mensagem seria transmitida em 2ms, considerando transporte em protocolo UDP e uso de dados exclusivo ao SID. Entretanto, uma implantação de rede celular deve levar em consideração necessidades de outras funcionalidades, por ex., serviços de videofone demandam capacidade de fluxo superior de 384kbps (GABOS, 2013).

Devido ao volume de dados de cada mensagem ser pequeno e para simplificar os procedimentos de comunicação, a sugestão é o uso de tecnologia UDP para transporte dos dados entre os equipamentos do SID e interfaces com *Smartphones* e Dispositivos nos Trens. Como pôde ser visto nos capítulos anteriores, para este projeto, consideramos o uso de um protocolo de comunicação especial para aprimorar o uso dos pacotes.

Uma observação sobre o serviço Denúncia é que ele pode ter o recurso de anexar fotos, porém, o tamanho do pacote aumentará consideravelmente, necessitando o uso de outra tecnologia para transporte dos pacotes.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através da metodologia deste trabalho, foi possível desenvolver alguns aspectos teóricos que contribuem com a materialização da ideia inicial de aproveitar parte do potencial de leitura e processamento de informações dos dispositivos móveis dos passageiros, comumente utilizados dentro do salão dos trens, ou durante as esperas na plataforma.

Durante a elaboração do trabalho, o orientador pode contribuir, além dos assuntos tecnológicos, na gestão de informações e nos esforços de desenvolvimento para o cumprimento da meta da monografia e do projeto.

Em função do tempo, não foi possível realizar as estimativas iniciais para o dimensionamento preliminar dos servidores, da estimativa do custo de implantação, bem como idealizar os possíveis modelos de negócios para conceber, desenvolver, financiar, implantar, gerenciar e dar manutenção para esta plataforma. Na atual etapa do processo, ainda com o foco na concepção inicial da arquitetura, também não foi possível identificar quais outros possíveis serviços e tecnologias externas que podem, em algum cenário futuro, eventualmente superar as qualidades e os benefícios oferecidos por esta plataforma.



## 6 CONCLUSÕES

Tendo em vista as tendências de *Internet* das Coisas (IoT) e a capacidade das redes e dispositivos, bem como as tendências de interação e colaboração dos usuários, foi concebida uma plataforma para o desenvolvimento e a implantação rápida de serviços para uma rede de transporte sobre trilhos baseada fortemente em *Beacons*.

O estudo de serviços iniciais do SID demonstrou que o sistema pode ser atrativo a ponto de motivar a instalação e uso de aplicativo do SID nos smartphones pessoais dos usuários, que, após instalado, se tornam dispositivos de alimentação de dados de desempenho da rede metroferroviária.

Os benefícios do SID abrangem usuários da rede metroferroviária, áreas operacionais e de manutenção de Operadoras, órgãos reguladores, investidores. E os serviços podem ser oferecidos através de aplicativos de smartphones aos usuários e terminais de consulta dentro do Metrô para visualização de eventos em andamento e consulta e geração de relatórios sobre dados atuais armazenados no sistema.

A arquitetura proposta baseada em servidores, smartphones, dispositivos eletrônicos com diagnóstico e alta conectividade demonstrou facilidade em agregar novas funções e expandir capacidades de processamento e armazenamento.

Por fim, a descrição de recursos de serviços aos usuários, detalhamento de processos internos e procedimentos de comunicação de alguns serviços provaram em teoria que a plataforma proposta é viável, funcional, escalável e eficiente.

## 7 RECOMENDAÇÕES E PRÓXIMOS PASSOS

Seguem algumas sugestões para aprofundamento e prosseguimento deste trabalho:

- Detalhamento dos requisitos não funcionais do sistema;
- Executar a Prova de Conceito (PoC) de todos os serviços iniciais e analisar os resultados, retrabalhando as especificações;
- Fornecer mais subsídios para a maturação do projeto e para as provas de conceito de todos os módulos da plataforma
- Monitorar ou estar atento às mudanças que completem o atendimento de todos os requisitos de sistema necessários para viabilizar a implantação, tais como os próximos *upgrades* na infraestrutura da rede móvel nos ambientes internos da infraestrutura de transportes como túneis e estações;
- Criar um ambiente experimental em Laboratório para testar serviços;
- Identificar possíveis interessados internos e propor modelos de negócios;
- Criar documentos que subsidiem a elaboração da especificação técnica para a contratação;
- Contratar empresa especializada para elaborar o projeto básico do SID, consolidando todas as funções esperadas nas interfaces gráficas, identificar entradas e saídas de cada módulo de aplicação nos *Smartphones* e servidores, dimensionar os servidores e dispositivos de comunicação, verificar o funcionamento do SID nas redes de dados disponíveis.
- Além da especificação dos componentes do SID, será necessário contratar empresas especializadas para especificar os dispositivos que fazem a interface com o SID, como exemplo a interface embarcada dos trens para a leitura das pressões das bolsas de ar e a comunicação entre o Servidor Trem com informação da tabela horária de trens do CCO.
- Explorar novas formas de integrar este projeto aos demais sistemas existentes do Metrô tal como o sistema de videomonitoramento, onde existem restrições de

largura de banda para a transmissão de imagens do trem bem como de recursos humanos para o monitoramento efetivo de um grande número de câmeras (o passageiro integrado ao ITS como trigger de eventos para a seleção de imagens nos postos de monitoramento).

- O termo Big Data foi utilizado neste trabalho, porém, Big Data é um tema complexo que não foi explorado neste trabalho e que pode ser melhor estudado em trabalhos futuros.
- O detalhamento dos módulos, que compõe esta arquitetura, e os diversos modelamentos de software e de extração de dados dos servidores podem ser eventualmente sugestões da UNIMETRO para as próximas monografias do Curso de Tecnologia Metroferroviária do PECE da Escola Politécnica da USP.

## REFERÊNCIAS

AISLELABS. The Hitchhikers Guide to iBeacon Hardware: A Comprehensive Report by Aislelabs (2015), 4 mai 2015. Disponível em: <http://www.aislelabs.com/reports/beacon-guide/>. Acesso em 05 mar 2016.

ARAUJO, Romulo Cesar Carvalho de. Utilização do Sistema Telemétrico Dinâmico RailBee para estimativa em tempo real do número de passageiros e análise do desempenho do TUE. VI Prêmio Alstom de Tecnologia Metroferroviária, 2009. Disponível em: [www.revistaferroviaria.com.br/nt2009/trabalhos/alstom/01.pdf](http://www.revistaferroviaria.com.br/nt2009/trabalhos/alstom/01.pdf). Acesso em 14 abr 2015.

BITKNITTING IN SLING. Sling sub-experience Local Alerts – Part 2 – Adding Location, 13 jan 2015. Disponível em: <https://bitknitting.wordpress.com/2015/01/13/sling-sub-experience-local-alerts-part-2-adding-location/>. Acesso em 05 mar 2016.

BODEN, Rian. Brazilian carriers test NFC in Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 21 out 2013. Disponível em: <http://www.nfcworld.com/2013/10/21/326443/brazilian-carriers-test-nfc-rio-de-janeiro/>. Acesso em 16 mar 2015.

BODEN, Rian. LA Metro to get Bluetooth beacons, Los Angeles, 12 fev 2015. Disponível em: <http://www.nfcworld.com/2015/02/12/334096/la-metro-get-bluetooth-beacons/>. Acesso em 16 mar 2015.

BOLZANI, Caio Augustus Moraes. Residências Inteligentes-Domótica, Redes Domésticas e Automação Residencial, Editora Livraria da Física, São Paulo, 2004.

BOMBARDIER TRANSPORTATION. Orange M2M Connect provides best network coverage for Bombardier, jun 2005. Disponível em: <http://www.computerweekly.com/feature/Bombardier-Transportation>. Acesso em 14 abr 2015.

COPCHE, Felipe. Diagnóstico do Sistema Metroferroviário Utilizando Tecnologia Embarcada de Smartphones - Arquitetura, Monografia (Especialização em Tecnologia Metroferroviária), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo-USP,

Programa de Educação Continuada em Engenharia-PECE. São Paulo, 2016. No prelo.

GABOS, Denis. Apostilas de Redes Convergentes, Módulo TMF-017-Comunicação de Dados e Redes de Computadores em Sistemas Metroferroviários, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo-USP, Programa de Educação Continuada em Engenharia-PECE, São Paulo, 2013.

GORENCE, Thomas. Experimenting with iBeacons, mai 2015. Disponível em: <http://ideasorlando.com/blog/experimenting-with-ibeacons/>. Acesso em 05 mar 2016.

GUIMARÃES, Alexandre de Almeida. Eletrônica Embarcada Automotiva, Editora Érica, São Paulo, 2007.

HAN, Jun; OWUSU, Emmanuel; NGUYEN, Thanh-Le; PERRIG, Adrian; ZHANG, Joy. ACComplice: Location Inference using Accelerometers on Smartphones, Pensilvânia. Carnegie Mellon University. Disponível em: [http://users.ece.cmu.edu/~junhan/ACComplice\\_Han.pdf](http://users.ece.cmu.edu/~junhan/ACComplice_Han.pdf). Acesso em 14 abr 2015.

IOT. Bluetooth LE and iBeacon Primer. Disponível em: <http://developer.iotdesignshop.com/tutorials/bluetooth-le-and-ibeacon-primer/>. Acesso em 14 abr 2015.

JENKINS, Henry. Cultura da Convergência-As mídias tradicionais são passivas. As mídias atuais participativas e interativas. Elas coexistem e estão em rota de colisão. Bem-Vindo à revolução do conhecimento. Bem-Vindo à cultura da convergência, Editora Aleph, São Paulo, 2009.

KONTRON. Improving Transportation Safety, Efficiency, and the Customer Experience with the Internet of Things (IoT), Alemanha, 2014.

LOBO, Renato. Plataforma de trem na Holanda indica vagão mais vazio, Via Trólebus, 04 mai 2015. Disponível em: <http://viatrolebus.com.br/2015/05/plataforma-de-trem-na-holanda-indica-vagao-mais-vazio/>. Acesso em 05 mai 2015.

LUGLI, Alexandre Baratella; SANTOS, Max Mauro Dias. Redes Industriais para Automação Industrial-AS-I, PROFIBUS, PROFINET, Editora Érica, São Paulo, 2010.

MALTES, Celso; VENACIO, Filipe Canassa; ZIROLDO, Marcelo. MonET – Sistema de Monitoramento dos Eventos do Trem, Monografia (Especialização em Tecnologia Metroferroviária), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo-USP, Programa de Educação Continuada em Engenharia-PECE, São Paulo, 2012.

MTA Transportation Reinvention Commission. A Bold Direction for Leading Transportations in the Next 100 Years, Nova Iorque, nov 2014.

MTA. More data. More connectivity. More smartphone apps. Make New York's transit experience three times better, Nova Iorque. Disponível em: <http://2014mtaappquest.devpost.com/>. Acesso em 19 mai 2015.

NEUBAUER, Miranda. 'Big Ideas' for transit: subway beacons, data stories, smart helmets, Nova Iorque, 24 set 2014. Disponível em: <http://www.capitalnewyork.com/article/city-hall/2014/09/8553289/big-ideas-transit-subway-beacons-data-stories-smart-helmets>. Acesso em 12 mai 2015.

PAULINOS, Eduardo. Após mais de cinco anos passageiros ainda reclamam do sinal de celular no Metrô, Grupo Diário, São Paulo, 2014.

PENATTI, Giovana. Metrô de São Paulo ganha aplicativo oficial para Android, 2014. Disponível em: <https://tecnoblog.net/142037/metro-sao-paulo-aplicativo-oficial-android/>. Acesso em 04 mar 2015.

PRATAMA, Azkario Rizky; WIDYAWAN, HIDAYAT, Risanuri. Smartphone-based Pedestrian Dead Reckoning as an Indoor Positioning System. Information Technology and Electrical Engineering Department, Gadjah Mada University, Indonesia. Disponível em: [http://www.academia.edu/9843772/Smartphone-based\\_Pedestrian\\_Dead\\_Reckoning\\_as\\_an\\_Indoor\\_Positioning\\_System](http://www.academia.edu/9843772/Smartphone-based_Pedestrian_Dead_Reckoning_as_an_Indoor_Positioning_System). Acesso em 14 abr 2015.

RAILWAY-TECHNOLOGY.COM. The future is here – the best innovations in railway station technology, 17 nov 2011. Disponível em: <http://www.railway-technology.com/features/featurethe-future-is-here-the-best-innovations-in-railway-station-technology/>. Acesso em 14 abr 2015.

RAMOS, Jadeilson de Santana Bezerra. Instrumentação Eletrônica Sem Fio-Transmitindo Dados com Módulos Xbee ZigBee e PIC16F877A, Editora Érica, São Paulo, 2012.

REDAÇÃO CICLOVIVO. 6 aplicativos que ajudam a escapar do trânsito, atualizado em 26 set 2014. Disponível em: <http://ciclovivo.com.br/noticia/6-aplicativos-que-ajudam-a-escapar-do-transito/>. Acesso em 04 mar 2015.

RIBEIRO, Renato Guimarães; TOLEDO, Juliana Iara de Freitas; SCHIAFFINO, Daniela Ponce de Leon; PEREIRA, João Carvalho. Aplicação de ITS para avaliar o desempenho do sistema de transporte por ônibus inserido no tráfego urbano. Revista dos Transportes Públicos – ANTP, Ano 37, 2015, 1º quadrimestre. p. 49-60.

SAMSUNG BUSINESSVOICE TEAM. How Smartphones Will Transform The Future Of Transportation, 28 JAN 2015. Disponível em: <http://www.forbes.com/sites/sites/samsungbusiness/2015/01/28/how-smartphones-will-transform-the-future-of-transportation/#52d044b761d0>. Acesso em 14 abr 2015.

SAVVAS, Antony. Train Company Uses Orange M2M to Monitor Rolling Stock Remotely, abr 2004. Disponível em: <http://www.computerweekly.com/feature/Train-company-uses-Orange-M2M-to-monitor-rolling-stock-remotely>. Acesso em 14 abr 2015.

SCHMIDT, Eric; COHEN, Jared. A Nova Era Digital-Como será o futuro das pessoas, das nações e dos negócios, Editora Intrínseca, Rio de Janeiro, 2013.

SCHMIDT, Eric; ROSENBERG, Jonathan. Como o Google funciona, Editora Intrínseca, Rio de Janeiro, 2015.

SCHÖNBERGER, Viktor Mayer; CUKIER, Kenneth. Big Data-Como extrair volume, variedade, velocidade e valor na avalanche de informação cotidiana, Editora Elsevier, Rio de Janeiro, 2013.

SEGAN, Sascha. Going Online While Underground: 12 Cities Compared, Disponível em: <http://www.pcmag.com/article2/0,2817,2489108,00.asp>. Acesso em 07 mar 2016.

SHANNON, Eilyn; BELLISIO, Angela. The MTA in the Age of Big Data: Transforming the Wealth of MTA Data into Accessible, Meaningful, Visual, Interactive Information, Nova Iorque, mar 2013. Permanent Citizens Advisory Committee to the MTA.

SILKE Elvery. Every Journey matters – a pan-TfL Customer Information Strategy. Eutrotransportemaganize.com., Issue 1, UK, 2016. p. 46–p 50.

SIMÕES, Marcelo Godoy; SHAW, Ian S. Controle e Modelagem Fuzzy, FAPESP, Editora Blucher, São Paulo, 2007.

SMITH, Kevin. Real-time Revolution, Bélgica, abr 2013. International Railway Journal-IRJ, volume 53, Issue 4. p. 40-46.

STINSON, Liz. Guiding the Blind Through London's Subway with Estimote Beacons, 18 mar 2015. Disponível em: <http://www.wired.com/2015/03/blind-will-soon-navigate-london-tube-beacons/>. Acesso em 04 mai 2015.

STOCKX, Thomas; SCHÖNING, Johannes. Going Deeper Underground: Using accelerometers on mobile devices to enable positioning on underground public transportation systems, Bélgica, 2013-2014. Monografia de Mestrado, Universiteit Hasselt.

TAGIAROLI, Guilherme. Média de velocidade do 3G no Brasil fica abaixo do que operadoras prometem, diz pesquisa, UOL, São Paulo, 06 fev 2013. Disponível em: <http://tecnologia.uol.com.br/noticias/redacao/2013/02/06/media-de-velocidade-do-3g-no-brasil-fica-abaixo-do-que-operadoras-prometem-diz-pesquisa.htm>. Acesso em 14 abr 2015.

TELECO. Estatísticas de Celulares no Brasil, Brasil, 18 mar 2016. Disponível em: <http://www.teleco.com.br/ncel.asp>. Acesso em 19 mar 2016.

THE ARUP RAIL BUSINESS. Future of Rail 2050, Londres, 2015.

THE ESTIMOTE TEAM BLOG. Reality Matters, 15 mar 2016. Disponível em: <http://blog.estimote.com/>. Acesso em 29 mar 2016.

THE PAYPERS. OTI enables NFC ticketing to a railway system in Poland, Polônia, 1 maio 2014. Disponível em: <http://www.thepayers.com/mobile-payments/oti->



enables-nfc-ticketing-to-a-railway-system-in-poland/754996-16. Acesso em 16 mar 2015.

THOMAZINI, Daniel; ALBUQUERQUE, Pedro Urabano Braga de. Sensores Industriais-Fundamentos e Aplicações, Editora Érica, São Paulo, 2005.

WABOSO, David. Apps on the Underground: transforming London's railway. Infrastructure Intelligence, UK, 17 Set 2014. Disponível em: <http://www.infrastructure-intelligence.com/article/sep-2014/apps-underground-transforming-londons-railway>. Acesso em 14 abr 2015.

WARSKI, Adam. How do iBeacons work?, 13 jan 2014. Disponível em: <http://www.warski.org/blog/2014/01/how-ibeacons-work/>. Acesso em 05 mar 2016.

WONG, Grace. CTA: Upgrades for 4G service completed in Red, Blue line subways, Chicago Tribune, Estados Unidos, 29 dez 2015. Disponível em: <http://www.chicagotribune.com/news/local/breaking/ct-cta-4g-wireless-service-20151229-story.html>. Acesso em 07 mar 2016.