

FELIPE COPCHE

**DIAGNÓSTICO DO SISTEMA METROFERROVIÁRIO
UTILIZANDO TECNOLOGIA EMBARCADA DE SMARTPHONES -
ARQUITETURA**

São Paulo

2016

FELIPE COPCHE

**DIAGNÓSTICO DO SISTEMA METROFERROVIÁRIO
UTILIZANDO TECNOLOGIA EMBARCADA DE SMARTPHONES -
ARQUITETURA**

**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**

FELIPE COPCHE

**DIAGNÓSTICO DO SISTEMA METROFERROVIÁRIO
UTILIZANDO TECNOLOGIA EMBARCADA DE SMARTPHONES -
ARQUITETURA**

**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**

Catalogação-na-publicação

Copche, Felipe

DIAGNÓSTICO DO SISTEMA METROFERROVIÁRIO UTILIZANDO
TECNOLOGIA EMBARCADA DE SMARTPHONES - ARQUITETURA / F.

Copche -- São Paulo, 2016.

64 p.

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

1.Intelligent Transportation Systems 2.Collaboration Platform 3.Indoor
Location 4.Crowdsensing 5.Rail Transportation I.Universidade de São Paulo.
Escola Politécnica. PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia
II.t.

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 (*Beacons*) 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. Com todos os requisitos de sistemas atendidos, a implantação da arquitetura demonstra ser factível. Em função da abrangência e do impacto deste trabalho para os processos atuais de gestão das operadoras de transporte, recomenda-se o aprofundamento de alguns estudos, já que a concepção de um sistema de coleta de informações de transporte em larga escala, e que forneça informações confiáveis, primeiramente necessita superar diversos desafios.

Palavras-chave: Inteligência Coletiva. *Crowdsensing*. Plataforma Colaborativa. Localização *Indoor*. *Beacon*. *Bluetooth*. *Smartphone*. 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 (Beacons) 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. With all system requirements attended, the deployment of the architecture has proved to be feasible. Due to the scope and the impact of this work to the current management processes of the transportation operators, it is recommended go deeper in some studies, once the design of a system for collecting information of passenger transportation on a large scale, and providing reliable information, firstly needs to overcome several challenges.

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

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tecnologias para localização em ambientes internos	17
Figura 2 - Comparativo entre as distintas gerações da tecnologia móvel	26
Figura 3 - Diagrama básico da interface embarcada do trem	27
Figura 4 - Visão geral da rede de comunicação	33
Figura 5 - Arquitetura básica	34
Figura 6 - Exemplos de terminais de consulta aos dados dos servidores	38
Figura 7 - Arquitetura expandida	40
Figura 8 - Compartilhamento de dados com servidores de terceiros	42
Figura 9 - Interface entre os módulos da arquitetura	43
Figura 10 - Distribuição física dos <i>Beacons</i> na rede metroferroviária	46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AMV	Aparelho de Mudança de Via
ANTP	Associação Nacional de Transportes Públicos
ATM	<i>Automated Teller Machine</i>
ATS	<i>Automatic Train Supervision</i>
AWS	<i>Amazon Web Services</i>
BCU	<i>Brake Control Unit</i>
BLE	<i>Bluetooth Low Energy</i>
BX	Restrição por Baixa Aderência da Via
CAN	<i>Controller Area Network</i>
CAP	Central de Achados e Perdidos do Metrô
CBTC	<i>Communications-Based Train Control</i>
CCO	Centro de Controle Operacional
CCS	Centro de Controle da Segurança do Metrô
CFTV	Círculo Fechado de Televisão
CMC	Departamento de Marketing Corporativo
DCU	<i>Door Control Unit</i>
EC2	<i>Amazon Elastic Compute Cloud</i>
ECRE	Elevador de Cadeira de Rodas para Escada
GCI	Gerência de Concepção de Projetos Básicos Civis do Metrô
GCS	Gerência de Concepção e Projetos de Sistemas do Metrô
GNG	Gerência de Negócios do Metrô
GOP	Gerência de Operações do Metrô
GPM	Gerência do Escritório Corporativo de Empreendimentos do Metrô
GPI	Gerência de Planej. e Integração de Transp. Metropolitanos do Metrô
GPRS	<i>General Packet Radio Services</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
GTI	Gerência de Tecnologia da Informação e Comunicação do Metrô
IOT	<i>Internet of Things</i>
ITS	<i>Intelligent Transport System</i>
LAN	<i>Local Area Network</i>
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i>
LTE	<i>Long Term Evolution</i>

MVB	<i>Multifunction Vehicle Bus</i>
NFC	<i>Near Field Communication</i>
O-D	Pesquisa de Origem e Destino
OT	Operador de Trem
OVD	Ouvidoria do Metrô
PCD	Pessoa com Deficiência
PITU	Plano Integrado de Transportes Urbanos para São Paulo
POC	<i>Proof of Concept</i>
PPP	Parceria Público-Privada
PSD	<i>Platform Screen Doors</i>
QR CODE	<i>Quick Response Code</i>
RFID	<i>Radio Frequency Identification</i>
RFP	<i>Request for Proposal</i>
RLSB	<i>Royal London Society for Blind People</i>
RTD	Rede de Transmissão de Dados
SAM	Serviço de Apoio a Manutenção
SCADA	<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i>
SCC	Sistema de Controle Centralizado
SCL	Sistema de Controle Local
SCMVD	Sistema de Comunicação Móvel de Voz e Dados
SIC	Coordenadoria do Metrô de Serviços de Informação ao Cidadão
SID	Sistema de Informação e de Diagnóstico da Rede Metroferroviária
SME	Sistema de Monitoramento Eletrônico
SMM	Sistema de Multimídia
SSO	Sala de Supervisão Operacional
STD	Sistema de Transmissão de Dados
TCMS	<i>Train Control and Monitoring System</i>
TCU	<i>Traction Control Unit</i>
UDP	<i>User Datagram Protocol</i>
UTO	<i>Unattended Train Operation</i>
UUID	<i>Universally Unique Identifier</i>
VAC	<i>Ventilation and Air Conditioning</i>
WLAN	<i>Wireless Local Area Network</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
3.1	MAPEAMENTO INTERNO DE POSIÇÃO NA REDE METROVIÁRIA	16
3.2	SMARTPHONES	21
3.2.1	TIPOS DE DISPOSITIVOS	21
3.2.2	SENSORES DE SMARTPHONES	24
3.3	COMUNICAÇÃO ENTRE SMARTPHONES E SERVIDORES	25
3.4	COMUNICAÇÃO ENTRE TRENS E SERVIDORES	27
4	PROPOSTA DO SISTEMA	32
4.1	VISÃO GERAL	32
4.2	SERVIÇOS INICIAIS	34
4.3	ARQUITETURA BÁSICA	34
4.3.1	TERMINAIS DE CONSULTA DO METRÔ	37
4.3.2	RELATÓRIOS GERENCIAIS	39
4.4	ARQUITETURA EXPANDIDA	40
4.5	ESTRATÉGIA DE DISTRIBUIÇÃO DOS BEACONS NA REDE	44
4.6	SOFTWARES	47
4.6.1	MÓDULOS DE SERVIÇOS E FUNÇÕES NOS SMARTPHONES	47
4.6.2	MÓDULOS DE SERVIÇOS E FUNÇÕES NOS SERVIDORES	48

4.6.3	MÓDULOS DE FUNÇÕES NAS INTERFACES DOS TRENS	49
4.7	REQUISITOS DE SISTEMA	50
4.8	REQUISITOS DE IMPLANTAÇÃO	51
4.9	MODULARIDADE DA ARQUITETURA	53
4.10	PROVA DE CONCEITO TEÓRICO DA ARQUITETURA	53
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	54
6	CONCLUSÕES	55
7	RECOMENDAÇÕES E PRÓXIMOS PASSOS	57

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* (dispositivo *indoor* de localização), são capazes de fornecer suas localizações com precisão.

Esta monografia possui ênfase na descrição da arquitetura e de todos seus elementos visando subsidiar a viabilidade técnica e funcional de uma plataforma expansível e configurável de serviços. Para maiores detalhes dos recursos do SID e das tecnologias que auxiliam o seu funcionamento, a monografia (TAMURA, 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 as 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

Descrição de uma plataforma colaborativa aprimorada de serviços de informações que atendam necessidades atuais e futuras dos passageiros e da Companhia do Metropolitano de São Paulo – Metrô, através de uma arquitetura configurável, expansível e escalável de serviços, concebida a partir da aplicação de novas tecnologias e da presença de passageiros portando *Smartphones* dentro da rede.

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 aprimoradas 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

Na primeira parte do 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, foi descrito o propósito do desenvolvimento desta ferramenta, 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, e encerrando, no capítulo 7 são descritas diversas sugestões para continuidade dos estudos.

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 de conceito teórico 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 se pretende desenvolver neste trabalho, alguns estudos e projetos, relacionados a este tema foram também consultados.

Segue abaixo a relação de alguns estudos acadêmicos consultados e que estão fortemente relacionados ao escopo deste trabalho e que, de certa forma, reforçaram a direção escolhida para este desenvolvimento.

O trabalho de pesquisa de CARDOSO (2014) apresenta um cenário bastante atualizado sobre as necessidades dos usuários e operadoras de transportes terrestre, tomando como vantagem a expansão da rede celular 3G/4G e o crescente número de smartphones equipados com sensores. Explora receitas para incentivar os usuários a contribuírem na alimentação do sistema de monitoramento e o limite de tráfego de dados aceitáveis para as necessidades dos usuários sem comprometer o funcionamento dos smartphones e, também, da privacidade das pessoas.

O trabalho de pesquisa de ALVARO (2012) busca montar um cenário futuro onde a *Internet das Coisas* está inserida no cotidiano da população, devido a ampliação dos serviços de comunicações, e apresenta possibilidades nas áreas de transportes, segurança pública, energia, saúde, educação, água, catástrofes naturais, dentre outras.

O trabalho de pesquisa de BARBARÁN (2006) já visualizava oportunidades de geração de negócios na exploração da localização de celulares pessoais, explorando a aquisição passiva de dados de localização, armazenamento e análise de dados e oferta de serviços baseadas nestas informações.

3 TECNOLOGIAS HABILITADORAS

Neste capítulo, são apresentadas as informações básicas das tecnologias necessárias ao funcionamento do SID e que permitem sua viabilidade técnica para implantar a plataforma colaborativa de serviços. Para este trabalho, ressalta-se a importância da escolha de uma opção de tecnologia disponível comercialmente para o mapeamento de áreas internas, considerando os diferentes tipos de terminais dos usuários e confirmado que os recursos tecnológicos embarcados nestes terminais já podem atender os requisitos do sistema da arquitetura. Outro item crucial para o funcionamento da arquitetura é a definição do mais adequado meio de comunicação entre os terminais dos usuários e os servidores de serviços e de coleta de dados. Por fim, foi descrito também o meio de comunicação escolhido entre o trem e o servidor de informações do trem para registrar a posição e os dados de carregamento de toda a frota em circulação.

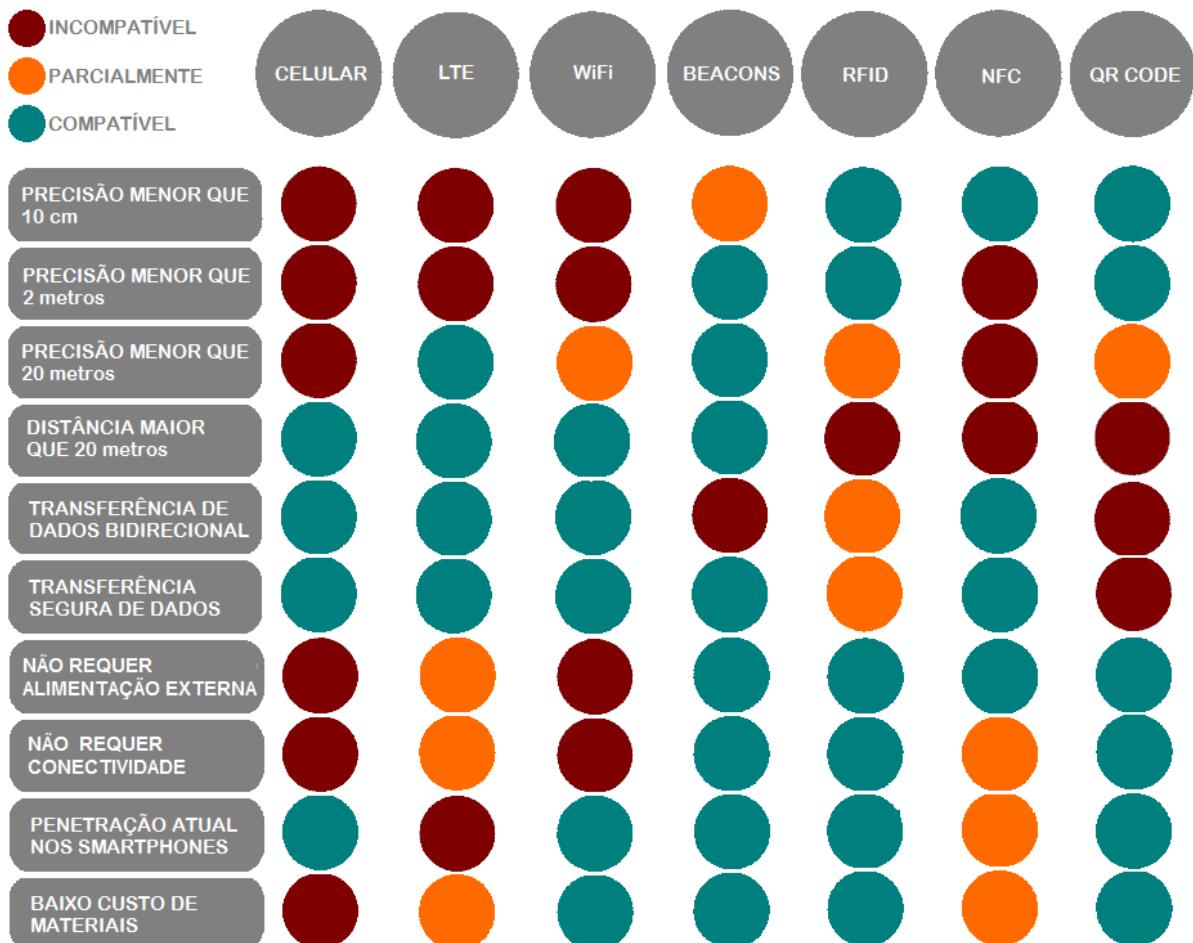
3.1 MAPEAMENTO INTERNO DE POSIÇÃO NA REDE METROVIÁRIA

Uma vez que a arquitetura se baseia na posição aproximada de usuário e do tempo médio do fluxo coletivo de passageiros dentro da rede, foi elaborado o quadro mostrado na Figura 1 relacionando as principais tecnologias existentes para localização em ambientes internos, considerando diferentes configurações de precisão de localização, segurança na transferência de dados, imunidade contra ataques cibernéticos aos dispositivos pesquisados, se existem pré-requisitos como alimentação e de conectividade para funcionar, o grau de penetração nas interfaces dos *Smartphones* e por último o custo de aquisição do dispositivo.

Com base nas informações deste quadro, optou-se pela utilização de *Beacons*, pois atendem plenamente as diferentes necessidades de precisão - ou seja, de 2 metros até acima de 20 metros - para a localização e o acompanhamento da circulação de usuários na rede. Embora a transmissão de dados seja unidirecional, captada somente pelos aparelhos dos usuários, esta característica torna-se também uma vantagem, pois impede que *hackers* alterem o endereçamento atribuído a cada dispositivo. Outros pontos favoráveis são que a alimentação externa pela rede elétrica é somente uma opção; uma vez configurado não requer qualquer tipo de rede; se comunica por *Bluetooth*, onde a grande maioria dos *Smartphones* possui esta interface; é compacto e de fácil instalação, bastando fixá-lo em um local seguro

contra furtos e vandalismos; e possui um custo relativo bem atrativo para cada dispositivo, atualmente cerca de USD 5,00 por unidade. Existem outros fornecedores desta tecnologia no mercado, eventualmente mais estruturados no suporte técnico aos integradores de *Beacons*, dentre eles pode-se citar a fabricante holandesa de chipsets BLE chamada de *NXP*.

Figura 1 - Tecnologias para localização em ambientes internos



Fonte: GSMA, 2014, tradução Felipe Copche.

“Embora simples, é poderoso”. Esta frase, criada durante a elaboração deste trabalho, reflete o que é um dispositivo *Beacon*, que também tem todo seu mérito de receber um ícone idealizado pelo papel importante que exerce em conjunto para toda a arquitetura.

Beacons são dispositivos eletrônicos compactos que transmitem periodicamente pequenas quantidades de dados digitais por radiofrequência com um raio de alcance limitado e configurável, desde 1 metro de distância até cerca de 50 metros. Sua

transmissão de dados utiliza a tecnologia BLE (*Bluetooth Low Energy*) e, dentre as inúmeras possibilidades e aplicações de uso, foi desenvolvido para ser utilizado em soluções de localização em ambientes internos de dispositivos móveis pessoais como *Smartphones* e *tablets*. Além dos custos de aquisição e de implantação serem relativamente acessíveis, permite que um determinado dispositivo tenha a informação mais precisa sobre a sua respectiva localização, tornando-se uma opção emergente mais interessante em relação às outras tecnologias existentes para este fim, mostradas no quadro comparativo anterior tais como a triangulação pelas torres de ERB (Estação Rádio Base) através da rede celular, ou até mesmo pela proximidade à um ponto de acesso WiFi. A localização pelo sistema GPS, utilizada em aplicativos de escolha de rotas para transportes coletivos por ônibus, não foi mencionada porque os sinais dos satélites somente podem ser captados pelo aparelho do usuário em ambientes externos.

Cada *Beacon* pode ser configurado da seguinte forma:

- Potência de transmissão – Quanto maior for o raio de transmissão, maior o consumo das baterias. Para os *Beacons* de fluxos de passagem na rede como as entradas de estações, linhas de bloqueio, plataformas, bem como os *Beacons* dos salões dos trens, será utilizado o raio de cobertura de 15 metros, Para *Beacons* de máquinas do tipo ATM para recarga de cartões de transporte, bilheterias, elevadores, entradas e saídas de escadas rolantes, pode ser utilizado o raio de cobertura de 3 metros.
- Frequência de transmissão – Também existem algumas opções de configuração da frequência de transmissão do dispositivo que também influí diretamente na autonomia da bateria. Para *Beacons* posicionados em locais de passagem, será configurado o tempo de 645 ms enquanto *Beacons* em locais onde o usuário permanece um período maior que alguns segundos sem se deslocar, tais como elevadores, bilheterias, ATM, salões dos trens e plataformas a frequência de transmissão poderá ser menor.

As configurações de potência e de frequência de transmissão influenciam na autonomia da bateria. Para a configuração de *Beacons* pessoais, que serão abordados ainda neste tópico, uma configuração de rastreamento de 3 metros dos

objetos pessoais permitiria a autonomia da bateria em torno de 35 meses caso o modelo utilizasse bateria do tipo 1000 mAh.

Os parâmetros de endereçamento dos *Beacons* se dividem em duas partes, sendo uma definida já na fabricação do dispositivo (UUID) e outra configurável pelo proprietário (Major e Minor) antes de sua aplicação, porém ambas as partes podem ser alteradas através de um aplicativo de gerenciamento para os sistemas operacionais de dispositivos móveis iOS e Android.

Nos campos reservados para o UUID, que são 32 dígitos hexadecimais, está o código do fabricante, além da possível identificação da aplicação e do proprietário, de forma a garantir a diferenciação dos *Beacons* de outras redes. Os códigos definidos e referentes à identificação da aplicação e do proprietário podem ser informados ao fabricante durante o pedido de compra. Se necessário, tecnicamente uma empresa pode utilizar múltiplos UUIDs para identificar diferentes unidades de negócios, por exemplo.

Os valores de *Major* e *Minor* (valor mais significativo e valor menos significativo) são números atribuídos a cada *Beacon* a fim de identificá-los com maior precisão do que utilizando o valor UUID sozinho. Os valores mais significativos e menos significativos são valores inteiros de números de 1 a 65535. Os valores mais significativos são usados para identificar e distinguir um grupo. Por exemplo, todos os dispositivos instalados que cobrem o raio de circulação de passageiros pela linha de bloqueio, dentro em um determinado piso da estação, podem ter um mesmo valor mais significativo atribuído.

Os valores menos significativos podem ser usados para identificar e distinguir um único *Beacon* da linha de bloqueio de todos os demais do seu grupo, por exemplo.

Desta forma é possível criar um plano de endereçamento de *Beacons* único para a CMSP e que atenda todos os locais possíveis de serem mapeados dentro da rede. Para o caso de futuras expansões no mapeamento da posição dos usuários fora da rede e em outras operadoras, é possível manter o padrão de endereçamento estabelecido para os locais das estações e no salão dos trens para os valores *Major* e *Minor*, alterado somente o valor do UUID, facilitando desta forma a atualização do aplicativo e dos softwares dos servidores.

Para os *Beacons* a serem distribuídos nos trens e estações para o sistema SID, foi escolhido o modelo do fabricante polonês Kontakt.io em função do seu tamanho compacto e de sua boa autonomia da energia, graças a melhor performance do chipset utilizado e do tipo de bateria.

Além da distribuição estratégica de *Beacons* nas estações e trens, é necessário deixar habilitada a interface *Bluetooth* dos *Smartphones* de cada usuário durante toda a viagem, inclusive ao entrar e ao sair da estação. O que pode futuramente favorecer este hábito são os dispositivos pessoais denominados de *Wearable Technologies* ou tecnologias vestíveis, detalhados posteriormente neste trabalho. Caso esta moda de dispositivos vestíveis demore em emplacar e o usuário prefira economizar uma pequena parcela da carga de bateria, uma função de leitura de *Beacons* pessoais foi também concebida no aplicativo, onde o usuário pode cuidar de seus pertences configurando, a qualquer momento, a distância de monitoração entre o *Smartphone* e seus objetos, porém obviamente com a interface *Bluetooth* sempre ligada.

Estes *Beacons* pessoais serão do tipo *Souvenir* com o logotipo impresso do Metrô de São Paulo, a serem eventualmente adquiridos pelos passageiros em lojas de estações ou nas reincidentes visitas às centrais de achados e perdidos da CMSP. Para isto, optou-se por um modelo que tem o formato similar a um chaveiro visando facilitar sua fixação em objetos pessoais de uso frequente dos passageiros, tais como guarda-chuvas, chaves, bolsas, sacolas, dentre outros itens que encabeçam o *ranking* de objetos perdidos na rede.

A rotina de software para este serviço no aplicativo do *Smartphone* será concebida de forma avisar com antecedência a necessidade de substituição da bateria após atingir um determinado nível residual de carga. Entende-se que esta maior interatividade, quanto ao aviso e a troca da bateria em períodos inferiores de um ano, pode estimular o usuário ficar mais atento aos seus objetos pessoais, ajudando-o a lembrar da importância de manter este recurso extra sempre funcional... e a interface *Bluetooth* ligada.

3.2 SMARTPHONES

Conforme descrito anteriormente, o terminal do usuário consiste de um *Smartphone* ou de um *Tablet* com uma interface *Bluetooth Smart Ready* disponível e habilitada, além da disponibilidade de um pacote de dados 4G, contratado pelo usuário junto a sua operadora de telefonia móvel.

Atualmente, em função das crescentes facilidades e dos aplicativos mais recentes de comunicação em tempo real tais como o *Whatsapp* e *Viber*, não é mais incomum um usuário de celular deixar, durante o tempo todo, o seu pacote de dados habilitado junto com a interface WiFi. Por outro lado, grande parte dos usuários de *Smartphones* mantém sua interface *Bluetooth* desligada quando não se está usando, já que é subentendida uma menor autonomia da bateria do aparelho quando esta interface permanece desnecessariamente ligada.

Nos tópicos seguintes, estão detalhados os dois tipos de *Smartphones* que poderão acessar a malha de *Beacons* dentro da rede: Os *Smartphones* de usuários comuns com visão normal e os *Smartphones* de usuários com deficiência visual. Na sequência, é feita uma breve apresentação sobre os sensores disponíveis atualmente nos *Smartphones*, e o que se aguarda no futuro em matéria de sensoriamento pessoal.

3.2.1 TIPOS DE DISPOSITIVOS

Uma vez que a espinha dorsal da arquitetura deste projeto é o mapeamento de algumas posições estratégicas nos espaços internos das estações e trens da rede metroferroviária com o objetivo de facilitar a entrada de dados sobre posicionamentos internos pelos usuários no aplicativo, bem como a obtenção pelo Metrô dos tempos médios entre estas posições estratégicas através da circulação de usuários na rede, é oportuno mostrar, com mais detalhes, o panorama dos dispositivos e acessórios que futuramente irão induzir os usuários a habilitarem também, em tempo integral, a interface *Bluetooth* de seus aparelhos.

Embora o uso de algum dispositivo pessoal *Bluetooth* não esteja ainda plenamente massificado na população de São Paulo, acessórios como fones de ouvido estéreo, fones monoauriculares, aparelhos de Viva-Voz para automóveis, pareamento com centrais multimídia e de assistência pessoal dos veículos mais recentes necessitam

que a interface *Bluetooth* do aparelho do usuário esteja habilitada para comunicar com os respectivos dispositivos.

Um produto recente que poderá manter definitivamente habilitada a interface *Bluetooth* dos aparelhos pelos usuários é o relógio de pulso inteligente ou *Smartwatch*, lançado mundialmente pelos principais fabricantes de *Smartphones*, que dentre as inúmeras funcionalidades, permite receber informações e avisos de chamada dos celulares na tela do relógio.

Uma vez sanadas as limitações atuais de autonomia da bateria e criadas formas mais práticas para o seu recarregamento, bem como a economia de escala permita que este produto se torne mais acessível para a população em geral, o *Smartwatch* poderá ser o divisor de águas para o uso massificado da interface *Bluetooth* por grande parte dos usuários de *Smartphones*. Enquanto não ocorre a massificação dos relógios inteligentes, deve estar prevista nas rotinas de software as solicitações aos usuários para a habilitação da interface *Bluetooth* durante as etapas de consultas pelo aplicativo. Conforme descrito anteriormente, também está previsto outro novo serviço que induz este perfil de usuário a deixar habilitada esta interface quando estiver dentro ou fora da rede metroferroviária, ou em outros locais públicos com grande circulação de pessoas como os shoppings centers.

Trata-se de uma rotina adicional, presente no software do aplicativo do usuário, que também monitora *Beacons* avulsos de usuários do aplicativo. Estes pequenos dispositivos, com o logo do Metrô e em formato de chaveiro, poderão eventualmente ser adquiridos nas lojas de souvenirs do Metrô ou mesmo na central de achados e perdidos (CAP). Após seus endereços serem adicionados na tela de configuração do aplicativo e presos em objetos pessoais, o celular irá imediatamente comunicar o usuário através de alertas sonoros, visuais e pelo *vibracall* do Smartphone, quando este se afastar de seus objetos monitorados por uma distância, reconfigurável a qualquer momento pelo usuário, entre um metro até trinta e cinco metros.

O aplicativo de serviços dos *Smartphones* irá atender quase todos os diferentes perfis de usuários da rede metroferroviária, desde usuários frequentes que utilizam diariamente este modo de transporte para trabalhar e estudar, usuários esporádicos

como turistas, até usuários preferenciais ou com necessidades especiais, tais como usuários com mobilidade reduzida e cadeirantes.

Em função de diversas complexidades existentes, os únicos usuários que o aplicativo não irá atender são os usuários com deficiência visual. Para este perfil específico, já existem alguns projetos experimentais que facilitam e permitem que o deficiente navegue sozinho em alguns ambientes internos da estação, utilizando os pisos podo táteis com o auxílio de celulares, conforme exposto no capítulo de contextualização.

Estes projetos estão sendo testados em outros metrôs, como o sistema *Navmetro*, implantado no Metrô do Porto, que interage com o usuário pelo celular e através da veiculação de sons de pássaros no sistema de comunicação PA da estação; e o *Wayfindr*, um projeto mais recente da sociedade *Royal London Society for Blind People* (RLSB), que nasceu em parceria com uma agência de criação de produtos e serviços digitais (Ustwo), e que está sendo financiado atualmente pelo Google.org e por uma organização britânica de caridade, a *Comic Relief*.

Neste segundo exemplo de projeto, a aliança se estende a outros membros interessados, a *Transport for London* (TfL) gestora do Metrô de Londres, *BlindSquare*, que possui um software de acessibilidade para cegos por GPS, a empresa *kontact.io*, fabricante de *Beacons* e a *Nominet*, uma agência de pesquisa e desenvolvimento para tecnologias emergentes relacionadas à IoT (*Internet das Coisas*), à segurança cibernética, *Smart Cities* e ao gerenciamento dinâmico de espectro para a transmissão de dados.

O que realmente reforça o interesse de se acompanhar o trabalho que vem sendo realizado no projeto *Wayfindr* é que, além de estar sendo atualmente testado pelo Metrô de Londres e sendo desenvolvido por uma equipe multidisciplinar que envolve diversas empresas interessadas, também utiliza *Beacons* distribuídos para o mapeamento interno dos ambientes da estação.

Uma das ambições deste projeto é criar uma plataforma de padrão aberto que possa se aplicada em outros metrôs do mundo. Em paralelo, o Google já comercializa um *Smartphone* (*Ray N5*) com a interface do usuário e aplicativos projetados para usuários com deficiência visual,

Além de um fone monoauricular e de outros específicos para este perfil, é possível que os fabricantes também desenvolvam futuramente um relógio *Smartwatch* para cegos com outros novos sensores, além dos já atuais, dentre eles o monitor cardíaco e podômetro. É possível que o aplicativo do *Wayfindr* futuramente possa monitorar *Beacons* de uso pessoal para este perfil de usuário. De qualquer forma, a interface *Bluetooth* do *Smartphone* do usuário com deficiência visual deverá ler *Beacons* de posição estrategicamente distribuídos nas estações, sobre os pisos podo táteis, e também nos trens, porém a necessidade de habilitação em tempo integral da interface *Bluetooth*, com este novo serviço que possibilita autonomia e liberdade para cidadão, já está mais que justificada.

3.2.2 SENsoRES DE SMARTPHONES

Os *Smartphones* mais recentes têm saído de fábrica com uma quantidade cada vez maior de sensores, permitindo que os aplicativos aprimorem diversos recursos internos dos aparelhos, tais como o consumo de bateria, bem como amplie o leque de informações e benefícios aos seus usuários. Por outro lado, alguns aplicativos discretamente coletam informações destes sensores, além de outros dados do aparelho, transmitindo-os para alguns servidores em conjunto com os dados dos demais usuários conectados que também utilizam o mesmo aplicativo, seja pela rede móvel de dados ou através da conexão com um roteador WiFi. Durante o início da instalação do aplicativo no *Smartphone*, é apresentada a relação de informações e sensores que serão acessados no aparelho, solicitando também uma confirmação do usuário se está de acordo em prosseguir com a instalação.

Conforme pontuado anteriormente, estes sensores também podem ser utilizados na monitoração e no diagnóstico do funcionamento de equipamentos em operação nos ambientes da rede metroferroviária, desde que o usuário permita o acesso a eles durante a instalação do aplicativo. Além do microfone e do CMOS (*Complementary Metal-Oxide-Semiconductor*) de imagem da câmera do aparelho, os sensores mais comuns nos aparelhos de mercado são o Geomagnético ou magnetômetro; Umidade e temperatura; Proximidade; Gestos; RGB (faz a leitura de cada cor básica - vermelho, verde e azul); Luminosidade; Barômetro; Giroscópio; Acelerômetro; Gravidade; Hall (reconhece se a capa do *Smartphone* está fechada ou aberta); NFC

(permite a comunicação por proximidade); GPS; BLE (interface *Bluetooth* de grande interesse neste projeto); Ritmo cardíaco; Podômetro; Biométricos.

Futuramente, novos sensores podem ser adicionados aos Smartphones, tais como sensores que podem medir a qualidade do ar em ambientes fechados, a exposição aos raios ultravioletas em ambiente abertos, altitude, e com a associação de outros dispositivos externos para a detecção de álcool, do nível de glicose no sangue, a análise da respiração da pessoa; e químico, para ser utilizado na detecção de níveis de monóxido de carbono, de amônia, gás metano etc. no ambiente que ela se encontra.

Para que sejam verificados remotamente alguns parâmetros de conforto dos trens tais como ruídos excessivos gerados pelas composições em circulação ou por seus sistemas embarcados, dentro e fora do salão; o nível mínimo de luminosidade do salão; a temperatura interna do salão; é necessário que os respectivos sensores relacionados a cada um destes parâmetros sejam lidos pelo aplicativo.

De forma autônoma, através de uma função automática que roda em segundo plano no aplicativo do Smartphone do usuário, é possível desenvolver rotinas de software que coletam os valores medidos pelo microfone, pelos sensores de luz e de temperatura do aparelho, comparando-os com níveis previamente estabelecidos nas rotinas dos aplicativos antes de enviar cada informação ao servidor, desde que estas rotinas também comprovem que o Smartphone encontra-se em condição de uso adequada para a leitura, através das leituras de outros sensores tais como os de efeito hall, de luz ou pelo monitoramento do uso da interface touch pelo usuário. O valor de um destes sensores também pode ser medido pelo aplicativo e encaminhado junto com uma reclamação sobre conforto feita pelo usuário, onde o dado a ser enviado ao servidor também terá a informação da última posição ou atual deste passageiro (caso se encontre ainda dentro do sistema) no momento de encaminhar a reclamação.

3.3 COMUNICAÇÃO ENTRE SMARTPHONES E SERVIDORES

O meio considerado para a comunicação do aplicativo dos usuários com alguns servidores da plataforma de serviços é a infraestrutura da rede móvel de dados instalada na rede metroferroviária, que em uma próxima modernização, pode dar

cobertura ao serviço móvel de quarta geração ou 4G, um pré-requisito para garantir a qualidade de serviço necessária do SID, já que a plataforma é voltada somente para o tráfego de dados.

Na Figura 2 seguinte, de uma forma sucinta são pontuadas as principais diferenças entre as tecnologias de comunicação através de celulares. Fica claro que a migração gradativa, a partir de serviço limitado de voz analógico para um serviço exclusivo de dados, levou cerca de 30 anos, permitindo estimar um período para a introdução da próxima geração no mercado. Para o serviço 4G de dados por IP, que já se encontra disponível na região metropolitana de São Paulo, mas ainda não disponível na infraestrutura que dá cobertura aos túneis e estações da rede metroferroviária, é possível atingir velocidades de até 100 Mb por segundo, porém, dentro da realidade brasileira, o serviço 4G de dados, disponibilizado em algumas cidades pelas operadoras nacionais, atualmente não passa de 20 Mbps. Por outro lado a massificação deste serviço no Brasil mostra boas perspectivas. Segundo informações da Teleco, empresa de consultoria que acompanha o investimento das operadoras da rede celular no âmbito nacional, o Brasil terminou o mês de janeiro de 2016 com 28,1 milhões de acessos via aparelhos 4G, o que representa um crescimento de 262,0% em relação a janeiro de 2015, quando havia 7,7 milhões de acessos.

Figura 2 - Comparativo entre as distintas gerações da tecnologia móvel

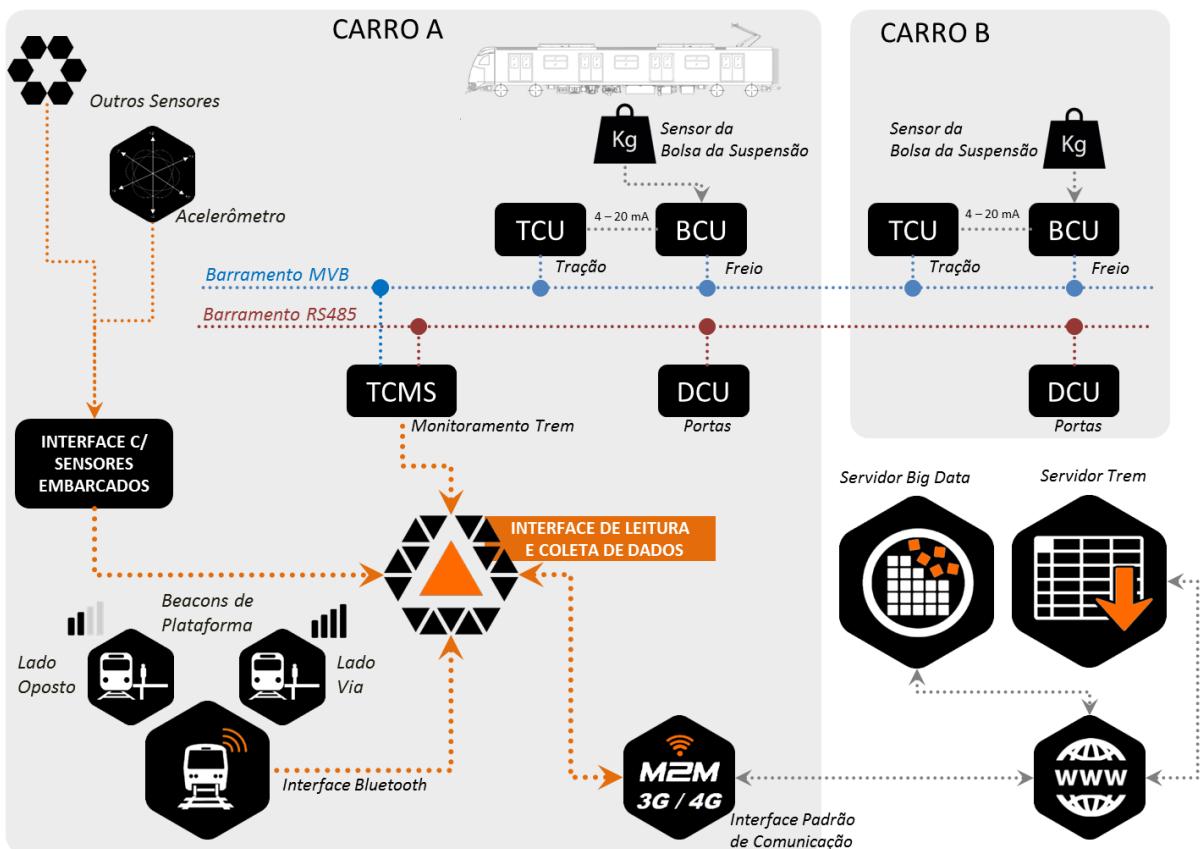


Fonte: Copche (2016), a partir de ilustrações da Internet

3.4 COMUNICAÇÃO ENTRE TRENS E SERVIDORES

Para permitir que os trens conversem com os servidores com o intuito principal de externar informações sobre a condição de lotação de passageiros no salão de cada carro e de monitoração de conforto, será necessário o desenvolvimento de uma interface embarcada de leitura e de coleta de dados, customizada por frota, que deve ser instalada em cada trem, transferindo informações relativas ao carregamento de cada carro e ao desempenho do trem para o servidor trem, por meio de uma interface do tipo padrão para comunicação M2M (*Machine to Machine*) que comunica com a rede de dados 3G/4G, conforme está ilustrado na Figura 3 a seguir.

Figura 3 - Diagrama básico da interface embarcada do trem



Fonte: Copche (2016)

Conforme exposto, observa-se que a interface de leitura e coleta de dados - com destaque na cor laranja e que pode ser denominada também como interface central do trem - é um concentrador de dados que consolida algumas informações de sistemas embarcados, transmitindo-os por uma única porta de saída para a interface

de comunicação M2M 3G/4G que, por meio da *Internet*, faz a interface com o servidor Trem. Esta interface deve ser projetada para receber três dados de entrada de elementos distintos do trem, porém todos necessários para viabilizar o serviço de Melhor Trem - ou carro mais vazio na plataforma - bem como a função de monitoração de conforto do trem, cujas funcionalidades estão detalhadas em tópico posterior.

Para viabilizar o serviço de Melhor Trem, são necessárias pelo menos as informações do carregamento dos cinco, seis ou mais carros de cada composição em operação em conjunto com a informação se um ou mais carros encontram-se isolados ou fora de serviço, bem como a localização aproximada de cada trem na via operacional. Para isto, a interface central coleta a informação de carregamento de cada carro do trem, que já é obtida através de um sensor acoplado nas bolsas pneumáticas de suspensão instaladas entre a caixa do carro e seus dois truques (estrutura mecânica robusta onde se encontra instalada a suspensão, os motores de tração, caixas redutoras, uma parte do sistema de freio de atrito, eixos, rodas, antenas, dentre outros sistemas). A unidade de controle do freio (BCU) do respectivo carro repassa esta informação para a unidade de controle do sistema de tração (TCU), de forma a adequar as taxas de desaceleração da frenagem elétrica de acordo com o peso total do carro, bem como para calcular a pressão de ar necessária a ser aplicada uniformemente nos cilindros do sistema de freio de atrito no final da frenagem do trem. Uma vez que a informação de carregamento da BCU para a TCU é um circuito de malha fechada que requer um rápido tempo de resposta, geralmente a BCU utiliza um canal analógico com um nível de corrente contínua que varia entre 4 mA a 20 mA por carro e que reflete o carregamento.

Exceto para os trens da Frota M da fabricante *Bombardier*, que utilizam uma arquitetura diferenciada de leitura de carregamento, utilizando sensores ultrassônicos ao invés de sensores de pressão nas bolsas de ar da suspensão, nas frotas mais recentes do Metrô, como os novos trens da Frota P da Linha 5, os dados de carregamento são disponibilizados no barramento MVB, CAN ou Modbus de cada carro, onde o sistema de controle e monitoramento do trem (TCMS) faz a leitura. Esta informação de carregamento é geralmente disponibilizada ao OT (Operador do Trem) e nas telas exclusivas para as equipes de manutenção.

Durante uma prestação de serviço na via operacional, um trem pode apresentar certos tipos de falhas em alguns sistemas de um ou mais carros, onde é mandatório que o operador pare o trem na próxima plataforma, saia da cabine e se desloque até os respectivos carros com falhas, evacuando os carros e atuando nos respectivos painéis de chaves de isolamento. Desta forma, o trem prossegue na via operacional prestando serviço nas próximas estações da linha, mas com a abertura inibida de todas as portas dos carros com falhas, até que o trem seja finalmente removido no final da volta.

Desta forma, visando garantir a integridade das informações do serviço de Melhor Trem, é necessário que a informação de carros “fora de serviço”, ao invés de carros vazios, seja disponibilizada também de antemão no aplicativo dos terminais dos passageiros que aguardam na plataforma e que consultam a condição de carregamento dos próximos trens.

É preciso então que a interface central verifique também, nas unidades de controle de portas de cada carro (DCU), se foi atuada alguma das chaves de isolamento de portas dos cinco, seis ou mais carros, disponibilizando também este dado para o servidor Trem junto com as informações de carregamento.

Uma vez que o meio de realizar a interface de comunicação entre a TCU e a BCU, onde trafega a informação de carregamento de cada carro, bem como a forma como a DCU disponibiliza a informação de atuação em uma das chaves de isolamento de portas do carro, depende exclusivamente da arquitetura desenvolvida pelos respectivos fabricantes destes sistemas para o projeto de cada frota, é necessário também que seja desenvolvida uma interface central customizada para as frotas em operação do Metrô.

Incluindo as mais recentes contratações de fornecimento de material rodante para os dois sistemas de monotrilhos, o Metrô terá futuramente um total de até 244 trens circulando em seis linhas distintas. Para as frotas mais recentes do Metrô, a partir da Frota G, é possível coletar as informações de carregamento de cada carro, bem como a informação de todas as portas isoladas do carro diretamente no sistema TCMS ou através do barramento de dados (BUS) do trem, porém a obtenção destas

informações pode ser mais trabalhosa para materiais rodantes mais antigos como os trens das Frotas E e F.

Além da variedade de fabricantes para os sistemas do trem relacionados ao projeto, existem diferenças quanto ao barramento de dados interno do trem adotado para cada frota, onde as informações necessárias para o serviço Melhor Trem encontram-se em formato digital também para serem lidos pelo sistema TCMS. Por outro lado, é oportuno observar que existem basicamente três barramentos distintos de dados para toda a frota do Metrô – MVB, CAN e Modbus – fato que poderá auxiliar a mitigar a grande variedade de interfaces centrais distintas. Para os trens das frotas mais antigas, infelizmente será necessário o desenvolvimento de uma interface com um grau de customização ainda maior.

Ainda sobre as informações necessárias para viabilizar o serviço melhor trem, é necessário que a interface central de cada trem tenha prevista, integrado ao seu circuito, uma porta de comunicação *Bluetooth Smart Ready* para leitura e o registro de endereçamento do último *Beacon* lido de plataforma, de forma que o servidor Trem receba também a informação da última estação deixada pelo trem, ou seja, uma referência inicial do trecho entre estações onde o trem se encontra. Uma vez que pode existir mais de um trem em um trecho entre estações, *Beacons* de posição podem ser posteriormente instalados em pontos intermediários do trecho, no meio do percurso, possivelmente nas saídas de emergência das rotas de fuga e em estacionamentos na via, ou mesmo em regiões de AMV (Aparelho de Mudança de Via), de forma a ter mais precisão na informação de localização dos trens para estimar melhor o tempo de espera para os usuários.

Outro recurso que pode ser agregado a este sistema embarcado do trem é uma interface adicional de leitura de sensores embarcados que monitoram algumas variáveis de desempenho e de conforto do trem, tais como a máxima taxa obtida de aceleração de serviço, a máxima taxa obtida de frenagem de serviço, a taxa obtida de frenagem em emergência, máximo solavanco obtido (*jerk*) etc. verificando se os parâmetros de projeto estão sendo atendidos dentro dos limites pré-estabelecidos. Desta forma, a fixação de um acelerômetro no piso do carro possibilita o monitoramento destas variáveis, que podem sofrer desvios ao longo da vida útil do trem, nas eventuais trocas de fornecedores de pastilhas de freio e nos ajustes

necessários no sistema para diferentes coeficientes de atrito. Esta interface deve ser concebida de forma que seja possível agregar novos sensores conforme futuras necessidades das equipes técnicas das engenharias da GOP e GMT do Metrô.

A comunicação trem-servidor se dá da seguinte forma:

- Toda vez que a interface *Bluetooth* embarcada detectar um ou mais *Beacons*, da mesma plataforma ou de plataformas distintas, seleciona sempre o endereço de *Beacon* de maior sinal de transmissão, já em algumas estações esta interface do trem poderá também ler *Beacons* de plataformas opostas. Quando a interface perder a transmissão do último *Beacon* lido, irá aguardar em torno de 33 segundos antes de transmitir a informação da condição de carregamento dos carros e a última plataforma que o trem prestou serviço para o servidor Trem. Um dos motivos para este atraso é a necessidade dos sistemas do trem aguardarem a estabilização das pressões nas bolsas de ar da suspensão de cada carro antes da obtenção das informações de carregamento, sendo também o tempo médio que o trem atinge sua velocidade máxima de cruzeiro, bem como o tempo que a BCU de cada carro geralmente aguarda antes de registrar e informar o carregamento para a TCU, já que a parcela de erro devido à acomodação de passageiros no salão e à aceleração do trem influenciarão muito pouco após este tempo.

Outro motivo é que, caso um novo *Beacon* de plataforma seja lido dentro deste período, zera-se novamente a contagem, pois se entende que o trem ainda não partiu da estação, e que houve apenas uma interrupção momentânea de transmissão de um ou mais *Beacons* da linha de plataforma por falha nos dispositivos, interferências etc.

- Toda vez que a interface, de sensores embarcados, detectar uma variável de desempenho ou de conforto fora dos parâmetros pré-estabelecidos de projeto, será transmitida imediatamente, mas agora endereçada somente ao servidor Big Data, as mesmas informações necessárias ao serviço Melhor Trem, ou seja, carregamento de cada carro, portas isoladas de um ou mais carros, o endereçamento do último *Beacon* de plataforma detectado, acrescidas da informação de identificação do sensor que detectou o desvio e o respectivo valor lido.

4 PROPOSTA DO SISTEMA

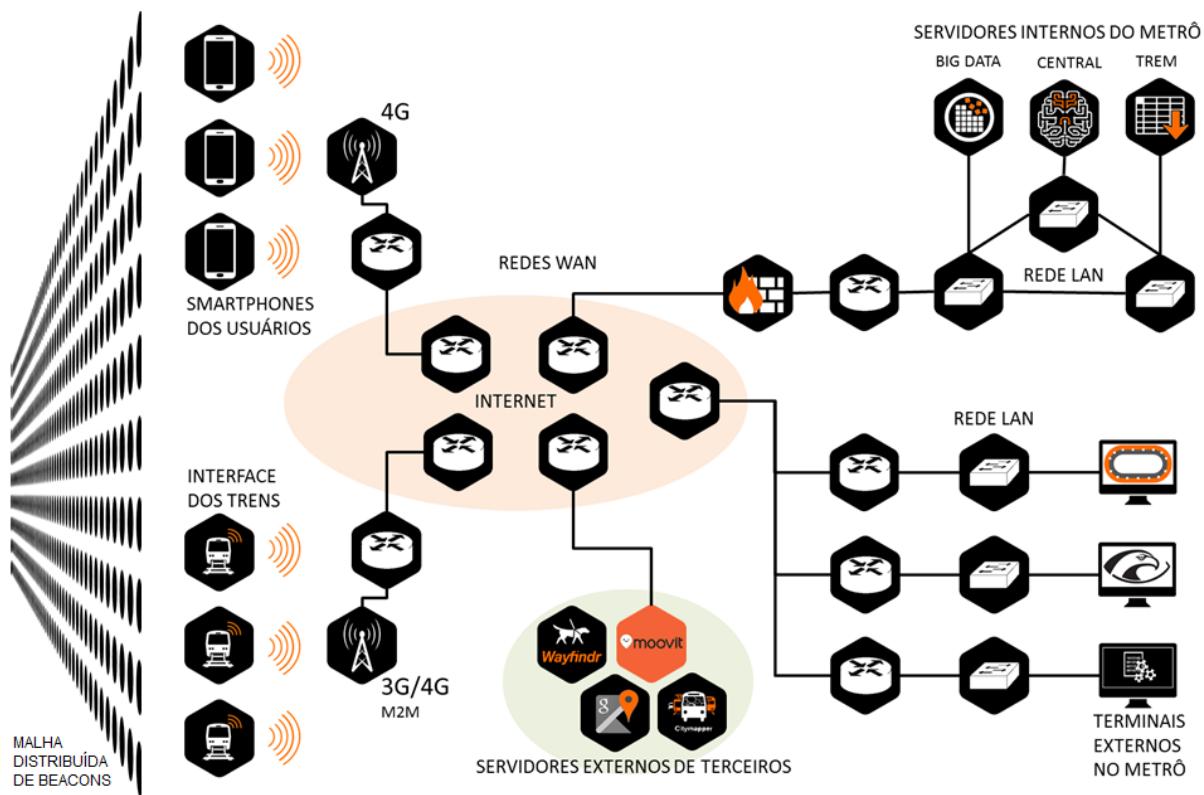
Neste capítulo é apresentado todo o desenvolvimento técnico deste trabalho, descrevendo alguns serviços que serão inicialmente oferecidos aos passageiros, algumas funções necessárias para o diagnóstico da infraestrutura metroferroviária, as entradas e saídas necessárias ao funcionamento do SID, tecnologias 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, requisitos de sistema e de implantação, 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 concepção 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 4 a seguir mostra o panorama geral básico da rede de comunicação entre estes elementos.

Figura 4 - Visão geral da rede de comunicação



Fonte: Copche (2016)

Conforme apresentado na figura, existe uma malha de *Beacons* distribuída ao longo das estações da infraestrutura da rede, onde é permitido 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 podem ser lidos também pelos trens que circulam na lateral da linha de *Beacons*. Tanto os *Smartphones* dos usuários como as interfaces embarcadas nos trens transmitem periodicamente 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 CMSP por meio da *Internet*. Para a grande parte das comunicações, são as camadas de aplicativo e de transporte que confirmam o recebimento correto do dado recebido e de todo o pacote trafegado. Por meio da *Internet* e por uma rede local, terminais da CMSP consultam a base de dados destes servidores. Também por meio da *Internet*, um dos servidores de armazenamento da CMSP recebe dados de posição de pessoas com deficiência visual dentro da rede através de um servidor de terceiros. Este mesmo servidor de

armazenamento também pode compartilhar dados de posição de usuários comuns com outros servidores de terceiros.

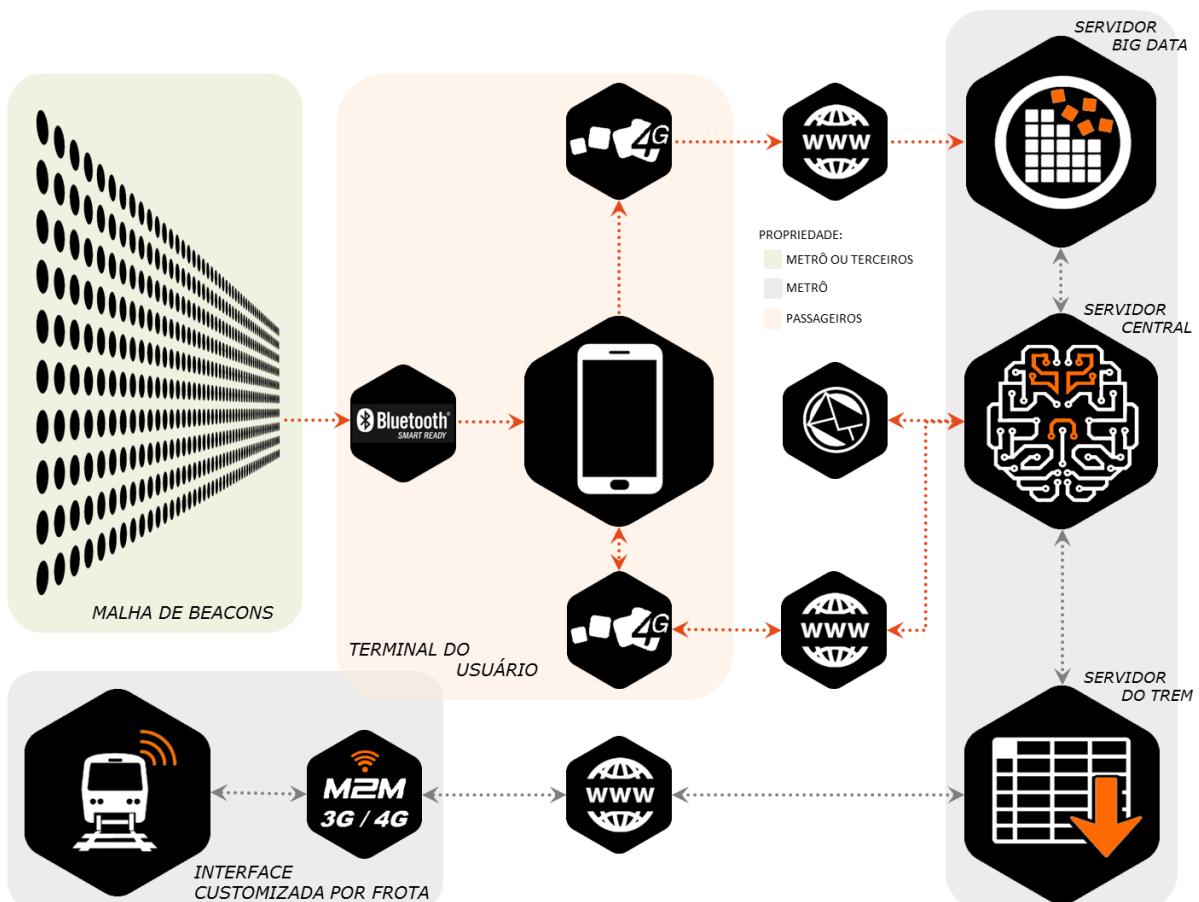
4.2 SERVIÇOS INICIAIS

Para conhecer os serviços inicialmente considerados para a plataforma, consultar a monografia (TAMURA, 2016) pode ser consultada.

4.3 ARQUITETURA BÁSICA

Para que seja possível atender uma grande parte das necessidades levantadas neste trabalho, e considerando a plena aplicação de tecnologias habilitadoras, descritas e selecionadas anteriormente, inicialmente foi concebida uma arquitetura básica somente para o atendimento de todos os usuários com visão, que podem utilizar o aplicativo de serviços de informação do Metrô durante seu percurso dentro ou fora da rede de transporte, conforme mostra a Figura 5 a seguir:

Figura 5 - Arquitetura básica



Fonte: Copche (2016)

Segue a descrição de cada um dos elementos-chave mostrados na figura:

Malha de *Beacons* – Equivale a toda a distribuição física dos transmissores de posição, ou *Beacons*, na infraestrutura das estações e nos salões dos trens do Metrô, seguindo um padrão pré-estabelecido de endereçamento por localidade. Além do endereçamento, as definições da potência de saída, da taxa de transmissão e do tipo de alimentação elétrica de cada dispositivo também estão vinculadas com a sua posição na infraestrutura interna da rede de transportes.

Terminais dos Usuários – São todos os aparelhos de passageiros, *Smartphones ou tablets*, que possuem um pacote de dados habilitado com uma das operadoras de telefonia móvel local, rodam os sistemas operacionais *Android* ou *iOS*, dispõem da interface *Bluetooth Smart Ready*, e que já tem instalados, em suas respectivas memórias, o novo aplicativo gratuito de serviços e de informações do Metrô, baixado previamente através das lojas virtuais *App Store* da Apple ou *Play Store* do Google.

Rede Móvel 4G – Infraestrutura de rede, projetada e instalada nos túneis e estações pelas operadoras de telefonia móvel local, que visa disponibilizar e dar cobertura ao serviço móvel de voz e de dados aos usuários em toda a área de circulação de passageiros no sistema metroviário.

Conjunto de Servidores – Consiste basicamente de três módulos de servidores - Central, Trem e Big Data - não necessariamente compartilhando o mesmo espaço físico, mas interligados em rede através de um padrão de comunicação do tipo TCP/IP, onde todos devem estar sob o domínio do Metrô.

Interface do Trem – Sistema que é composto de três módulos: um dispositivo customizado de leitura e de coleta de dados do trem desenvolvido especificamente para cada frota; de uma interface padrão, adaptável e expansível, para a leitura de um ou mais sensores embarcados no trem; e de uma interface de comunicação padrão M2M para redes 3G ou 4G.

Acesso a *Internet* pela Rede Móvel – Meio de comunicação utilizado para a transferência e troca frequente de dados entre o aplicativo instalado nos terminais dos usuários com alguns servidores do Metrô e também para a transferência

periódica de dados de cada trem que presta serviço com um dos servidores do Metrô.

Servidor de E-mail - Para o envio de e-mail ao usuário, confirmando o recebimento de uma reclamação e informando os registros coletados no trem e nos sensores do *Smartphone* encaminhados através da opção “Melhor Serviço” do aplicativo.

Descrição do funcionamento da arquitetura básica:

Estando uma vez os usuários circulando dentro da infraestrutura do Metrô, exclusive para o acesso e ao transporte, cada terminal de usuário pode ter interface por radiofrequência com a malha de *Beacons* e com os servidores Central e Big Data, estes últimos através do acesso à *Internet* pela rede móvel 4G, considerando também que a interface *Bluetooth* e o acesso à rede de dados 4G foram previamente habilitadas no aparelho pelo usuário.

Nestas condições, mesmo com o aparelho guardado no bolso usuário ou em *stand-by*, toda vez que o aplicativo do terminal do usuário detectar um *Beacon* de posição com o endereçamento válido, ao perder o sinal deste *Beacon*, o aplicativo irá enviar um pacote de dados no padrão UDP para o servidor big data através do acesso do usuário à *Internet* pela rede móvel 4G, informando o ID do usuário, o horário do evento e o endereçamento do *Beacon* detectado. Para este evento, o servidor big data não transmitirá um sinal de recebimento ao terminal do usuário pela camada de transporte, tampouco pela camada do aplicativo. No caso de uma possível falha de comunicação, uma vez que um grande número de terminais de outros usuários pode estar em circulação no mesmo período e na mesma localidade, a informação perdida poderá ser suprida pela comunicação bem sucedida pelos terminais de outros usuários.

Todos os dados diretamente relacionados às solicitações de serviços são identificados pelo aplicativo do terminal do usuário, de forma automática ou manual, consolidados no momento da consulta e encaminhados somente para o servidor Central do Metrô, que irá executar a rotina de software específica para atender o serviço solicitado.

Os serviços disponibilizados no aplicativo são representados através de ícones na tela principal do aplicativo, abrangendo desde informações sobre o estado da rede, a melhor rota no momento da consulta, carro mais vazio na plataforma, envio de reclamações e de denúncias, registros de perdas de objetos pessoais, etc. até informações locais como mapa do respectivo nível que o usuário se encontra na estação, monitoramento de objetos pessoais bem como a integração com outros aplicativos tais como serviços de consulta e de carregamento de bilhetes, conforme apresentado previamente.

Informações complementares tais como dúvidas mais frequentes ou outras já existentes e disponibilizadas pelo Metrô em outros canais de informação podem ser agregadas ao aplicativo, possibilitando sua renovação através de futuras atualizações normalmente realizadas pelas lojas virtuais de aplicativos da respectiva plataforma de sistema operacional do *Smartphone*.

Quando o usuário for utilizar um dos serviços no aplicativo para informações sobre o sistema metroferroviário em tempo real, e que envolva a coleta automática de dados sobre o posicionamento do usuário dentro da infraestrutura do Metrô, a interface *Bluetooth* deverá estar habilitada. Caso a interface *Bluetooth* não esteja habilitada, dependendo do serviço e na etapa mais adequada do processo de consulta, o aplicativo solicitará ao usuário a ativação da respectiva interface de comunicação antes da coleta automática ou manual de dados sobre posição. No caso da rede de dados 4G não estar habilitada, o aplicativo fará solicitação ao usuário para sua ativação antes de encaminhar a solicitação do serviço.

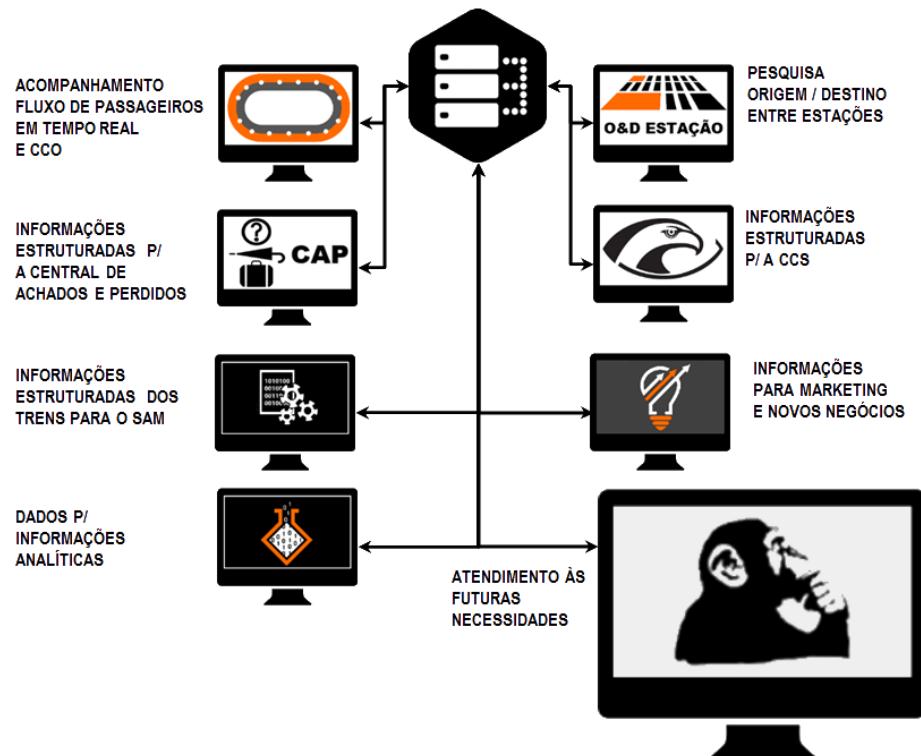
4.3.1 TERMINAIS DE CONSULTA DO METRÔ

Existem diversos terminais que poderão se beneficiar das informações geradas pelo sistema. Deve ser desenvolvido um software do tipo universal que possibilite configurar, por terminal e somente pela área de TI da CMSP, a aplicação customizada de filtros de forma que cada área da empresa possa obter no servidor Big Data somente os registros sob sua gestão. A seguir são listados exemplos de telas de IHM customizadas para consultas de diferentes áreas após a aplicação destes filtros pela GTI (Gerência de Tecnologia da Informação) a partir de um software universal:

- Acompanhamento do fluxo de passageiros nas estações em tempo real (CCO);
- Reclamações de ambiente e sistemas (CCO);
- Gestão de perdas de objetos pessoais em tempo real (CAP);
- Pesquisa O-D (Origem e Destino) entre estações em tempo real (CCO);
- Denúncias em tempo real (CCS);
- Reclamações de sistemas e de eventos de desvios de conforto nas estações e trens (SAM);
- Análises de todos os dados armazenados;
- Publicidade direcionada por perfil e localidade.

Desta forma, além de ter disponível o software universal de consulta configurado para as respectivas necessidades, os terminais de consulta das equipes do CCO, CAP, GMT/SAM, CCS, Novos Negócios, TI, dentre outras áreas da CMSP, conforme mostra a Figura 6, devem estar conectados via TCP/IP à base de dados do servidor Big Data. Uma vez que algumas áreas da CMSP como o CCO, CCS e CAP necessitam também de ações imediatas, o software universal deve prever também a leitura automática e periódica dos respectivos registros de interesse.

Figura 6 - Exemplos de terminais de consulta aos dados dos servidores



Fonte: Copche (2016)

Para o servidor Trem, além da conexão TCP/IP com o seu principal cliente, o servidor Central, poderá eventualmente ter suas informações sobre trens em circulação compartilhadas com terminais da GMT, de forma que se obtenha um histórico mais apurado de carregamento de cada carro, eventos operacionais de carros isolados, histórico de falhas e de carregamento por trem etc.

Para o servidor Central, deve ser prevista uma interface com um terminal específico que permita o carregamento e a atualização de informações de mapas da rede e estações, dos arquivos referentes ao leiaute de todos os mezaninos das estações e salão dos trens, além de permitir o carregamento e a atualização da tabela de mapeamento de *Beacons* na rede.

4.3.2 RELATÓRIOS GERENCIAIS

O sistema deve possibilitar a geração de relatórios gerenciais sobre dados de desempenho da rede, além de permitir pesquisas realizadas sobre os registros e informações de cada um dos servidores do SID para finalidades de estratégias operacionais, atividades de manutenção, novos negócios e informes detalhados de uso e desempenho da rede metroferroviária tais como o comportamento dos usuários de cada região da rede, horários, origem e destino entre estações e efeitos de cada variável sobre cenários operacionais.

A seguir, são citados mais alguns exemplos de possíveis relatórios para as equipes do Metrô:

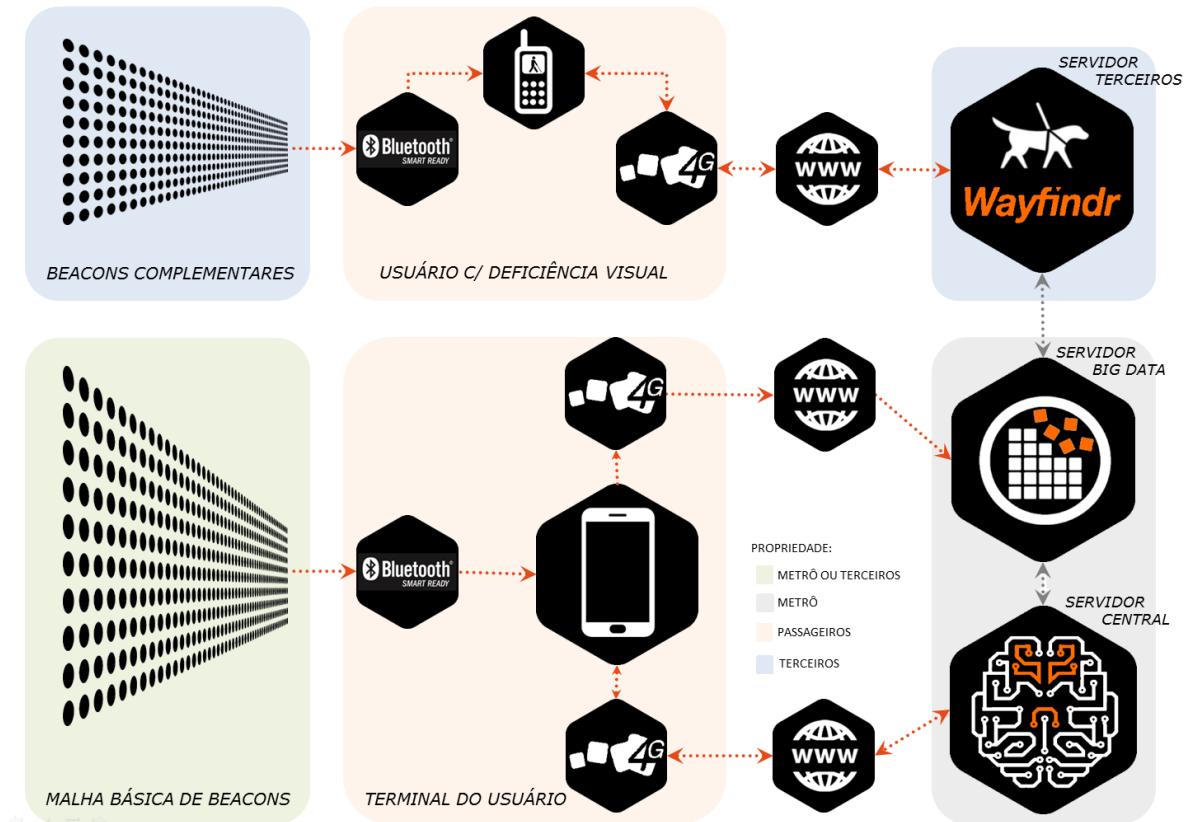
- Geração de relatórios operacionais de cada linha, trecho de linha, cada estação, cada localidade de estação para definição de estratégias operacionais;
- Verificação de impactos em função da implantação de cada estratégia operacional ou eventos externos;
- Comparação entre relatórios de períodos diferentes para verificar tendências de alterações, assim, subsidiarem decisões de investimentos em manutenção;
- Possibilidade de conhecer usos e costumes dos usuários da rede;

- Monitoração de estados de desempenho da rede sem a necessidade de investir em sensores nas instalações da rede;
- Relatórios de carregamento e fluxo nos ambientes das estações e trens para decisões de investimentos em propaganda, lojas comerciais, serviços etc.;
- Relatórios com indicadores para subsidiar decisões de investimentos.

4.4 ARQUITETURA EXPANDIDA

Com a instalação de PSD (*Platform Screen Doors*) em todas as plataformas da rede, é possível que seja considerada a possibilidade de ser implantado também um sistema de navegação para cegos no Metrô de São Paulo em um futuro cenário, onde o usuário seja guiado por voz e que o sistema se utilize de uma malha de *Beacons* parcialmente distribuída nas estações. Desta forma, estabeleceu-se que a malha de *Beacons* da arquitetura deste projeto possa ser compartilhada com um serviço de terceiros para esta finalidade, tal como o projeto Wayfindr, conforme mostrado na Figura 7.

Figura 7 - Arquitetura expandida



Fonte: Copche (2016)

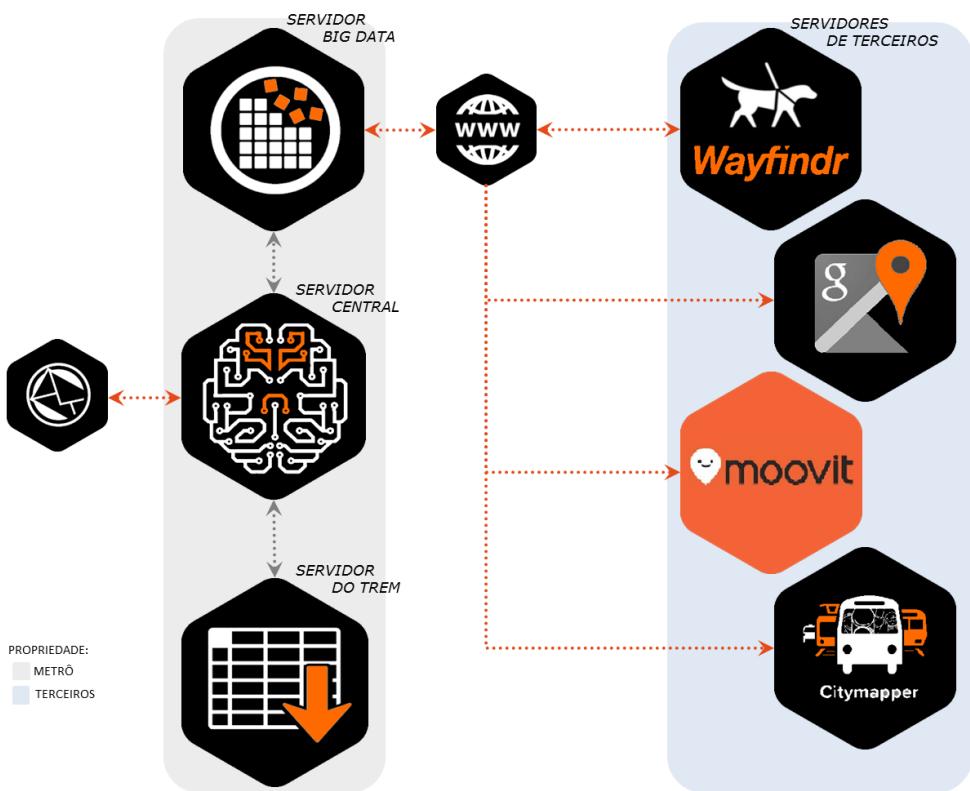
Na figura anterior, são mostradas duas malhas de *Beacons*: uma básica, necessária para a arquitetura do projeto, e outra suplementar, que considera *Beacons* sobre os percursos sobre pisos podotáteis e em locais necessários para aprimorar a navegação de usuários cegos de forma independente dentro dos ambientes internos das estações e trens.

Nota-se também que, na arquitetura expandida, está previsto um canal de comunicação TCP/IP entre os servidores Big Data do Metrô e o servidor de terceiros, com o propósito do Metrô receber os últimos *Beacons* detectados pelos *Smartphones* de usuários cegos quando estes estiverem dentro do sistema metroferroviário, para o efeito de monitoramento pelo Metrô em situações de emergência, principalmente onde é necessária a evacuação imediata do trem através das rotas de fuga em regiões entre estações, nos túneis ou vias elevadas.

Por outro lado, e em sentido contrário, o Metrô pode disponibilizar, para um ou mais servidores de terceiros, informações do tempo médio de deslocamento de passageiros dentro do sistema, em tempo real, entre os acessos internos das estações, nas transferências entre estações e entre estações distantes através do tempo médio de viagem dos passageiros nos trens entre duas plataformas.

A Figura 8 seguinte exemplifica algumas possíveis interfaces do servidor Big Data do Metrô com outros serviços de geolocalização que já utilizam a interface GPS para o monitoramento de pessoas e veículos em ambientes externos e, em alguns casos como o aplicativo Moovit, também de informações estimadas da geolocalização de ônibus coletivos operados por consórcios de empresas e cooperativas na rede pública de transporte coletivo da região metropolitana de São Paulo através de informações disponibilizadas pelos servidores da agência de gestão, monitoramento e fiscalização SPTrans (São Paulo Transporte S.A.).

Figura 8 - Compartilhamento de dados com servidores de terceiros



Fonte: Copche (2016)

Visando reduzir os investimentos para aquisição de *hardware*, bem como na configuração e na manutenção dos servidores Central e Big Data, é possível inicialmente contratar uma plataforma de computação através de um provedor de serviços *online* para aplicações cliente-servidor baseadas no conceito de nuvem e que envolve computação, armazenamento, entrega de conteúdo, banco de dados e redes. A título de exemplo, existe a empresa AWS (*Amazon Web Services*) que vem desde 2006 oferecendo este tipo de serviço e já possui um *datacenter* implantado em São Paulo. Dentre os serviços oferecidos, o EC2 (*Amazon Elastic Compute Cloud*) é uma parte central da plataforma que permite aos clientes alugar computadores virtuais nos quais rodam suas próprias aplicações, com escalonamento automático, e pagando de acordo com a demanda utilizada de recursos desta plataforma. Outra vantagem é que esta opção pode prover ferramentas de desenvolvimento, de gerenciamento, atendendo requisitos de segurança e de identidade, além de serviços de aplicações.

Finalizando, foi elaborado o quadro da Figura 9 com o objetivo de mostrar, de uma forma simplificada, as interfaces entre os módulos da arquitetura, considerando a

arquitetura expandida com os servidores de terceiros. Explicando a figura, e partindo dos *Beacons* de posição, pode-se notar que os Smartphones de todos os usuários, com ou sem visão, podem detectar todos os Beacons instalados na rede de transportes – inclusive no salão de passageiros dos trens - enquanto que as interfaces dos trens detectam somente os *Beacons* de plataforma. Os Smartphones de usuários com visão se comunicam com dois servidores: Central e *Big Data*, enquanto que as interfaces dos trens se comunicam com o Servidor Trem (Para casos exclusivos como a detecção de um desvio de desempenho do trem em relação aos parâmetros pré-estabelecidos, se as interfaces do trem tiverem sensores embarcados, se comunicarão também com o servidor *Big Data* para relatar o desvio encontrado). Grande parte dos terminais de consulta da CMSP acessará uma parcela dos dados armazenados no servidor *Big Data*, enquanto os terminais da GMT podem acessar também todos os dados do servidor Trem. A GTI pode acessar os dados e as configurações de todos os servidores. Os servidores de terceiros poderão acessar a parcela de dados do servidor *Big Data* relacionada aos tempos médios entre locais da rede de transporte enquanto que paralelamente o servidor *Big Data* também pode coletar informações de posição de usuários com deficiência visual através de servidores de terceiros que disponibilizarem este serviço.

Figura 9 - Interface entre os módulos da arquitetura



Fonte: Copche (2016)

4.5 ESTRATÉGIA DE DISTRIBUIÇÃO DOS BEACONS NA REDE

Para a viabilidade de implantação de grande parte dos serviços e para garantir o mínimo de informações sobre tempos médios de deslocamento de passageiros dentro das estações e das viagens nos trens entre as plataformas, além de recursos automáticos de identificação da posição de cada usuário em outros serviços do aplicativo, é necessária a instalação de *Beacons* pelo menos nas linhas de bloqueios, plataformas e salão dos trens. Trata-se de *Beacons* fazendo a cobertura de todos os bloqueios disponíveis na estação através da distribuição de dispositivos fixados no teto, espaçados a cada 10 metros e alinhados em paralelo com a linha de bloqueios. O máximo raio de cobertura da transmissão, ajustado para cada *Beacon* posicionado sobre a linha de bloqueios, deve ser de 15 metros.

Para estações concebidas para o acesso ao trem através de apenas uma plataforma, os *Beacons* de plataforma devem ser distribuídos e espaçados normalmente a cada 10 metros em toda a sua extensão, posicionados sobre a faixa amarela de segurança de cada sentido da via. Caso exista o acesso ao trem pelos dois lados da plataforma de cada via, as duas faixas amarelas de segurança devem ser cobertas por *Beacons*, porém neste caso com um espaçamento menor de 5 metros entre eles em cada plataforma. O máximo raio de cobertura da transmissão, ajustado para cada *Beacon* posicionado sobre cada faixa amarela de segurança de plataforma, deve ser de 15 metros. Para uma plataforma com 150 metros de extensão, estima-se em torno de 16 *Beacons* até 32 *Beacons* distribuídos sobre cada faixa amarela de segurança.

Em relação ao salão dos trens, cada carro deverá ter de dois a quatro *Beacons* – dois *Beacons* para carros de monotrilhos – espaçados uniformemente ao longo do salão de passageiros, fixados sobre a forração do teto do salão dos carros e posicionados na região portas de cada salão. O máximo raio de cobertura da transmissão, ajustado para cada *Beacon* instalado no salão de passageiros dos carros, também deve ser de 15 metros. Desta forma, estima-se um total de 24 *Beacons* para um trem com seis carros, 14 *Beacons* para um monotrilho de sete carros e 10 *Beacons* para um monotrilho de cinco carros.

Considerando que nos três locais descritos anteriormente os *Beacons* se encontram alinhados, ao invés de baterias, uma opção é alimentar os *Beacons* do trem e de

plataforma por uma fonte externa ligada à rede elétrica. No caso dos *Beacons* de linha de bloqueios, dependendo da quantidade de bloqueios, a alimentação por uma fonte externa também pode ser uma opção a ser estudada.

Um passo seguinte é obter os tempos médios entre as entradas da estação e as linhas de bloqueios - ou vice versa, das linhas de bloqueios até a saída da estação – através da instalação de *Beacons* em todas as entradas e saídas de cada estação. Em função das peculiaridades das entradas e saídas de cada estação tais como largura e disponibilidade de acesso a rede elétrica, a melhor opção para fazer a coberturas destes acessos é o uso de *Beacons* distribuídos convenientemente nos espaços e alimentados por baterias, com potência e taxa de transmissão ajustadas conforme a recomendação descrita no capítulo de tecnologias habilitadoras, de forma que a bateria de cada dispositivo tenha uma autonomia de cerca de dois anos.

Uma próxima etapa pode ser o monitoramento do tempo gasto entre a entrada do usuário na estação e o momento que o usuário de afasta de um terminal eletrônico de compra de bilhetes ou de uma bilheteria. Caso existam diversas opções de acesso aos diferentes mezaninos da estação pelos passageiros, a aplicação de *Beacons* nestes acessos podem permitir que o Metrô faça também o monitoramento remoto de quais escadas são mais utilizadas, de forma a propor ações que, por exemplo, distribuam mais uniformemente o fluxo de passageiros dentro das estações.

Já o monitoramento de *Beacons* nos elevadores da estação, e destinados principalmente aos usuários preferenciais ou cadeirantes, permitirá que o Metrô verifique remotamente a proporção entre o uso destes equipamentos pela parcela de perfis com necessidades especiais com outra parcela de usuários comuns que também fazem o uso destes equipamentos inadvertidamente, em alguns casos posicionando orientadores ou fiscais nos pontos mais críticos.

Uma vez que a definição do endereçamento de *Beacons* parte de um plano padronizado de endereçamento global, descrito no capítulo sobre tecnologias habilitadoras, e que a arquitetura proposta não faça diretamente o mapeamento de usuários com deficiência visual na infraestrutura metroferroviária, é necessária também a implantação na rede de transportes de um serviço de terceiros para a

navegação independente de cegos através do uso de outros terminais de *Smartphones* desenvolvidos para este perfil, de forma que o Metrô futuramente venha dispor desta informação para agir estrategicamente em situações de emergência.

Caso seja acordada que a propriedade e manutenção destes *Beacons* para o auxílio de pessoas com deficiência visual seja também escopo do Metrô na viabilização deste serviço e na obtenção de dados sobre a posição de usuários com deficiência visual dentro da rede, *Beacons* complementares podem ser adicionados sobre a linha de pisos podotáteis das estações seguindo as recomendações de projeto definidas pela empresa proprietária do serviço.

Figura 10 - Distribuição física dos *Beacons* na rede metroferroviária



Fonte: Copche (2016)

Por fim, no topo da pirâmide da Figura 10, tem-se a possibilidade de estudar outros locais de interesse para o monitoramento através dos terminais dos usuários. Podem-se citar os acessos às saídas de emergência nas rotas de fuga, sanitários públicos e o monitoramento de locais restritos como os túneis interestações, áreas de estacionamento de trens nas vias, etc. Com o plano padronizado de endereçamento global, é possível estender a aplicação de *Beacons* fora dos limites das estações do Metrô, nas plataformas, linhas de bloqueios, entradas e saídas das estações do metrô da ViaQuatro e de outras operadoras privadas, as estações e acessos da rede da CPTM, acessos aos terminais de ônibus coletivos e

intermunicipais, dentre outros locais relevantes para as pesquisas de origem e destino.

4.6 SOFTWARES

Este item apresenta um exercício básico e inicial de quais módulos a estrutura de software do aplicativo dos *Smartphones*, dos servidores das interfaces do trem irá contar:

A seguir são descritas todas as rotinas básicas de software que foram mapeadas neste exercício para possibilitar o funcionamento dos serviços a serem oferecidos pela plataforma, mostrados previamente no capítulo 4.2:

4.6.1 MÓDULOS DE SERVIÇOS E FUNÇÕES NOS SMARTPHONES

Os *Smartphone* dos usuários deverão possuir os seguintes módulos instalados em um ou mais aplicativos:

- Serviço de melhor rota;
- Serviço de recálculo da última rota escolhida;
- Serviço de melhor trem;
- Serviço de mapa da rede;
- Serviço de melhor serviço;
- Serviço de denúncias;
- Serviço de achados e perdidos;
- Serviço fale conosco;
- Rotina para a função posição;
- Rotina para a função monitoração de conforto;
- Rotina para a função identificação e perfil;
- Rotina a função pesquisa de satisfação;

- Rotina de envio de log de acesso ao serviço ZUUM;
- Rotina de envio de log de acesso ao serviço de Bilhete Único;
- Rotina de monitoração e alarmes de *Beacons* pessoais;
- Tabela padrão de correlação de endereçamento de *Beacons* (UUID, Major, Minor) por localidade dentro da rede;
- Rotina embarcada de atualização das mídias de publicidade de terceiros no aplicativo.

4.6.2 MÓDULOS DE SERVIÇOS E FUNÇÕES NOS SERVIDORES

Conforme mostrado anteriormente no item 4.3 – Arquitetura Básica – está prevista na arquitetura inicial três servidores: Trem, Central e Big Data. Este conjunto de servidores que deverá manter toda a estrutura de informação. A seguir está a descrição das principais funções de cada um destes servidores:

Servidor Único do Trem:

Possui um software que faz o tabelamento do último estado de cada trem em operação com os seguintes dados básicos: horário da leitura, ID da última plataforma, ID do trem, dados de carregamento por carro e dados de carros isolados. Além do mais, visando a integridade das informações fornecidas aos usuários, pode ser prevista uma interface com o CCO para receber a programação de trens, no caso de estratégias operacionais especiais onde o trem não presta serviço em algumas plataformas.

Servidor Central:

Deve contemplar as seguintes rotinas de software de suporte para os serviços e funções:

- Algoritmo para cálculo de melhores rotas entre dois pontos da rede metroferroviária, englobando também a rotina de recálculo da última rota escolhida;
- Tratamento de todos os serviços iniciais;

- Rotina de disparo de e-mail de confirmação de registro de reclamação aos usuários encaminhados pelo aplicativo através da opção Melhor Serviço;
- Tabela padrão de correlação de endereçamento de *Beacons* (UUID, Major, Minor) por localidade dentro da rede.

Servidor Big Data:

Dotado de abundante memória para registro e armazenamento, deve contemplar os seguintes conjuntos de informações:

- Log de solicitação de todos os serviços iniciais;
- Log de disparo de alarme de *Beacons* pessoais;
- Conjunto de informações de todas as imagens de leiaute de mezaninos para o serviço Mapa da Estação;
- Memória para o registro e armazenamento da informação de posição de usuários comuns na rede;
- Dados de monitoração de conforto coletados pelos *Smartphones* dos usuários;
- Dados de monitoração de conforto coletados pelas interfaces dos trens;
- Informação de posição de usuários com mobilidade reduzida;
- Informação de posição de usuários com deficiência visual, proveniente de servidores de terceiros;
- Informações coletadas por pesquisas de satisfação;
- Configurável na estipulação de limites de armazenamento do histórico de informação de posição de usuários comuns na rede.

4.6.3 MÓDULOS DE FUNÇÕES NAS INTERFACES DOS TRENS

Deve contemplar as seguintes rotinas de software:

- Rotina customizada de software para cada tipo de interface central;

- Rotina de software para a leitura de parâmetros de conforto pela interface de sensores embarcados;
- Rotina de software para identificação de plataforma;
- Rotina de software de integração de dados e de envio para a interface de comunicação com o servidor.

4.7 REQUISITOS DE SISTEMA

Seguem os requisitos mínimos do sistema para garantir a funcionalidade do SID:

SEGURANÇA contra o envio frequente de reclamações ou denúncias por parte de um usuário específico, bloquear a ação de hackers etc.:

Para minimizar estas possibilidades, toda nova instalação de aplicativo no aparelho *Smartphone* do usuário só será efetivada com o recebimento de um código de SMS gerado no mesmo aparelho após o usuário informar o número correto do seu celular. A veracidade do nome do usuário, sua idade, frequência de uso da rede, limitações físicas, confirmação de e-mail pode ser obtida através de outras estratégias não mencionadas neste trabalho, tais como obtenção através da respectiva operadora de celular, outros serviços de recarregamento de bilhete etc.

TEMPO REAL ou disponibilidade dos serviços e rapidez nas informações:

Para isto será necessária a disponibilidade do serviço de dados móvel de uma rede 4G adequada para a demanda máxima de passageiros de cada linha e estação. Este ainda é o “calcanhar de Aquiles” deste projeto. Por outro lado, a operadora CTA do metrô de Chicago fez recentemente um acordo com as operadoras locais T-Mobile, AT&T, Verizon, Sprint e uma empresa através de PPP que possibilitou o upgrade de toda a rede de dados para a quarta geração de duas linhas, atendendo as necessidades latentes dos usuários que utilizam as Linhas Vermelha e Azul do metrô de Chicago.

PRIVACIDADE para garantir a privacidade dos usuários no uso dos dados individuais durante as comunicações entre os *Smartphones* e servidores:

Embora a plataforma não utilize dados pessoais na solicitação dos serviços, apenas a indicação do perfil de utilização do usuário, deve ser considerada uma rotina de criptografia na camada de aplicação do software do aplicativo, dos softwares dos servidores e da interface de comunicação do trem para evitar uma possível interceptação de dados por serviços de terceiros.

ROBUSTEZ para garantir o reenvio de dados no caso de falta de disponibilidade ou falhas na comunicação, seja por falta de confirmação ou por dados corrompidos:

CAPACIDADE para atender todos os usuários da rede metroferroviária inclusive nos momentos de maior demanda do SID.

Exceto a comunicação de posição, deverá ser prevista uma camada de recebimento da mensagem o nível do aplicativo. Além disso, deve ser prevista a reinicialização automática e transparente do aplicativo nos *Smartphones*, caso esteja em segundo plano, bem como da interface dos trens e dos softwares dos servidores.

EXPANSIBILIDADE da capacidade do servidor Central conforme o crescimento do número de solicitações e de serviços, bem como do servidor Big Data, que poderá eventualmente manter armazenados o histórico dos dados de posição de todos os passageiros em períodos maiores do que algumas horas para pesquisas analíticas mais complexas.

DISPONIBILIDADE adequada do SID inclusive em casos de falhas individuais de equipamentos, determinando características e níveis de recursos de contingência.

Observação importante: Estes requisitos deverão ser atendidos quando ocorrer a especificação para a contratação do projeto.

4.8 REQUISITOS DE IMPLANTAÇÃO

PUBLICIDADE através de *banners* ou pela inserção de propaganda em todas as telas do aplicativo visando arrecadação para a manutenção do sistema, tais como o custo de substituição de Beacons e baterias, a mensalidade dos planos 3G/4G para os trens, a manutenção dos servidores etc., bem como ser uma eventual fonte de renda extra.

INTEGRAÇÃO COM OS CANAIS EXISTENTES da CMSP para os serviços de informação e de comunicação com os passageiros. Uma opção é integrar os serviços no aplicativo já existente *Direto do Metrô* da CMSP.

DEFICIENTES VISUAIS que são atendidos por serviços de terceiros para navegação não assistida devem ter suas últimas posições registradas no servidor Big Data da arquitetura. Desta forma, deve estar prevista na tabela padrão de endereçamento dos *Beacons* de posição uma segunda camada mais densa de distribuição de *Beacons* nas estações de forma a atender a necessidade de mapeamento dos espaços internos para software de navegação de terceiros tal como o *Wayfindr* para deficientes visuais, mesmo que a propriedade destes *Beacons* também seja de terceiros.

PAGAMENTO POR SMARTPHONE através da interface NFC pode ser viabilizado futuramente desde que se faça a atualização dos leitores de todos os bloqueios. Desta forma, deve estar prevista uma futura integração com outros aplicativos existentes, ou que ainda não foram concebidos, para a recarga, a consulta de saldo e o pagamento da viagem. Conforme abordado anteriormente, já existem aplicativos para recarregar o cartão de Bilhete Único de Bilhete de Ônibus Metropolitano (BOM), utilizando a rede de dados dos passageiros e a interface NFC para a leitura do saldo do cartão.

INTEGRAÇÃO COM TERCEIROS na definição do plano de endereçamento dos *Beacons* para o mapeamento dos ambientes da rede voltados para auxiliar na navegação de pessoas com deficiência visual bem como na definição do meio de comunicação entre o servidor Big Data e os servidores de terceiros que desejam obter os dados sobre tempos médios em diversos pontos da rede.

ALINHAMENTO DO FLUXO DE DADOS mínimos nos ambientes da rede metroferroviária com a operadora antes da implantação de forma a banda de utilização de todos os usuários com a plataforma de serviços. Embora não necessite de muita velocidade no fluxo de dados (18 kbps) e transmite uma quantidade relativamente muito baixa de dados por usuário, quando comparada com outros aplicativos atuais de compartilhamento de imagem, voz e vídeo, o serviço do SID estará convivendo com outras aplicações, atuais e futuras, como por exemplo, os

serviços de videofone que demandam desempenho mínimo de 384 kbps (GABOS, apostila).

Observação importante: Estes requisitos deverão ser atendidos quando ocorrer a especificação para a contratação do projeto.

4.9 MODULARIDADE DA ARQUITETURA

Este tópico visa consolidar todas as possibilidades de expansão da arquitetura física e lógica da plataforma:

- Permite o aumento da densidade de *Beacons* em cada estação do Metrô conforme a necessidade;
- Permite o mapeamento do tempo médio entre estações do Metrô e de terceiros, tais como as estações da CPTM, da ViaQuatro e os Terminais de Ônibus;
- Prevê a adição de mais sensores nas interfaces embarcadas dos trens do Metrô visando monitorar dados sobre desempenho e conforto, dentre outras possibilidades tais como monitoramento da temperatura externa com a umidade como previsão de trilhos molhados para alerta de aplicação do código BX (Baixa Aderência) que impõe uma restrição de velocidade no trem etc.;
- Prevê a expansão da capacidade de processamento do servidor Central de acordo com o aumento da demanda de serviços solicitados pelos passageiros;
- Permite que o servidor Big Data obtenha informações de servidores externos à arquitetura;
- Possibilita fornecer - ou comercializar - informações sobre tempos médios entre os pontos da rede para empresas terceiras que também fornecem informações de trajeto em tempo real em aplicativos, mas que atualmente estão limitados a cobrir somente ambientes externos através da interface GPS.

4.10 PROVA DE CONCEITO TEÓRICO DA ARQUITETURA

Para conhecer os três serviços escolhidos para a prova de conceito teórico, consultar a monografia (TAMURA, 2016) pode ser consultada.

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.

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*.

Para detalhes sobre os módulos de *software* da arquitetura e a prova de conceito teórica de alguns serviços, consultar a monografia completa (TAMURA, 2016).

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, depois de 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.

“A inovação é o que distingue um líder de um seguidor”.

(Steve Jobs)

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;
- 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 mais bem 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 may 2015. Disponível em:

<http://www.aislelabs.com/reports/beacon-guide/>. Acesso em 05 mar 2016.

ALVARO, Alexandre. Uma plataforma de cidades inteligentes baseada na *Internet das Coisas*, Auxílio à Pesquisa – Regular, 01 out 2012. Centro de Ciências e Tecnologias para a Sustentabilidade (CCTS), Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR), Sorocaba, SP.

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. Acesso em 14 abr 2015.

BARBARÁN, Gabriela María Cabel. Plataforma inteligente de aplicações para serviços baseados em localização - Auxílio à Pesquisa - Pesquisa Inovativa em Pequenas Empresas – PIPE, 01 dez 2006. SYM Tecnologia de Informação Ltda.

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 Morais. 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.

CARDOSO, Roberto Speicys. Uma aplicação móvel para obtenção de informações atualizadas de transporte público a partir do conhecimento coletivo, Auxílio à Pesquisa - Pesquisa Inovativa em Pequenas Empresas - PIPE, São Paulo, 01 ago 2014. Scipopolis Desenvolvimento e Analise de Dados Ltda.

DIÁRIO DE SÃO PAULO. Aplicativo traça rotas para quem não usa carro, 29 out 2015. São Paulo.

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, may 2015.* Disponível em: <http://ideasorlando.com/blog/experimenting-with-ibeacons/>. Acesso em 05 mar 2016.

GSMA. A Guide to Bluetooth Beacons, A White paper by the GSMA, setembro de 2014. Disponível em: <http://www.gsma.com/digitalcommerce/wp-content/uploads/2013/10/A-guide-to-BLE-beacons-FINAL-18-Sept-14.pdf>. 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. 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; ZIROLDI, 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. <https://tecnoblog.net/142037/metro-sao-paulo-aplicativo-oficial-android/>. Acesso em 04 mar 2015.

PITU 2020. O Plano Integrado de Transportes Urbanos para 2020 - Pitu 2020. Secretaria de Estado dos Transportes Metropolitanos. Disponível em: <http://www.stm.sp.gov.br/index.php/o-pitu-2020>

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. 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.

RUDNENKO, Veronika; DAUBY, Laurent. Internet Connectivity in Underground Rail Systems, 15 May 2014. UITP - Advancing Public Transport Co-Financed by: New Cities Foundation. Acesso em 14 abr 2015. Disponível em:

http://www.uitp.org/sites/default/files/documents/Publications/internet_in_metros_2014.pdf

SAMSUNG BUSINESSVOICE TEAM. *How Smartphones Will Transform the Future of Transportation*, 28 JAN 2015. Disponível em:

<http://www.forbes.com/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, Ellyn; 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-abixo-do-que-operadoras-prometem-diz-pesquisa.htm>. Acesso em 14 abr 2015.

TAMURA, Márcio Eiji. Diagnóstico do Sistema Metroferroviário Utilizando Tecnologia Embarcada de Smartphones – Prova Teórica de Conceito, 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.

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.