

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP  
ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
PROGRAMA DE EDUCAÇÃO CONTINUADA - PECE  
ESPECIALIZAÇÃO EM TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

RODRIGO REINALDO DA SILVA

Estudo de aplicação de sistemas inteligentes de transporte (ITS)  
dirigidos à integração de dados na Companhia Paulista de Trens  
Metropolitanos - CPTM

**SÃO PAULO**  
**2016**

RODRIGO REINALDO DA SILVA

Estudo de aplicação de sistemas inteligentes de transporte (ITS)  
dirigidos à integração de dados na Companhia Paulista de Trens  
Metropolitanos - CPTM

Monografia apresentada à Escola  
Politécnica da Universidade de São  
Paulo, como requisito parcial para  
obtenção do título de Especialista em  
Tecnologia Metroferroviária

Orientador: Professor Drº Jorge Rady de  
Almeida Júnior

**SÃO PAULO**  
**2016**

Dedico este trabalho à minha família, em especial aos meus pais, Inês e José, minha esposa Márcia e à pequena Helena, que me ensinou um novo sentido para transcendência.

## AGRADECIMENTOS

A Companhia Paulista de Trens Metropolitanos pela oportunidade de realizar este curso e o presente trabalho.

Ao Prof. Dr. Jorge Rady de Almeida Junior pela orientação nesta monografia.

Ao amigo Neemias, pela generosidade nesta parceria.

Aos integrantes das diversas áreas da empresa pelas valiosas contribuições compartilhadas.

Pouco conhecimento faz com que as pessoas se sintam orgulhosas. Muito conhecimento, que se sintam humildes. É assim que as espigas sem grãos erguem desdenhosamente a cabeça para o Céu, enquanto que as cheias as baixam para a terra, sua mãe.

(Leonardo Da Vinci)

## RESUMO

Este trabalho analisa uma aplicação de sistema inteligente de transporte, especificamente sobre como a informação de rastreamento dos trens da Companhia Paulista de Trens Metropolitanos – CPTM pode auxiliar os empregados e usuários dos serviços da empresa, num cenário onde não existe regulação automática de trens (piloto automático). Analisando-se a situação atual de modernização do Sistema de Controle de Tráfego Centralizado, estima-se um prazo de, no mínimo, três anos para a sua conclusão, sendo que durante este intervalo de tempo a regulação será feita com a experiência do despachador, utilizando como ferramenta principal um gráfico de trens com dados programados. Uma melhor disponibilização do rastreamento em tempo real poderá fornecer um recurso adicional para a tomada de decisão no Centro de Controle. Também o usuário da ferrovia, que atualmente tem acesso apenas a dados programados, poderá ser beneficiado com o acesso dos dados realizados em tempo real. Descreveu-se como a informação de rastreamento dos trens pode ser acessada no sistema de controle de tráfego atual, sendo elaborado um protótipo que sugere como podem ser compartilhadas com empregados e usuários da CPTM.

**Palavras-chave:** Sistemas Inteligentes de Transporte, Rastreamento automático de trens, Sinalização ferroviária, Interface de Programação de Aplicativo.

## ABSTRACT

This paper analyzes an application of intelligent transportation system, specifically on how automatic tracking information from Companhia Paulista de Trens Metropolitanos – CPTM trains can assist employees and members of the Company's services in a scenario where there is no operation trains automatic (autopilot). Analyzing the current situation of the centralized traffic control system modernization, it estimated a period of, at least, three years to your conclusion, and during this period the adjustment will be made to the dispatcher experience, using as main tool a train graph with programmed data. Better availability of real-time tracking can provide an additional resource for decision-making in the Control Center. Also the user of the railway, which currently only has access to programmed data, may benefit from accessing data performed in real time. It was described as the trains tracking information can be accessed on the current traffic control system, establishing a prototype that suggests how they can be shared with employees and users of CPTM.

**Keywords:** Intelligent Transportation Systems, Automatic Tracking trains, railway signaling, Application Programming Interface.

## LISTA DE SIGLAS

AMV	Aparelho de Mudança de Via
API	<i>Application Programming Interface</i>
ATC	<i>Automatic Train Control</i>
ATO	<i>Automatic Train Operation</i>
ATP	<i>Automatic Train Protection</i>
ATS	<i>Automatic Train Supervision</i>
CBTC	<i>Communications-Based Train Control</i>
CBTU	Companhia Brasileira de Trens Urbanos
CCO	Centro de Controle Operacional
CDV	Circuitos de Via
CPTM	Companhia Paulista de Trens Metropolitanos
FTP	<i>File Transfer Protocol</i>
GPRS	<i>General Packet Radio Services</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
GSM	<i>Global System for Mobile</i>
ITS	<i>Intelligent Transport Systems</i>
QIR	Quantidade de Intervalos Regulares
QTIR	Quantidade Total de Intervalos Realizados
SCTC	Sistema de Controle de Tráfego Centralizado
THR	Tabela Horária Real
TIC	Tecnologia de Informação e Comunicação



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Principais elementos da via permanente .....	5
Figura 2 - Sinal ferroviário interno e externo .....	9
Figura 3 - Representação de bloco fixo ou circuito de via .....	9
Figura 4 -Transponder ou baliza.....	10
Figura 5 - Diagrama de um intertravamento típico.....	11
Figura 6 - Configuração básica de um ATC.....	13
Figura 7 - Arquitetura básica de um CCO.....	14
Figura 8 - Formato de saída da Tabela Horária Real .....	19
Figura 9 - Interface do subsistema de visualização de painel sinótico .....	20
Figura 10 - Subsistema de consulta da regularidade.....	21
Figura 11 - Diagramas de casos de uso .....	27
Figura 12 - Arquitetura do protótipo .....	28
Figura 13 - Tela de interface de requisição do protótipo.....	28
Figura 14 - Tela de interface de resposta do protótipo .....	29

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Metas de regularidade mensais para dias úteis.....	26
Tabela 2 - Classificação dos conceitos de regularidade .....	26

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	1
1.2 OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA .....	2
1.2.1 OBJETIVO.....	2
1.2.2 JUSTIFICATIVA.....	2
<b>2. FUNDAMENTOS DO TRANSPORTE FERROVIÁRIO DE PASSAGEIROS .....</b>	<b>4</b>
2.1 VIA PERMANENTE .....	4
2.2 MATERIAL RODANTE .....	5
2.3 SISTEMA DE CONTROLE DE TRÁFEGO CENTRALIZADO .....	5
2.3.1 LIBERAÇÃO DE VIAS E FRANQUEAMENTO À PASSAGEM DO TREM .....	7
2.3.2 CENTRO DE CONTROLE OPERACIONAL.....	7
2.4 PRINCÍPIOS DE SINALIZAÇÃO FERROVIÁRIA.....	8
2.4.1 SINAIS LUMINOSOS .....	8
2.4.2 CIRCUITOS DE VIA – CDV.....	9
2.4.3 INTERTRAVAMENTO .....	10
2.5 SUPERVISÃO E CONTROLE AUTOMÁTICO .....	11
2.5.1 PROTEÇÃO AUTOMÁTICA DE TREM – ATP.....	11
2.5.2 OPERAÇÃO AUTOMÁTICA DE TREM – ATO .....	12
2.5.3 CONTROLE AUTOMÁTICO DE TREM – ATC .....	12
2.5.4 SUPERVISÃO AUTOMÁTICA DE TREM – ATS.....	13
2.5.5 CONTROLE DE TRENS BASEADO EM COMUNICAÇÃO – CBTC.....	14
<b>3. MÍDIAS E REDES SOCIAIS NO TRANSPORTE PÚBLICO .....</b>	<b>15</b>
<b>4. CONCEITOS DE ENGENHARIA DE SOFTWARE .....</b>	<b>17</b>
<b>5. METODOLOGIA .....</b>	<b>18</b>
5.1 REQUISITOS DOS SISTEMAS ATUAIS DE CIRCULAÇÃO.....	18

5.1.1 TABELA HORÁRIA REAL – THR.....	18
5.1.2 SISTEMA DE VISUALIZAÇÃO DO PAINEL SINÓTICO .....	20
5.1.3 SUBSISTEMA DA REGULARIDADE DE TRENS.....	21
5.2 REQUISITOS FUTUROS DO NOVO SISTEMA IMPLANTADO.....	22
5.3 FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS .....	22
5.4 DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	23
5.4.1 JUSTIFICATIVA DO PROTÓTIPO.....	23
5.4.2 REQUISITOS DA THR .....	25
5.4.3 REGULARIDADE .....	25
5.4.4 CONCEITO DE REGULARIDADE .....	26
5.4.5 CASOS DE USO .....	26
5.4.6 IMPLEMENTAÇÃO DO PROTÓTIPO .....	27
5.4.7 FUNCIONAMENTO DO PROTÓTIPO .....	28
<b>6. CONCLUSÕES .....</b>	<b>30</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>32</b>

## 1. Introdução

Os Sistemas Inteligentes de Transporte, tradução da sigla em inglês ITS (Intelligent Transport Systems), podem contribuir com ações automáticas para a operação da circulação de tráfego e das estações ferroviárias da CPTM, melhorando a confiabilidade, disponibilidade e segurança dos diversos sistemas envolvidos e permitindo o acesso às informações em tempo real, tanto para os gestores da empresa quanto para os usuários do sistema.

As Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) têm se destacado como um dos impulsionadores de inovação em vários segmentos de mercado. No segmento de transporte a sua aplicação tem proporcionado uma maior eficiência na gestão de transporte, na disseminação de informações de tráfego a usuários, dentre outras aplicações e usos. O Comitê ISO TC 204 (Intelligent Transport Systems) define ITS como o conjunto de soluções de TIC aplicadas ao transporte em ambientes urbanos e rurais, o que inclui as questões de: intermodalidade e multimodalidade; informações aos viajantes, gesto do tráfego, transportes públicos, transporte comercial, serviços de emergência e serviços comerciais. Uma das definições formais caracteriza ITS como um mecanismo que proporciona melhores experiências de mobilidade. (SANTOS E LEAL, 2012, P. 07).

A partir do século XXI, com a popularização das redes sociais, especificamente àquelas voltadas em compartilhar informações sobre as condições do transporte público, observa-se a necessidade de pesquisar como os dados reais sobre a regulação e o posicionamento da frota de trens podem ser disponibilizados para os usuários do sistema ferroviário.

### 1.1 Considerações iniciais

A Companhia Paulista de Trens Metropolitanos - CPTM é uma empresa de economia mista do Governo do Estado de São Paulo, ligada à Secretaria dos Transportes Metropolitanos, criada no ano de 1992 e formada a partir da fusão da Companhia Brasileira de Trens Urbanos (CBTU) e pela Ferrovia Paulista S/A (FEPASA), que operavam as linhas de transporte de passageiros sobre trilhos em São Paulo.

A CPTM possui seis Linhas, que somam 257,5 quilômetros operacionais, numa malha total de 260,8 quilômetros. O Sistema atende 22 municípios, sendo 19 deles na Região Metropolitana de São Paulo e conta com 92 estações ferroviárias. (RELATÓRIO ADMINISTRAÇÃO, 2014, P.09)

## 1.2 Objetivos e justificativa

### 1.2.1 Objetivo

O objetivo principal deste trabalho é avaliar como o gerenciamento e a aquisição de informações em tempo real, que atualmente estão disponibilizadas de forma distribuída, especialmente as informações reais oriundas dos Sistemas de Controle de Tráfego das seis linhas da CPTM (que estão sendo modernizadas por fornecedores diversos e ainda não estão integradas num banco de dados único), podem ser concentradas num formato amigável e que sirva de orientação tanto para os empregados da ferrovia quanto para os usuários de mídias sociais sobre mobilidade e transporte público.

O objetivo secundário desta pesquisa é desenvolver um protótipo de sistema que forneça uma visão de comparação entre os intervalos realizados e programados das viagens ferroviárias, em tempo real, a partir da escolha de qualquer estação, sentido e trecho de estações, disponibilizando estas informações em um serviço de web. O sistema deve classificar os intervalos como normais, atrasados ou adiantados e mensurar os desvios existentes em comparação ao que foi planejado, utilizando como dados de entrada a sequência de ocupação dos circuitos de via.

### 1.2.2 Justificativa

O automatismo proporcionado pelos Sistemas Inteligentes de Transporte faz parte da história da empresa, especialmente na operação e segurança da circulação do material rodante, manutenção dos equipamentos, terminais de integração, arrecadação de bilhetagem, dentre outros.

É importante salientar o crescente papel das mídias sociais que compartilham informações de rotas mais rápidas dos diversos modais de sistemas de transporte público, presentes em centenas de cidades ao redor do mundo e que têm os brasileiros no topo da lista de maiores usuários. Estas empresas já possuem acordos com algumas empresas operadoras de transporte público brasileiras, que fornecem parte da informação usada no serviço destes aplicativos, como a melhor opção de trajeto, registros em tempo real dos veículos utilizados e as sugestões de rotas alternativas em situação de degradação. A outra parte da informação vem dos próprios usuários dos aplicativos, permitindo a interatividade destas mídias e tornando-as mais precisas ao estimar o tempo de uma viagem.

Institucionalmente a CPTM limita-se a informar aos usuários se determinada linha está ou não com a operação normal, sugerindo um itinerário a partir do local de embarque e desembarque. O usuário não recebe nenhuma estimativa de tempo que considere os horários reais de chegada e partida dos trens nas estações, tempos de parada em plataformas e tempos de percurso, que poderiam inferir as condições reais das diferentes linhas, sentidos e possíveis falhas ou degradações, pois são dados oriundos dos próprios sistemas de controle de tráfego.

Sugerir métodos de aquisição das informações em tempo real dos atuais sistemas de tráfego pode gerar uma solução de curto prazo e baixo custo, minimizando os efeitos do elevado tempo de espera necessário para que tais informações sejam disponibilizadas pelos novos sistemas que estão em fase de projeto.

A massificação do acesso de computadores pessoais e dispositivos móveis com acesso à internet permite que os recursos de ITS, em relação às informações em tempo real, sejam aproveitados por usuários, operadores e gestores da empresa, seja através de ferramentas institucionais ou através de parcerias com empresas de mídias sociais. Atualmente os usuários do sistema da CPTM vivem numa era de interatividade, e a importância da internet equivale àquela da eletricidade na era industrial CASTELLS (2003).

As redes e mídias sociais compreendem novas plataformas baseadas em tecnologias de informação e comunicação, permitindo participações mais rápidas e mais populares, tornando-se a nova mídia, por onde circula a informação, permitindo o debate e uma alternativa de organização social baseada num interesse coletivo.

Obviamente, antes de se pensar na possibilidade de disponibilizar os dados reais das viagens realizadas para agentes externos, primeiramente é necessário garantir que tais dados sejam coletados diretamente do SCT, reduzindo ao máximo a possibilidade de interferência humana, seja ela proposital ou involuntária.

## **2. Fundamentos do transporte ferroviário de passageiros**

O transporte ferroviário, que sucedeu aquele realizado por tração animal, surgiu na Inglaterra no fim do século XVIII, combinando uma via com trilhos de ferro por onde circulavam veículos motorizados, consolidando a definição de estrada de ferro para grandes demandas de transporte. Naquela época o objetivo principal era o transporte de materiais, de maneira que se pudesse impulsionar o desenvolvimento industrial. Já no Brasil a primeira estrada de ferro foi inaugurada em 1854, com a participação efetiva do conhecido personagem Barão de Mauá, efetuando a ligação da cidade do Rio de Janeiro com o município de Petrópolis (BRINA,1979).

Ainda no cenário nacional, a partir da segunda metade do século XX foram criadas diversas empresas, como a Rede Ferroviária Federal S.A, Companhia Brasileira de Trens Urbanos - CBTU e Ferrovia Paulista S.A – FEPASA, que dividiam o escopo de trabalho entre o transporte de passageiros e o de cargas. Entretanto, após o aumento da produção do motor à explosão, usado na indústria automobilística, concomitantemente com a construção de diversas rodovias pelo país, surgiu outro modal de competição ao transporte ferroviário, podendo-se destacar, como os mais fortes concorrentes, o caminhão e o ônibus.

O transporte ferroviário de passageiros tem como objetivo transportar os usuários do sistema de forma segura, num intervalo de tempo programado e a um custo competitivo se comparado a outros modais de transporte.

### **2.1 Via permanente**

Segundo BRINA (1979), a construção de uma ferrovia envolve etapas de infraestrutura como terraplanagem, valetas, pontes e drenagens do terreno, dentre outras. Dá-se no nome de via permanente à superestrutura da ferrovia, sendo que é a parte que sofre o desgaste das rodas do trem com os trilhos e aquele ocasionado pelas intempéries do meio. Ela é projetada para ser substituída de acordo com as necessidades de segurança em relação ao desgaste ou comodidade da circulação, como aumento de peso do material rodante, aumento da intensidade de tráfego, dentre outros fatores.

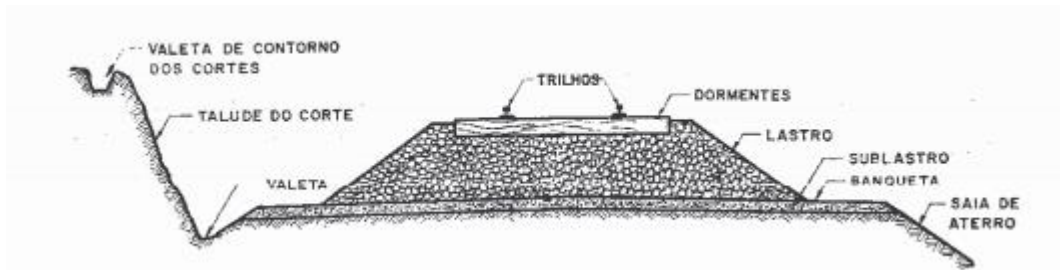
Os elementos principais da via permanente são:



- Lastros
- Dormentes
- Trilhos

A figura 1 apresenta a relação entre a infra e a superestrutura da ferrovia e os principais elementos da via permanente.

**Figura 1- Principais elementos da via permanente**



Fonte: BRINA (1979)

## 2.2 Material rodante

O compartimento de transporte de carga é denominado como vagão e denomina-se, como carro, aquele destinado ao transporte de passageiros. As composições podem ser classificadas como:

- Trens formados por uma ou mais locomotivas e uma série de carros de passageiros, havendo uma separação entre o veículo que traciona e o carro que é tracionado (neste último caso é um material apenas rodante);
- Trens com unidades de tração conjugadas com o material rodante de modo a formar um único conjunto, sem a necessidade de uma locomotiva separada.

Em ambos os casos a tração pode ser realizada por combustíveis ou energia elétrica.

Dentre as características de tráfego e operação, destaca-se o transporte urbano de massa, presente em diversas metrópoles do mundo e muitas vezes operado através do Sistema Centralizado de Controle de Tráfego (SÓLOMON, 2010).

## 2.3 Sistema de Controle de Tráfego Centralizado

A finalidade do Sistema de Controle de Tráfego Centralizado (SCTC) de passageiros é fornecer ferramentas para o controle e supervisão de todo o material

rodante, de modo que o direito de viagem do usuário do sistema de transporte sobre trilhos seja assegurado com segurança e eficiência. No que se refere à segurança do sistema, o objetivo final é evitar prejuízos materiais e humanos ocasionados por acidentes como colisões e descarrilamentos. Já do ponto de vista da eficiência, o objetivo é que os desvios horários entre a quantidade total de viagens realizadas esteja de acordo com uma faixa de tolerância aceitável, pois numa amostragem de centenas de viagens por dia é admissível que uma pequena parcela apresente alguns desvios.

Segundo PIRES (2006), um fator extremamente relevante em relação à segurança da circulação é o coeficiente de atrito no contato entre a roda do trem e o trilho da via. O material da superfície de contato de ambos os elementos é o aço e isso faz com que o coeficiente de atrito seja considerado baixo se comparado ao de outros modais de transporte, como por exemplo, os que utilizam o contato entre pneu e o asfalto. Além disso, outros fatores influenciam na variação do coeficiente de atrito de uma composição para outra, podendo-se citar:

- Condições desfavoráveis da superfície de contato, como trilhos molhados ou com a presença de graxas, óleos e óxidos metálicos;
- Diminuição do coeficiente de atrito devido ao aumento da velocidade do trem, em razão de suas oscilações;
- Grandes massas e inércias envolvidas nas composições.

Em razão dos motivos citados, somente a percepção visual do condutor da composição ferroviária não é suficiente para permitir a frenagem segura do trem. Então, faz-se necessária a existência de mecanismos que forneçam a informação para frenagem com a antecedência necessária. Dependendo da evolução histórica dos sistemas, esta atuação pode necessitar da ação do maquinista ou ser realizada de forma automática.

Outra característica que define o SCTC é que pertence ao controlador de tráfego a autoridade para franquear o movimento dos trens, através do controle remoto de equipamentos, diferente do que ocorre com um sistema de controle de tráfego descentralizado, onde autoridade é dividida com um posto de comando local.

### 2.3.1 Liberação de vias e franqueamento à passagem do trem

O sistema de detecção de presença de composições tem como finalidade que a via seja liberada para a passagem de um determinado trem somente após a completa passagem do trem da frente pelo referido bloco, em relação ao mesmo sentido de deslocamento ou em sentido oposto. Desta forma, assegura-se a distância necessária para que a circulação ocorra de forma segura.

Esses sistemas de detecção variam conforme a evolução histórica da tecnologia e com a densidade do tráfego controlado. Para as ferrovias de passageiros de alta densidade de circulação, os dois sistemas mais usados são:

- Blocos fixos: toda a via é dividida em secções ou blocos isolados eletricamente, utilizando relés vitais ou microprocessadores de lógica vital, formando o circuito de via. O conceito empregado neste caso é que apenas um trem por vez ocupe cada circuito de via.
- Blocos móveis: devido à informação transmitida por equipamentos instalados na extremidade final de cada trem em movimento e à interação com balizas na via, torna-se possível alterar o comprimento do circuito de via, daí o nome de bloco móvel.

O franqueamento de circulação ou licenciamento do trem ocorre, dentre outras maneiras, através do controle remoto de sinais luminosos e de aparelhos de mudança de via, permitindo o alinhamento de rotas para atingir determinada região geográfica da linha, sendo os principais pontos de interesse as estações ferroviárias, pátios de estacionamento e manutenção, pontos de cruzamento, dentre outros.

### 2.3.2 Centro de Controle Operacional

O Centro de Controle Operacional (CCO) é o local onde são concentradas todas as informações que permitem a operação de uma malha ferroviária de passageiros. Possui uma visão abrangente e recursos de supervisão e controle dos diversos subsistemas ferroviários, podendo-se destacar:

- Energia elétrica: pode ser dividida em energia de tração e instalações fixas. O primeiro caso é a energia elétrica destinada aos veículos de tração, normalmente oriundas das subestações de energia, normalmente conectadas a ramais de níveis mais básicos das concessionárias. O segundo caso é a

energia destinada às instalações fixas, como estações, prédios administrativos e oficinas;

- Gestão da Operação, Segurança e Manutenção: comunicação com as equipes escaladas nas estações de passageiros e bases de maquinistas, agentes de segurança e agentes de manutenção diversos;
- Tecnologias de Comunicação e Informação: os maiores representantes desta área são a bilhetagem eletrônica, telefonia, intranet da empresa, radiofrequência e avisos multimídias aos usuários (SÓLOMON, B., 2010).

## 2.4 Princípios de sinalização ferroviária

Na seção anterior observou-se que os dois critérios básicos da Operação ferroviária são a segurança e a eficiência da circulação. Os elementos que permitem atingir tais requisitos podem ser divididos em dois grandes grupos:

- Elementos de detecção e sinalização da ferrovia: como sinais luminosos, circuitos de via e intertravamento;
- Sistemas automáticos de controle.

### 2.4.1 Sinais Luminosos

SOLOMON (2010) define o sinal luminoso como um equipamento que autoriza o condutor ferroviário a circular com o trem, sendo que esta indicação deve ser seguida até o sinal seguinte. Os significados das informações passadas pelos sinais podem variar de acordo com as características de cada ferrovia. Entretanto, algumas características comuns podem ser destacadas:

- a) A existência de sinais externos (instalados ao lado da via) e internos (dentro da cabine do trem);
- b) As cores normalmente usadas são o vermelho, amarelo e o verde;
- c) O aspecto de apresentação do sinal pode ser contínuo ou intermitente.

A figura 2 ilustra exemplos de sinais ferroviários.

**Figura 2 - Sinal ferroviário interno e externo**



**Fonte: Silva (2012)**

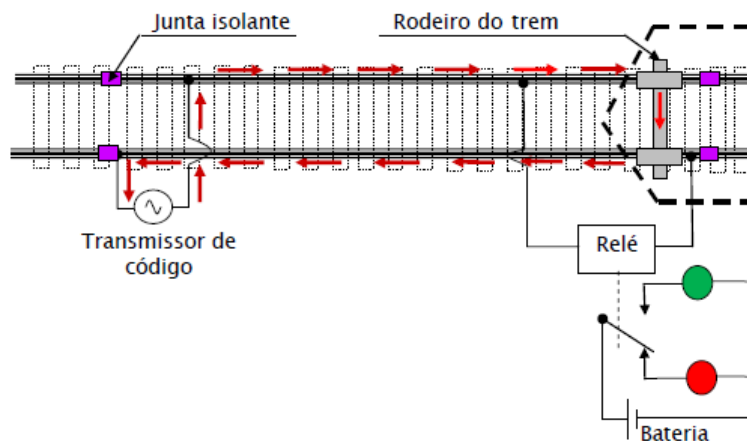
#### 2.4.2 Circuitos de Via – CDV

O circuito de via representa a base da sinalização automática e seu objetivo é que, em um determinado trecho da via, exista a ocupação de um único trem e que utilize o conceito de falha segura ou lógica vital.

A falha segura é um conceito usado tanto no projeto quanto na fabricação dos equipamentos e tem como finalidade garantir a integridade da segurança operacional, mesmo na ocorrência de falhas de equipamentos, desde que não haja falha humana. Ou seja, a falha de equipamento ocorre, mas não compromete a segurança, sendo utilizadas técnicas para que as informações duvidosas não sejam levadas em consideração e assim evidenciando os defeitos.

No caso dos blocos fixos, citados na seção 2.3.1, o circuito de via pode ser representado pela figura 3.

**Figura 3 - Representação de bloco fixo ou circuito de via**

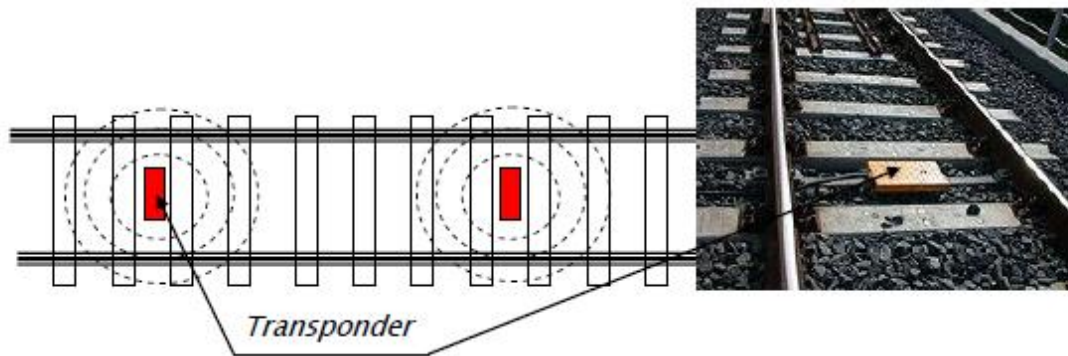


**Fonte: Silva (2012)**

Verifica-se no circuito elétrico da figura 3 que existem juntas para isolar o CDV, uma fonte de corrente que também pode modular um transmissor de código e os trilhos como condutores principais. Com a passagem do rodeiro do trem ocorre um curto-circuito na fonte de corrente e consequente ocupação do circuito.

No caso dos blocos móveis, o esquema pode ser representado pela figura 4, apresentada a seguir:

**Figura 4 -Transponder ou baliza**



**Fonte: Silva (2012)**

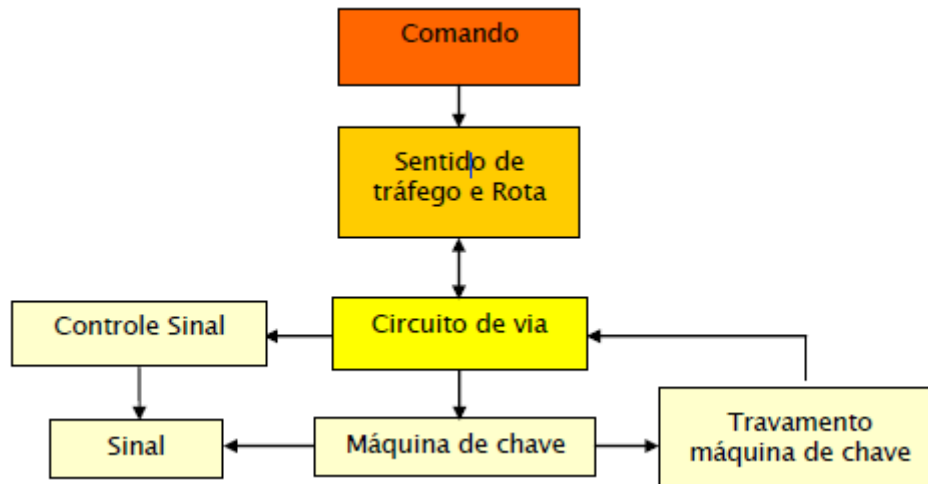
Neste caso é usado um equipamento comumente chamado de baliza, que contém um transmissor e um receptor de ondas de rádio, também conhecido como *transponder* e que interage com o equipamento que está a bordo do veículo ferroviário.

### 2.4.3 Intertravamento

Ainda conforme SOLOMON (2010) e SILVA (2012), a partir das informações dos circuitos de via e da posição de movimentação do aparelho de mudança de via (incluindo o travamento das chaves elétricas) é possível construir um circuito elétrico lógico denominado intertravamento. Ele permite estabelecer o sentido de tráfego e o alinhamento das rotas para a passagem do trem.

A figura 5 mostra a lógica simplificada de um intertravamento típico.

**Figura 5 - Diagrama de um intertravamento típico**



Fonte: Silva (2012)

## 2.5 Supervisão e controle automático

De acordo com U.S.A CONGRESS (1976), os sistemas automáticos de supervisão e controle ferroviários podem ser classificados em quatro áreas:

- 1) Detecção de trens e alinhamento de rotas;
- 2) Controle de velocidade;
- 3) Operação e regulação da circulação;
- 4) Supervisão Centralizada.

### 2.5.1 Proteção Automática de Trem – ATP

O sistema de proteção automática do trem, conhecido pela sigla em inglês ATP (Automatic Train Protection), tem como principais funções:

- a) Detectar e separar os trens;
- b) Receber os sinais de travamento de cada AMV, impedindo rotas conflitantes;
- c) Acionar os freios de serviço ou emergência dos trens sempre que as velocidades autorizadas forem ultrapassadas;
- d) Impedir a abertura de portas fora da área de plataforma e do lado incorreto.

Portanto, verifica-se que este sistema está intimamente ligado a questões específicas de segurança.

### 2.5.2 Operação Automática de Trem – ATO

O sistema automático de operação de trem, conhecido pela sigla em inglês ATO (Automatic Train Operation) possui como funções principais:

- a) Regular a circulação através das curvas de frenagem e velocidade, conforme o gráfico horário de trens programado, a fim de que o intervalo médio entre as composições seja alcançado.
- b) Controlar o processo de parada, partida, tempo de parada em plataforma e abertura e fechamento das portas das composições.

O ATO permite retirar os condutores das composições, pois todas as ações necessárias para a circulação são automatizadas. Entretanto, este processo é gradual e envolve níveis de automação, sendo por este motivo a continuidade de operadores de trem mesmo em ferrovias onde existe a presença do ATO.

### 2.5.3 Controle Automático de Trem – ATC

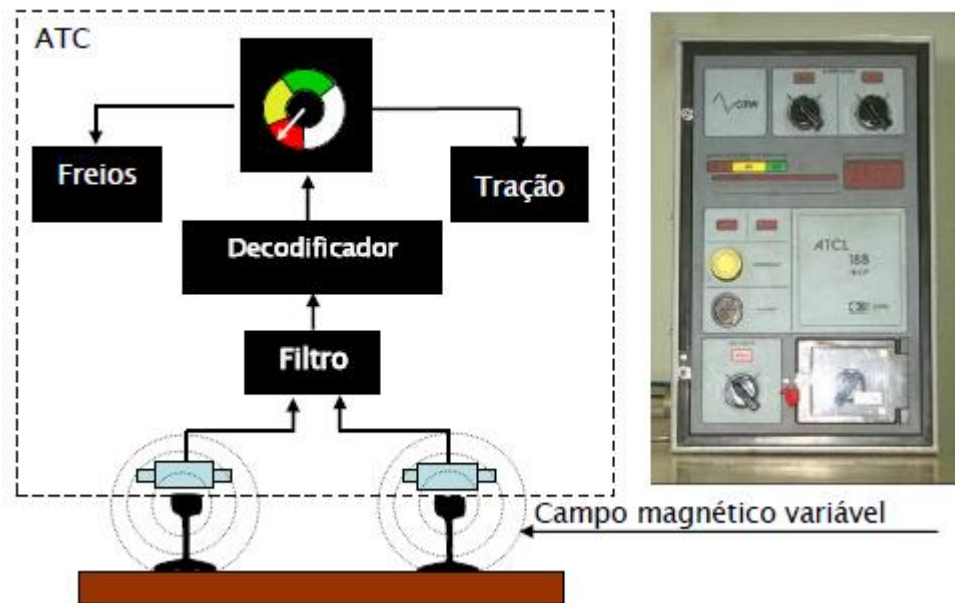
Segundo ALMEIDA JÚNIOR (2014), o sistema ATC, do inglês Automatic Train Control, é definido como a combinação dos subsistemas ATP e ATO. Suas principais funções são:

- a) Aplicar os diferentes códigos de velocidade de serviço, através dos equipamentos instalados na via e no trem, atingindo a regulação programada;
- b) Aplicar a frenagem nas composições sempre que a velocidade máxima autorizada for ultrapassada, seja ela a velocidade de serviço (relacionada a critérios como menor tempo de percurso ou economia de energia elétrica) ou a velocidade máxima permitida (relacionada estritamente à segurança).

A figura 6 representa um diagrama de sistema ATC típico.



**Figura 6 - Configuração básica de um ATC**



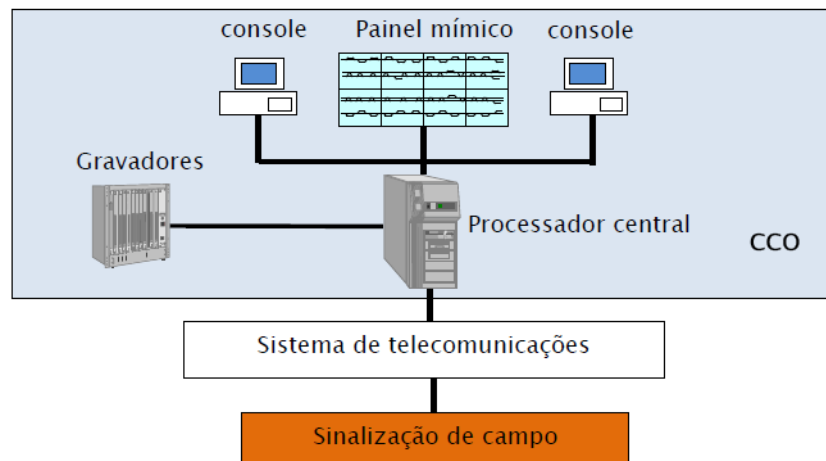
Fonte: Silva (2012)

#### 2.5.4 Supervisão Automática de Trem – ATS

O sistema de Supervisão Automática de Trem, conhecido pela sigla ATS, do inglês Automatic Train Supervision é o sistema encontrado no CCO e, através dele, é possível monitorar e controlar toda a circulação da linha, permitindo visualizar o estado de posicionamento de todas as composições ferroviárias, sentido de tráfego, posições de AMV, passagens de nível, dentre outros. Normalmente estas informações são apresentadas em painéis que mostram a linha inteira, de forma integrada, ou seja, o conjunto das partes. Esta característica é um recurso poderoso para a tomada de decisão do controlador de tráfego.

Outros equipamentos que compõem o ATS são as estações de trabalho, servidores e equipamentos auxiliares diversos, conforme pode ser exemplificado na figura 7.

**Figura 7 - Arquitetura básica de um CCO**



**Fonte: Silva (2012)**

### 2.5.5 Controle de Trens Baseado em Comunicação – CBTC

O Controle de Trens Baseado em Comunicação, do inglês Communications-Based Train Control é um sistema de controle que usa a informação de localização do trem, independente do circuito de via (IEEE 1474,2004). Além disso, outros critérios devem ser atendidos:

- a) Deve ser para alta capacidade;
  - b) A comunicação entre o trem e a via devem ser bidirecional;
- Deve ser capaz de implementar o ATP e ATS.

Em um sistema baseado em circuito de via, independente se a composição ferroviária que faz a ocupação tenha alguns metros ou um quilômetro, o espaçamento entre elas não pode ser alterado, impedindo o despachador de aumentar o fluxo da via.

Já no caso do CBTC, conforme citado no item 2.3.1, o circuito de via é ajustado de acordo com o comprimento da composição, devido à existência dos equipamentos localizados na cauda do trem e que se comunicam com a via férrea (a exemplo do transponder e baliza, respectivamente). Por isso se diz que, neste caso, os circuitos de via são móveis ou virtuais, no sentido de permitir ao controlador posicionar mais de uma composição onde antes só existia um único veículo.

### **3. Mídias e Redes Sociais no transporte público**

As abordagens tradicionais de mídia como televisão, rádio, revista e jornal são centralizadas e se concentram em proporcionar uma ou mais mensagens para os usuários. Neste caso, há um forte controle da mensagem enviada. A mídia social é um termo que abrange uma série de aplicações baseadas na rede mundial de computadores, onde os usuários interagem uns com os outros. A interatividade é o que distingue os sítios de redes sociais daqueles sítios tradicionais ou estáticos.

Redes sociais são métodos colaborativos e dependem da partilha de informação e retorno das opiniões para se mensurar a sua eficácia. Neste caso as organizações podem postar informações que serão compartilhadas e comentadas pelos indivíduos, e, por vezes, também modificadas. Além de compartilhar suas experiências, opiniões, conhecimento e, às vezes, suas localizações, estas ligações podem contribuir para um sentimento de engajamento ou lealdade entre esses usuários.

Segundo a Pesquisa Brasileira de Mídia 2015, encomendada pela Secretaria de Comunicação Social da Presidência da República para compreender os hábitos de consumo de mídia pela população brasileira e realizada pelo IBOPE, avaliando o ano base de 2014, 48% dos brasileiros usaram a internet. O percentual de pessoas que a utilizaram todos os dias cresceu de 26% em 2013 para 37% em 2014. Os usuários das novas mídias ficaram conectados, em média, 4 horas e 59 minutos por dia durante a semana e 4 horas e 24 minutos nos fins de semana, valores superiores aos obtidos pela televisão (PBM 2015, 2015).

Além das diferenças regionais, a PBM 2015 revela que são a escolaridade e a idade dos entrevistados os fatores que impulsionam a frequência e a intensidade do uso da internet no Brasil. Entre os usuários com ensino superior, 72% acessaram a internet diariamente, com uma intensidade média diária de 5 horas e 41 minutos, de segunda à sexta-feira. Entre as pessoas com ensino fundamental, os números caem para 5% e intensidade de 3 horas e 22 minutos. 65% dos jovens na faixa de 16 a 25 se conectam todos os dias, em média 5 horas e 51 minutos durante a semana, contra 4% e intensidade de 2 horas e 53 minutos dos usuários com 65 anos ou mais. O uso de aparelhos celulares como forma de acesso à internet já compete com o uso por meio de computadores ou notebooks, 66% e 71%, respectivamente. O uso

de redes sociais influencia esse resultado. Entre os internautas, 92% estão conectados por meio de redes sociais.

As redes sociais que compartilham informações sobre transporte público utilizam basicamente a transmissão de coordenadas geográficas através de GPS, sigla de “*Global Positioning System*”, que significa sistema de posicionamento global, um sistema de navegação por satélite. Uma aplicação típica é o monitoramento de frotas de transporte rodoviário.

No caso da operação de ônibus, o controle do sistema pode ser considerado descentralizado, pois a autoridade de regulação é dividida com o condutor rodoviário, que tem a atribuição de regular o intervalo do veículo anterior e o posterior ao dele. Já no caso do SCTC a autoridade de regulação cabe apenas ao despachador, que no caso da inexistência de recursos automáticos e na presença de pontos múltiplos de interesse, se depara com uma tarefa de alta complexidade, podendo influenciar no desempenho de um subsistema onde a objetivo principal é o rastreamento.

Um desafio importante para os agentes administrativos e técnicos que trabalham com mobilidade urbana é que a informação encontra-se dispersa e a sua correta modelagem e interpretação pode fazer a diferença entre decisões bem sucedidas ou fracassadas. As redes sociais onde o objetivo é o compartilhamento de informações sobre transporte público se apresentam como um importante representante de fontes de informações relevantes e extremamente dinâmicas.

A comunicação entre os cidadãos e as agências de transporte pode ter a burocracia reduzida e um grande incentivo para que os usuários interajam entre si, fornecendo informações valiosas para os operadores de transporte público, especialmente o ferroviário. Esta rede também pode estar integrada com outros modais de transporte, por exemplo, a estimativa de uma viagem que utiliza ônibus, metrô e trem.

## 4. Conceitos de Engenharia de Software

Conforme Sommerville (2011), a interação gráfica de um sistema computacional constitui uma coleção de objetos apresentados ao usuário, permitindo a comunicação entre o homem e a máquina. Ela deve ser de fácil uso e deve minimizar a necessidade de memorizações por parte do usuário.

A definição básica de orientação a objeto é que se trata de processamento de dados sobre objetos reais ou abstratos, diferente das técnicas de programação procedurais, tendo como algumas características básicas a classe, herança, encapsulamento e polimorfismo, conforme verificado a seguir:

- a) Classe: é o agrupamento de objetos com mesmas características;
- b) Herança: mecanismo no qual uma classe menor permite a formação de outra maior, aproveitando métodos e atributos;
- c) Encapsulamento: uma analogia seria o invólucro de um produto que separa as características externas e internas;
- d) Polimorfismo: métodos comuns entre classes, mas que apresentam comportamentos diferentes.

A modelagem computacional tem como objetivo descrever as funcionalidades e características que determinado software deverá atender. No caso de orientação a objeto, normalmente são utilizados diagramas e gráficos para a modelagem.

Segundo Fowler (2005), o maior problema do desenvolvimento de novos sistemas utilizando a orientação a objetos nas fases de análise de requisitos, análise de sistemas e design é que não existe uma notação padronizada e realmente eficaz que abranja qualquer tipo de aplicação que se deseje. Cada simbologia existente possui seus próprios conceitos, gráficos e terminologias, resultando numa grande confusão, especialmente para aqueles que querem utilizar a orientação a objetos não só sabendo para que lado aponta a seta de um relacionamento, mas sabendo criar modelos de qualidade para ajudá-los a construir e manter sistemas cada vez mais eficazes.

## 5. Metodologia

O presente estudo realizou uma pesquisa de aplicação que permitiu estudar a forma de disponibilização das informações de localização geográfica dos trens e do cumprimento dos intervalos programados no gráfico horário programado. Este gráfico apresenta, em coordenadas de espaço e tempo, os percursos horários dos trens sobre a via férrea e, da mesma forma que o painel sinótico, permite auxiliar na regulação da circulação da malha. Os sistemas de controle de tráfego atuais da empresa não fornecem gráficos de trens programados ou realizados e a empresa os confecciona utilizando outros programas computacionais. Além disso, é disponibilizado apenas o gráfico de trem programado, que serve como ferramenta de regulação para os controladores de tráfego.

### 5.1 Requisitos dos sistemas atuais de circulação

As informações que estariam contidas em um gráfico de trem da circulação em tempo real são disponibilizadas de forma distribuída, em ambiente de web e intranet, nos seguintes sistemas:

- a) Tabela horária real de regulação dos trens, disponibilizada em ambiente de intranet (somente acessado por empregados autorizados);
- b) Sistema de visualização do Painel Sinótico das seis linhas, em ambiente de web e intranet;
- c) Sistema de visualização de cumprimento dos intervalos dos trens, sendo dois pontos de medição por linha (um ponto por sentido).

Um ponto de medição por sentido de circulação é o critério atual para a medição de regularidade. Entretanto, este critério pode ser melhorado aumentando-se a quantidade de medições no trecho, sendo que neste caso a complexidade da regulação será proporcional ao número de medições acrescentadas.

#### 5.1.1 Tabela Horária Real – THR

A Tabela Horária Real (THR) é disponibilizada em um servidor que utiliza o protocolo FTP, sigla do inglês *File Transfer Protocol*, e devido às suas características mantém a isolamento da rede corporativa e do sistema especialista de controle de tráfego. Esta separação garante a segurança entre os sistemas e permite o controle de acesso dos usuários. Os arquivos da THR são disponibilizados em pastas,

atualmente numa frequência de 240 segundos, em formato de texto (extensão.txt), conforme exemplificado na figura 8.

**Figura 8 - Formato de saída da Tabela Horária Real**

RELATORIO DA TABELA HORARIA REAL

**a**

SCT LINHA A

<A>	<T>	<E>	<TREM>	<EST>	<MDC>	<BCB>	<JPB>	<SUZ>	<CVN>	<POA>	<FVC>	<AGN>	<GUA>	<PP>	<CM>
<A>	<T>	<E>	<TREM>	<JBO>	<DOB>	<ITQ>	<TAT>	<BAS>	<LUZ>	<BFU>	<--->	<--->	<--->		
I	P	3	UA001	-----	04:00:00	04:06:00	04:10:00	04:13:30	04:16:30	04:19:00	04:22:30	04:26:00	04:29:30	2	2
C	P	3	UA001	04:34:50	04:39:20	04:43:50	04:47:50	04:53:50	-----	-----	-----	-----	-----		
H	R	4	UA001	-----	00:00:00	04:07:12	04:12:11	04:14:41	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	2	2
C	R	4	UA001	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	-----	-----	-----	-----	-----		
H	P	3	UA002	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	4	4
C	P	3	UA002	-----	-----	04:00:00	04:03:00	04:06:30	04:10:00	04:14:00	04:22:00	-----	-----		
H	R	3	UA002	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	4	4
C	R	3	UA002	-----	-----	04:00:58	04:05:10	04:07:22	04:09:30	04:13:53	00:00:00	-----	-----		
H	P	4	UA004	04:03:00	04:05:30	04:09:00	04:12:30	04:16:00	04:19:30	04:23:30	04:31:30	-----	-----	4	4
C	R	4	UA004	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----		
H	P	4	UA004	04:05:40	04:07:44	04:13:34	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	-----	-----	4	4
C	R	4	UA004	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----		
H	P	5	UA006	04:16:50	04:20:20	04:23:50	04:27:20	04:30:50	-----	03:57:00	04:02:00	04:07:30	04:13:20	4	4
C	R	5	UA006	-----	-----	-----	-----	-----	-----	04:38:20	04:46:20	-----	-----		
H	P	5	UA006	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	04:01:01	04:12:16	04:16:02	00:00:00	4	4
C	R	5	UA006	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----		
H	P	6	UA008	04:27:50	04:31:20	04:34:50	04:38:20	04:41:50	04:45:20	04:49:20	04:57:20	04:18:30	04:24:20	4	4
C	R	6	UA008	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----		
H	P	6	UA008	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	04:03:24	04:09:10	04:13:02	00:00:00	4	4
C	R	6	UA008	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----		
H	P	7	UA010	04:39:50	04:43:20	04:46:50	04:50:20	04:53:50	04:57:20	05:01:20	05:09:20	04:30:30	04:36:20	4	4
C	R	7	UA010	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----		
H	P	7	UA010	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	4	4
C	R	7	UA010	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----		
H	P	1	UA132	12:53:50	12:57:20	13:00:50	13:04:20	13:07:50	13:11:20	13:15:20	13:23:20	00:00:00	00:00:00	4	4
C	R	1	UA132	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----		
H	P	1	UA132	00:00:00	00:00:00	03:18:02	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	-----	-----	4	4
C	R	1	UA132	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----		
H	P	31	UJ001	-----	-----	-----	-----	04:12:00	04:19:00	04:24:00	04:30:00	04:37:00	-----	1	1
C	R	31	UJ001	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----		
H	P	31	UJ001	-----	-----	-----	-----	04:13:36	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	-----	1	1
C	R	31	UJ001	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----		
H	P	8	UJ002	03:59:00	04:05:30	04:11:30	04:16:30	04:24:00	-----	-----	-----	-----	-----	1	1
C	R	8	UJ002	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----		
H	P	8	UJ002	04:01:19	04:15:32	00:00:00	00:00:00	00:00:00	-----	-----	-----	-----	-----	1	1
C	R	8	UJ002	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----		
H	P	33	UJ004	04:14:00	04:20:30	04:26:30	04:31:30	04:39:00	-----	-----	-----	-----	-----	1	1
C	R	33	UJ004	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----		
H	P	33	UJ004	04:15:41	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	-----	-----	-----	-----	-----	1	1
C	R	33	UJ004	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----		

**Fonte: Arquivo de saída do SCTC**

A figura 8 apresenta as quatro informações básicas do arquivo de saída da tabela horária real, a saber:

- Cabeçalho das estações, onde a ordem registrada varia de acordo com o sentido de circulação (que pode ser da região central para a periférica da linha ou vice-versa) e pelo tipo de trajeto estabelecido (que pode abranger intervalos diferentes de estações dentro de uma mesma linha, conforme a demanda de carregamento de usuários);
- Prefixo da viagem, cada trem que se desloca de uma estação de origem encerra uma viagem quando chega à estação de destino. O retorno para a estação inicial terá outro prefixo, sendo que uma volta completa consiste em duas viagens distintas;
- Horário programado para que o trem da viagem em curso ocupe o circuito de via da estação correspondente, de forma sequencial e baseada em uma tabela programada que representa um sincronismo ideal;

- d) Horário real que o trem da viagem em curso efetivamente ocupou o circuito de via da estação correspondente, baseado nos sensores da via e de forma sequencial.

### 5.1.2 Sistema de visualização do painel sinótico

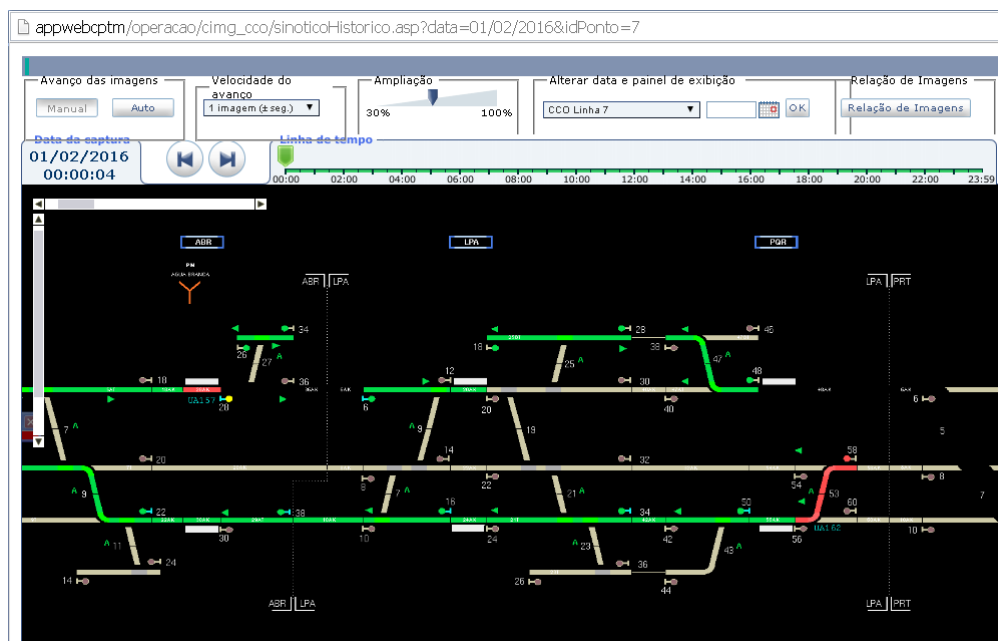
O sistema de visualização em rede do painel sinótico consiste numa aplicação que replica todas as movimentações gráficas apresentadas no painel sinótico, ou seja, é uma visualização em ambiente web dentro intranet da empresa. São disponibilizadas duas possibilidade de visualização:

- Em tempo real;
- Através de um histórico dos últimos seis meses

O sistema fornece as informações apenas de forma gráfica, não sendo disponibilizadas informações em outros formatos, como tabelas, planilhas ou gráficos.

A figura 9 ilustra a interface apresentada para o usuário do sistema:

**Figura 9 - Interface do subsistema de visualização de painel sinótico**



Fonte: CPTM (2015)



### 5.1.3 Subsistema da regularidade de trens

A visão caso de uso que o usuário deste subsistema percebe é uma página web em ambiente intranet, onde estão incorporadas as regras de negócio que definem as faixas de tolerância e classificam os trens com regulação normal, atrasada ou adiantada em relação ao intervalo programado.

A THR citada na seção 3.1.1, que é gerada em intervalos regulares, é o principal dado de entrada deste subsistema, sendo tarefa do controlador de tráfego alimentá-la diuturnamente, a cada três horas.

A figura 10 apresenta a tela que o usuário deste subsistema tem como resposta.

**Figura 10 - Subsistema de consulta da regularidade**

**WebCPTM** **Operação** **Regularidade**

☐ Consulta Movimento

Data: 13/01/2011 Linha: 7

• Francisco Morato - Luz

☐ CCO: Luz Linha: 7 Rubi Ponto: Lapa Sentido: Francisco Morato

Viagem	Prefixo	Horário	Intervalo	Intervalo	Diferença	Classe	Nº Sicom	Trecho	Passageiros
		Passagem	Real	Programado	Percentual		Ano	Prejudicado	Prejudicados
1	UA001	04:11:38	-	-	-	-	-	-	-
2	UA003	04:24:14	756	720	5%	A	-	-	-
3	UA005	04:36:38	744	720	3%	A	-	-	-
4	UA007	04:48:52	734	720	2%	A	-	-	-
5	UA009	05:04:06	914	720	27%	B+	-	-	-
6	UA011	05:16:57	771	720	7%	A	-	-	-
7	UA013	05:31:51	894	720	24%	B+	-	-	-
8	UA015	05:43:05	674	480	40%	C+	3481/16	-	-
9	UA017	05:54:20	675	480	41%	C+	3481/16	-	-
10	UA019	06:04:13	593	480	24%	B+	-	-	-
11	UA021	06:16:46	753	480	57%	D+	3481/16	LUZ/FMO	1208

**Fonte: CPTM (2015)**

A figura 10 apresenta um sítio eletrônico que funciona em ambiente de web e intranet da empresa, e no qual o protótipo foi inspirado. Duas características podem ser melhoradas no sistema futuro: a inserção automática de dados oriundos do sistema de controle de tráfego (atualmente é realizada de forma manual pelo controlador) e a possibilidade do ponto de medição ser dinâmico (qualquer estação da linha), permitindo a aplicação de filtros com sentidos e ramais diferentes.

## 5.2 Requisitos futuros do novo sistema implantado

Antes de se pensar na possibilidade de disponibilizar os dados reais das viagens realizadas para agentes externos, primeiramente é necessário organizá-los internamente, garantindo que tais dados sejam coletados diretamente do SCT, reduzindo ao máximo a possibilidade de interferência humana e com a característica de *WebService*, pois se chegou ao entendimento que é o formato mais adequado para o fim proposto, considerando que atualmente os referidos dados estão confinados numa arquitetura de cliente servidor, que possui uma rede dedicada, separada da rede intranet corporativa. Além disso, na estação de trabalho do SCTC não deve haver concorrência entre as atividades efetivas de controle (envio de comandos de rotas, movimentação de aparelhos de mudança de via ou abertura de sinais) com informações relativas à gestão da regularidade dos intervalos dos trens. Por fim, a arquitetura de Webservice é específica para um futuro acesso via internet, diferentes de outras linguagens de programação que precisam de adaptações quando migram de um ambiente de intranet para internet.

Os principais requisitos funcionais do protótipo desenvolvido são:

- a) Concentrar a pesquisa de todas as linhas num único sistema;
- b) Permitir que o ponto de medição dos intervalos entre trens seja variável;
- c) Automatizar a entrada de dados, retirando esta tarefa do controlador de tráfego.

A medição dos intervalos de trens com ponto variável permite o estudo de diversos cenários hipotéticos, onde outras metas de regularidade poderiam ser testadas e, possivelmente, melhoradas. As consequências finais destas medidas são menos atrasos e maior regularidade na passagem dos trens pelas estações.

## 5.3 Ferramentas computacionais

A premissa mais importante do protótipo para que se possam definir as ferramentas de desenvolvimento é o envio e o recebimento de informações em tempo real num ambiente de web e intranet. Em razão disso, a principal ferramenta selecionada foi a Interface de Programação de Aplicativo, conhecida por API, sigla em inglês para Application Programming Interface.

A API funciona como um mensageiro entre o cliente e programa computacional onde são processadas as regras do negócio. Ela estabelece um conjunto de rotinas e padrões para que o cliente acesse as informações desejadas, mas sem que haja envolvimento com as regras de construção do programa principal. Ela permite que sejam gerados serviços de web ou aplicativos móveis.

## 5.4 Desenvolvimento do protótipo e análise dos Resultados

Segundo Fowler (2005), um protótipo é uma visão inicial de um sistema de software, possibilitando demonstrar conceitos, experimentar opções de projeto, e em geral, para conhecer o problema e suas possíveis soluções. A prototipação é o processo que possibilita que o programador de software crie um modelo que será construído. Protótipo é de modo análogo, uma maquete para a arquitetura, de um sistema futuro com o qual se podem realizar verificações e experimentações para se avaliar algumas de suas qualidades antes que o sistema venha realmente a ser construído.

Um protótipo de software se apoia em duas atividades do processo de engenharia de requisitos: levantamento e validação dos requisitos.

A prototipação pode ser utilizada como técnica de análise e redução de riscos (erros e omissões) pode também se utilizada para outros propósitos, como treinamento de usuários antes que o sistema seja entregue e também para testes no sistema.

O protótipo desenvolvido tem como objetivo escolher a estação que se deseja comparar o intervalo programado e realizado dos trens. Essa comparação pode ser feita de duas formas: em tempo real ou através de um histórico de datas. Além disso, é possível simular possíveis mudanças na regra de negócio com objetivo de melhorar a qualidade dos serviços prestados.

### 5.4.1 Justificativa do Protótipo

A seção anterior apresentou as três ferramentas disponíveis na Intranet da CPTM onde é possível consultar parcialmente ou de uma forma não amigável os dados dos intervalos realizados dos trens: a Tabela Horária Real, página da Regularidade e Visualização do Painel Sinótico, além das próprias estações de

trabalho do SCTC. Serão descritas a seguir as principais restrições quando da consulta de deslocamento em tempo real:

- A THR é um relatório de eventos que registra os horários realizados das composições, considerando os circuitos de via das estações. O formato de apresentação não é amigável (não tem esta finalidade), conforme visto na figura 8, sendo que o controlador de tráfego insere este arquivo na página da regularidade de forma manual. Desta forma, existe a possibilidade de alteração do registro de horário através de um editor de texto qualquer.
- A visualização do painel sinótico é uma ferramenta poderosa para visualização gráfica. Mas quando o objetivo é acessar os intervalos reais o formato mais adequado é uma tabela e não existe este recurso (não é a finalidade desta ferramenta), cabendo ao usuário fazer a consulta manualmente. Além disso, há problemas de divergência de sincronização de horário deste subsistema com o SCTC.
- A página da regularidade é estática, apresenta as medições reais de apenas duas estações por linha (foi projetada para ser assim), sempre fixas, uma em cada sentido.
- As estações de trabalho são usadas para telecomandar os elementos de sinalização e supervisionar a circulação, numa arquitetura de cliente-servidor, em rede dedicada. Desta forma, não é a ferramenta adequada para consultas ou compartilhamento em ambiente web.

O objetivo do protótipo é realizar algumas melhorias no cenário atual, como acessar os dados de forma automática, apresentar uma interface amigável que permita a extração de tabelas e gráficos, disponibilizar uma página dinâmica onde o usuário possa escolher o ponto de medição que deseja consultar, tudo em um ambiente de web e intranet. Esta arquitetura mantém a necessária isolamento do SCTC e confere escalabilidade ao sistema, aproveitando os recursos contra invasões (internas e da própria internet) fornecidos pela área de Tecnologia de Informação da CPTM.

### 5.4.2 Requisitos da THR

Os registros da THR ocorrem somente em áreas de plataforma das Estações da CPTM, pois são considerados apenas os circuitos de via destas regiões. Atualmente a THR é gerada pelo sistema de controle de tráfego com uma frequência de aproximadamente 240 segundos. Foram realizados experimentos, por semanas, de modo a definir uma frequência ótima para a geração da THR, de modo a não sobrecarregar o processamento e o armazenamento do próprio Controle de Tráfego e do Servidor FTP. O valor encontrado foi em torno de 10 segundos, que pode ser considerado um bom tempo de resposta, tendo em vista que numa verificação por amostragem, verificou-se que em 70% dos casos a THR não sofreu alterações de registros e os critérios citados acima foram satisfeitos.

Com o pequeno intervalo de 10 segundos para se efetuar a varredura dos arquivos de regularidade, não houve prejuízo de precisão em relação aos 30% dos casos onde a tabela horária real foi modificada, principalmente considerando o tempo de parada dos trens na plataforma ser superior a 10 segundos.

### 5.4.3 Regularidade

A regularidade é um atributo da regra de negócio da CPTM e mede o cumprimento dos intervalos entre viagens, nos dias úteis, por meio da relação entre os intervalos realizados entre viagens e o total dos intervalos realizados no dia, considerando como intervalos realizados regulares aqueles compreendidos com desvios iguais ou inferiores a 50% do intervalo programado.

A equação que expressa esse enunciado é:

$$Regularidade = \frac{QIR}{QTIR} \times 100$$

Sendo que a sigla QIR representa a quantidade de intervalos regulares existentes nos dias úteis do mês, com desvios iguais ou inferiores a 50% dos intervalos programados. Já QTIR é a sigla que representa a quantidade total de intervalos realizados nos dias úteis do mês.

As metas percentuais que estipulam o cumprimento dos intervalos são disponibilizadas na tabela 1.

**Tabela 1 - Metas de regularidade mensais para dias úteis**

<b>Ano</b>	<b>Meta</b>
2012	94,00
2013	94,00
2014	94,00
2015	94,43
2016	95,29

**Fonte: CPTM (2015)**

#### 5.4.4 Conceito de regularidade

O conceito de regularidade é outro atributo da regra de negócio que estabelece classes ou conceitos de acordo com a medida dos desvios percentuais entre as viagens realizadas e as programadas, conforme mostra a tabela 2.

**Tabela 2 - Classificação dos conceitos de regularidade**

<b>Conceito</b>	<b>Descrição</b>
A	Viagens realizadas com desvio igual ou inferior a 15% dos intervalos programados.
B	Viagens realizadas com desvio superior a 15% e inferior a 30% dos intervalos programados.
C	Viagens realizadas com desvio superior a 30% e inferior ou igual a 50% dos intervalos programados.
D	Viagens realizadas com desvio igual ou superior a 50% dos intervalos programados.

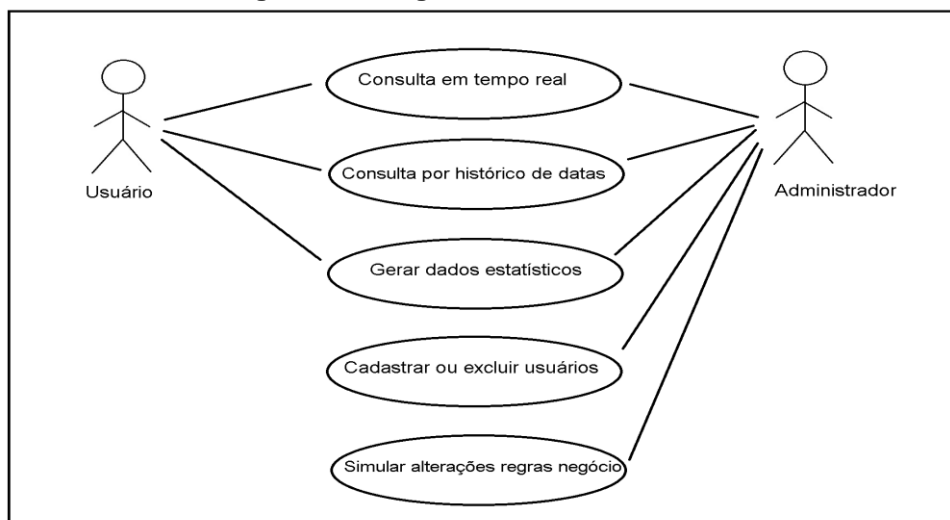
**Fonte: CPTM (2015)**

#### 5.4.5 Casos de Uso

Segundo Fowler (2005), a visão de casos de uso é àquela percebida pelos usuários externos do sistema. Em outras palavras, ele descreve as principais funcionalidades existentes e a interação dessas funcionalidades com os usuários do mesmo sistema. Este artefato é comumente derivado da especificação de requisitos e são compostos basicamente por quatro partes, conforme figura 11:

- Cenário: Sequência de eventos que acontecem quando um usuário interage com o sistema.
- Ator: Usuário do sistema, ou melhor, um tipo de usuário.
- Use Case: É uma tarefa ou uma funcionalidade realizada pelo ator (usuário)
- Comunicação: é o que liga um ator com um caso de uso.

**Figura 11 - Diagramas de casos de uso**



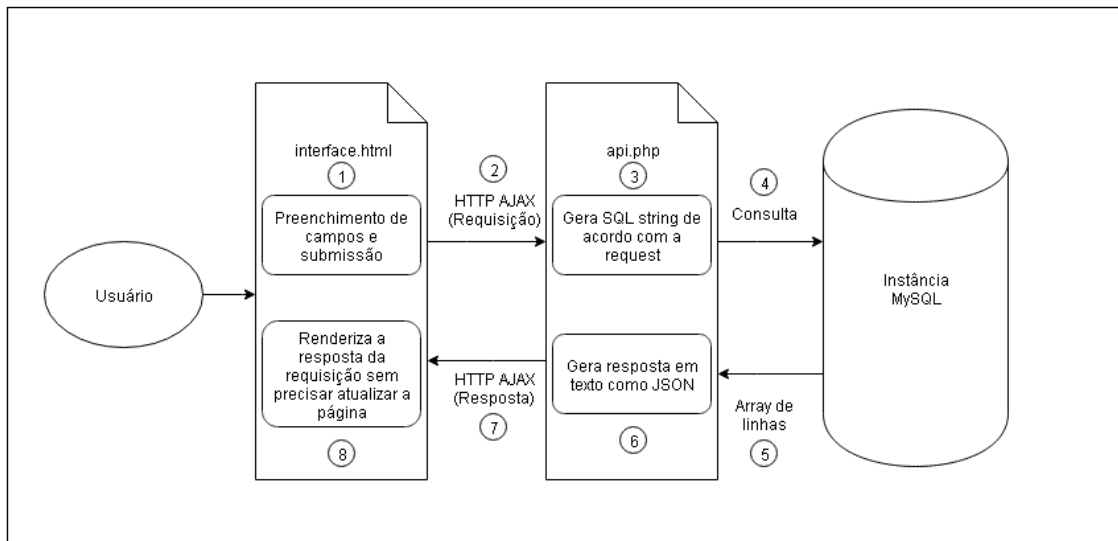
**Fonte: o autor**

Conforme pode ser verificado na figura 11, a aplicação possui dois ambientes devido à necessidade de controle de acesso. Outro critério é que nem todo usuário deve ter acesso às simulações que alteram as regras de negócio, evitando possíveis especulações de quem não tem uma visão sistêmica dos recursos.

#### 5.4.6 Implementação do Protótipo

A API permite a comunicação entre máquinas diversas. Elas podem ser do tipo web ou funcionar em máquinas locais. No presente trabalho será adotada uma web API. A próxima etapa é a resposta gerada pelo banco de dados à API e desta para o usuário, como pode ser verificado na figura 12.

**Figura 12 - Arquitetura do protótipo**



**Fonte: o autor**

A figura 12 descreve um sistema onde o cliente faz o pedido do recurso, tecnicamente chamado de requisição. A API recebe esta requisição e faz a consulta no servidor, devolvendo a resposta ao cliente. O início da consulta é feito através de uma interface em HTML, onde o usuário preenche os campos e é realizada a submissão. Através de um código em HTTP Ajax, que permite o dinamismo da página a requisição chega até a API, se comunica com o banco de dados.

#### 5.4.7 Funcionamento do protótipo

As figuras 13 e 14 apresentam a tela do usuário no momento da requisição dos dados e da resposta do sistema, respectivamente.

**Figura 13 - Tela de interface de requisição do protótipo**



**Fonte: o autor**



**Figura 14 - Tela de interface de resposta do protótipo**



Estação	Loop	Hora programada	Hora real	Intervalo real	Intervalo programado	Diferença percentual	Classe	Estado
USP	UC001	04:21:30	04:29:52	N/A	N/A	31.99%	C	NORMAL
USP	UC003	04:30:30	04:41:01	00:11:09	00:09:00	38.88%	C	NORMAL
USP	UC005	04:38:30	04:46:02	00:05:01	00:08:00	27.05%	B	NORMAL
USP	UC007	04:44:30	04:48:43	00:02:41	00:06:00	14.82%	A	NORMAL

**Fonte: o autor**

Pode-se escolher, a título de exemplificação, na tela da figura 13 verificar todas as viagens realizadas na Estação Cidade Universitária da Linha 9 – Esmeralda, com sentido à Estação Grajaú, em tempo real, desde o início da operação comercial até o momento da consulta. O usuário deverá utilizar os filtros, selecionando a Linha nove, o sentido (neste caso escolhido como Osasco-Grajaú) e o respectivo ponto de medição (neste caso a estação Cidade Universitária, cuja sigla é USP).

Na figura 14 é possível verificar a tela de resposta ao usuário, constando o horário programado e o realizado de cada viagem, bem como sua classificação como normal, adiantada ou atrasada, conforme a regra de negócio da empresa.

## 6. Conclusões

No decorrer deste trabalho foram descritas as características teóricas do sistema de controle de tráfego ferroviário de passageiros, o estudo para a especificação de um protótipo que disponibilize as informações dos horários, características e intervalos reais das viagens e a interação com as mídias sociais de mobilidade. Apesar do objetivo primário do controle de tráfego ser com a segurança e regulação, o rastreamento automático pode ter finalidades indiretas. Além de propor o compartilhamento dos dados reais das viagens realizadas para agentes externos, é oportuno pesquisar como tais dados podem ser úteis também para os clientes internos.

Como exemplo, cita-se o caso de auxiliar o despachador na regulação manual enquanto não há um sistema automático ou permitir que o usuário final tenha acesso aos dados reais das viagens, e não apenas aos programados, como atualmente é praticado. Uma melhoria prevista é a coleta automática dos dados, reduzindo ao máximo a possibilidade de erros devido à interferência humana.

Atualmente nenhuma linha da CPTM possui um sistema de regulação automática da frota e estima-se um horizonte de médio prazo para que tal recurso seja disponibilizado. Portanto, a regulação é feita através da experiência do despachador e o principal recurso envolvido é um gráfico de trens programado. Assim, os resultados apresentados neste trabalho podem se transformar em ferramentas para incentivar a comparação em tempo real do que foi programado em relação ao que foi efetivamente realizado. E mesmo após a implantação de um sistema de regulação automática da frota de trens em todas as linhas, é fato que são provenientes de projetos e fornecedores distintos. Portanto, é necessário um projeto adicional de integração de bancos de dados dos SCTC das diferentes linhas, o que é estimado num horizonte de longo prazo, justificando a utilização das informações contidas neste trabalho.

É necessário contextualizar que os sistemas de localização automática de veículos de passageiros, atualmente muito usados em frotas de transporte público de ônibus, são uma alternativa comercial existente. Eles se baseiam em duas informações básicas: a coordenada geográfica oriunda da tecnologia GPS combinada com a transmissão via GSM/GPRS. Como a preocupação primária é o

rastreamento, a precisão da localização geográfica e a facilidade de aquisição dos dados, em tese, pode representar uma vantagem para esta escolha.

Entretanto, aproveitar a informação de rastreamento fornecida pelo SCTC pode ser uma alternativa vantajosa do ponto de vista econômico-financeiro, devido aos elevados custos ou restrições para assinar novos contratos ou aditar os existentes. Outro fator são as dificuldades encontradas na implantação de novos sistemas, sem que os antigos sejam interrompidos e as interferências diversas que atingem o processo de modernização dos subsistemas ferroviários.

Além disso, é preciso avaliar como um sistema dedicado exclusivamente à localização automática se comportará quando a circulação estiver operando em estado de degradação, considerando que a estimativa de chegada real precisa ser confiável, mesmo neste cenário. E as possibilidades de falhas surgem de diversas áreas: veículos de tração, sistemas de energia e telecomunicações, sinalização e interferências humanas de usuários, dentre outros.

Outro ponto importante é observar as diferentes redes sociais de mobilidade, notadamente as que monitoram o fluxo de veículos rodoviários em cidades do Brasil e do Mundo e as de transporte coletivo. Em ambos os casos já existem milhões de usuários ativos e um dos fatores que explicam este fato é a confiabilidade das informações fornecidas: são dinâmicas, tratam de dados reais e não apenas de programações. O resultado é a combinação de informações de equipamentos com outras fornecidas pelos próprios usuários destes aplicativos.

Finalmente, surgiu um modelo de negócio que explora a propaganda de produtos e serviços através das mídias sociais sobre trânsito rodoviário, para citar um exemplo. Resultados parecidos também podem ser alcançados pelas redes sociais voltadas ao transporte público, que têm no Brasil um dos seus maiores mercados. E algumas contrapartidas por parte dos interessados nas informações de viagens ferroviárias em tempo real poderiam ser viabilizadas em favor de empresas que recebem investimentos do erário estadual, como é o caso da Companhia Paulista de Trens Metropolitanos.

## 7. Referências Bibliográficas

ANTP - Associação Nacional de Transportes Públicos, Caderno Técnico Volume 8, Sistemas Inteligentes de Transportes. Brasil, 2012.

Brina, H. L. Estradas de Ferro. Minas Gerais: Editora UFMG, 1979.

Castells, M., A galáxia da internet. Rio de Janeiro: Zahar, 2003.

Fowler, M., UML essencial: um breve guia para a linguagem-padrão de modelagem de objetos. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

FTA – Federal Transit Administration, Uses of Social Media in Public Transportation. EUA: TCRP, 2012.

IEEE - Institute of Electrical and Electronic Engineers, 1474 Standard for Communications-Based Train Control (CBTC). EUA: 2004.

Leal, A.G.; Santos, A.S., Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), Almanaque ITS 2014 – Tendências e caminhos das pesquisas em Sistemas Inteligentes de Transporte, São Paulo, 2014.

Loyola, R.; Sanuki, W., Companhia Paulista de Trens Metropolitanos, Manual de Operação de Tráfego Linhas 8 e 9 – CCO. São Paulo: 2010.

Almeida Júnior, J. R., Sinalização Metroferroviária em Curso de Especialização em Tecnologia Metroferroviária. São Paulo, Universidade de São Paulo-PECE, 2014.

PBM 2015 - Pesquisa Brasileira de Mídia 2015, Secretaria de Comunicação Social da Presidência da República. Brasil: 2015.

Pires, C. L.; Simulação do sistema de tração elétrica metroferroviária. 2006. 448p. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Escola Politécnica. Universidade de São Paulo. 2006

Portal do Governo do Estado de São Paulo - CPTM muda sistema de sinalização e controle em três linhas. Acessado em 15/12/2015. Disponível em: <http://www.saopaulo.sp.gov.br/spnoticias/lenaimprensa.php?id=205924&q=CPTM+muda+sistema+de+sinaliza%E7%E3o+e+controle+em+tr%EAs+linhas+>

Portal do Jornal Folha de São Paulo, Além das obras de energia, sinalização da CPTM também tem atrasos. Acessado em 15/12/2015. Disponível em: <http://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2013/05/1278167-alem-das-obras-de-energia-sinalizacao-da-cptm-tambem-tem-atrasos.shtml>

RAMALHO, Jose A , Mídias Sociais na Prática. Brasil: Elsevier, 2010.

RA-CPTM - Relatório de Administração da CPTM em 2014, Governo do Estado de São Paulo, 2014.

Reques, J.; Sanuki, W., Companhia Paulista de Trens Metropolitanos, ET – Especificação Funcional do SCC – Linha 8 Diamante, São Paulo, 2012.

Revista Engenharia, nº 610. Brasil, 2012.

Silva, A. C., Uma introdução à engenharia ferroviária, Brasil, Clube de Autores, 2012.

Solomon, B., Railroad Signaling. EUA: Voyageur Press, 2010.

Sommerville, I., Engenharia de software. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.

Theeg, G., Vlasenko, S. Railway Signalling & Interlocking. Compêndio Internacional : Eurail Press, 2009.

USA Congress - United States Congress, Automatic Train Control in Rail Rapid Transit, EUA: 1976.