



Escola Politécnica
da Universidade de
São Paulo

AUTOMAÇÃO METROVIÁRIA MARÇO DE 2010

Alison Miazaki – alison.miazaki@gmail.com
Eduardo Russo – russoedu@gmail.com
Guilherme Fré – guilherme.freh@gmail.com
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Avenida Prof. Luciano Gualberto, travessa 3 n° 380
05508-970 – São Paulo – SP

***Resumo:** Este documento apresenta uma introdução à automação metroviária, com foco no metrô da Cidade de São Paulo. Será apresentado um breve histórico sobre o surgimento do metrô de Londres em 1863, o de São Paulo em 1974 e, posteriormente, serão apresentados alguns mecanismos de automação utilizados no metrô paulistano para seu funcionamento de forma segura e eficiente.*

***Palavras-chave:** Metrô, Automação, controle, segurança, São Paulo.*

1 INTRODUÇÃO

Surgido em 1863, o metrô de Londres foi o primeiro metrô do mundo, meio de transporte puramente urbano que possui mais de 110.000 km de linhas, transportando mais de 40 bilhões de passageiros por ano.

Diferente dos trens tradicionais que operam em longas distâncias ligando cidades, os metrôs operam dentro das cidades, ligando trechos curtos, tendo, portanto, pequenas distâncias entre estações e pouco espaço e tempo para aceleração e desaceleração, além das curtas distâncias de operação entre os trens e da constante entrada e saída de pessoas.

Tais diferenças fazem com que o metrô necessite de muita automação para funcionar com a qualidade e segurança necessária.

2 UMA BREVE HISTÓRIA DO TRANSPORTE METROVIÁRIO

2.1 Londres: 1863 a 2010

Considerada a primeira cidade totalmente urbana, graças à revolução industrial, Londres já sofria, desde 1850, com problemas de congestionamentos e construir mais linhas de trens com os trilhos no nível das ruas não era mais uma solução viável. Assim, em 1860 se iniciaram as obras do que veio a ser, em 1863, o primeiro trem subterrâneo do mundo.

Porém, por serem ainda movidos a carvão, os trens subterrâneos deixavam os túneis cheios de fuligem e enxofre. Tal problema só foi resolvido em 1890, com a introdução dos trens elétricos (LONDON TRANSPORT MUSEUM, 2007).

Criado inicialmente para conectar estações de trens convencionais, o metrô de Londres se desenvolveu posteriormente como uma rede totalmente subterrânea e hoje conta com 270 estações ligando toda a cidade, mais de 400 km de comprimento e atendendo mais de 1.1 bilhões de passageiros por ano, com uma média de mais de 300.000 viagens por dia (METROBITS.ORG, 2010).

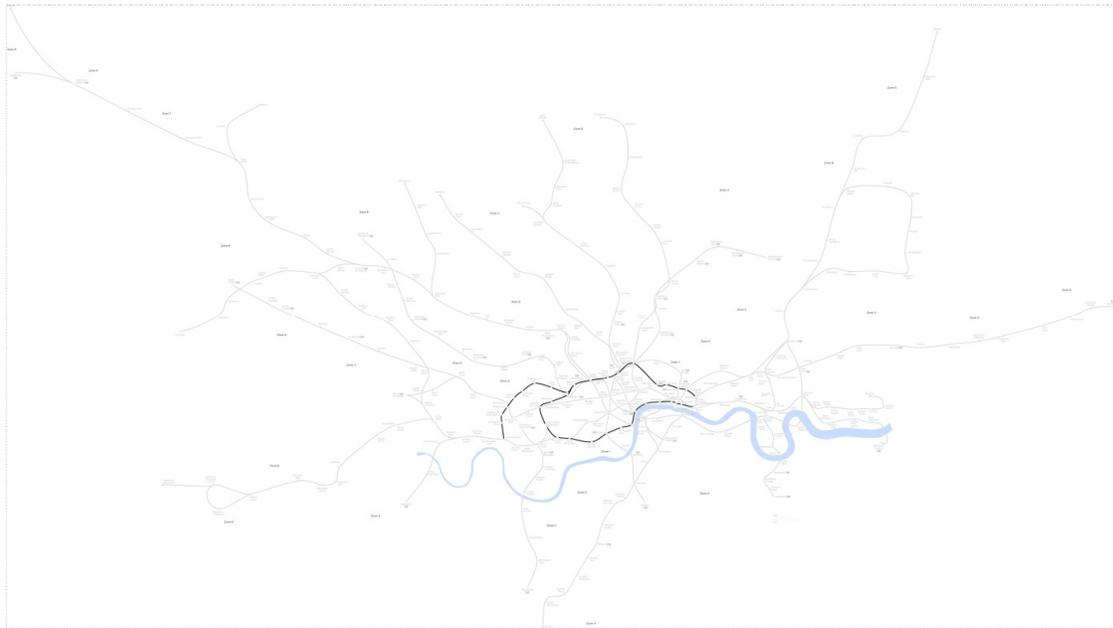


Figura 1 - Mapa completo do metrô de Londres. Em preto, as linhas de 1863.

2.2 São Paulo: 1974 a 2010

Diferente do de Londres, o metrô de São Paulo não é totalmente subterrâneo, seja por questões financeiras ou pela falta de necessidade. Porém, o fato de ter comboios elétricos, circulando em linhas independentes e com grande proximidade entre si o caracterizam como um metropolitano e não como um trem urbano (METROBITS.ORG, 2010).

Inaugurado em setembro de 1974 com apenas sete estações operando, no início de 1975 já havia 19 estações em operação, conforme mostra a imagem a seguir.



Figura 2 - Metrô de São Paulo. Em vermelho o trecho inaugurado em 1974. Em amarelo, o inaugurado em 1975.

Apesar da grande quantidade de estações inauguradas inicialmente, o metrô de São Paulo não continuou a se expandir com a mesma velocidade da cidade.

Se por um lado, o metrô de São Paulo não possui a quantidade de linhas necessárias para suprir a cidade, por outro, é considerado hoje um dos melhores metrôs do mundo, seja em atendimento, eficiência, segurança e limpeza.

3 AUTOMAÇÃO NO METRÔ DE SÃO PAULO

3.1 Centro de Controle de Operações - CCO

Controlar o metrô de uma grande cidade como São Paulo representa uma tarefa de extrema responsabilidade, tendo em vista as milhares de pessoas que o utilizam diariamente. São diversos os mecanismos e sistemas envolvidos no controle das operações do metrô, mas boa parte deles está centralizada no CCO.

No Centro de Controle de Operação, funcionários do metrô dotados de computadores de última geração, painéis luminosos e monitores regulam toda a movimentação do sistema, o que inclui o controle do intervalo entre trens, monitoramento da energia no sistema, supervisão de trens, estações, equipamentos etc.

Para que todas essas informações cheguem corretamente ao CCO, são necessárias centenas de quilômetros de cabos telefônicos e de fibra ótica. Qualquer eventual incidente que ocorra em algum trecho do metrô é reportado através de um sistema de radiotelefonia para os condutores de trens, para as torres de controle de pátios de estacionamento e para os responsáveis pelo controle das estações. Em caso de necessidade, o CCO pode auxiliar e até mesmo conduzir uma composição remotamente.

O Metrô de São Paulo conta hoje com dois CCOs: um localizado no Paraíso para controle das linhas 1-Azul, 2-Verde e 3-Vermelha e outro, responsável pela linha 5-Lilás, localizado na região do Capão Redondo. O CCO da futura linha 4-Amarela localizar-se-á na Vila Sônia.

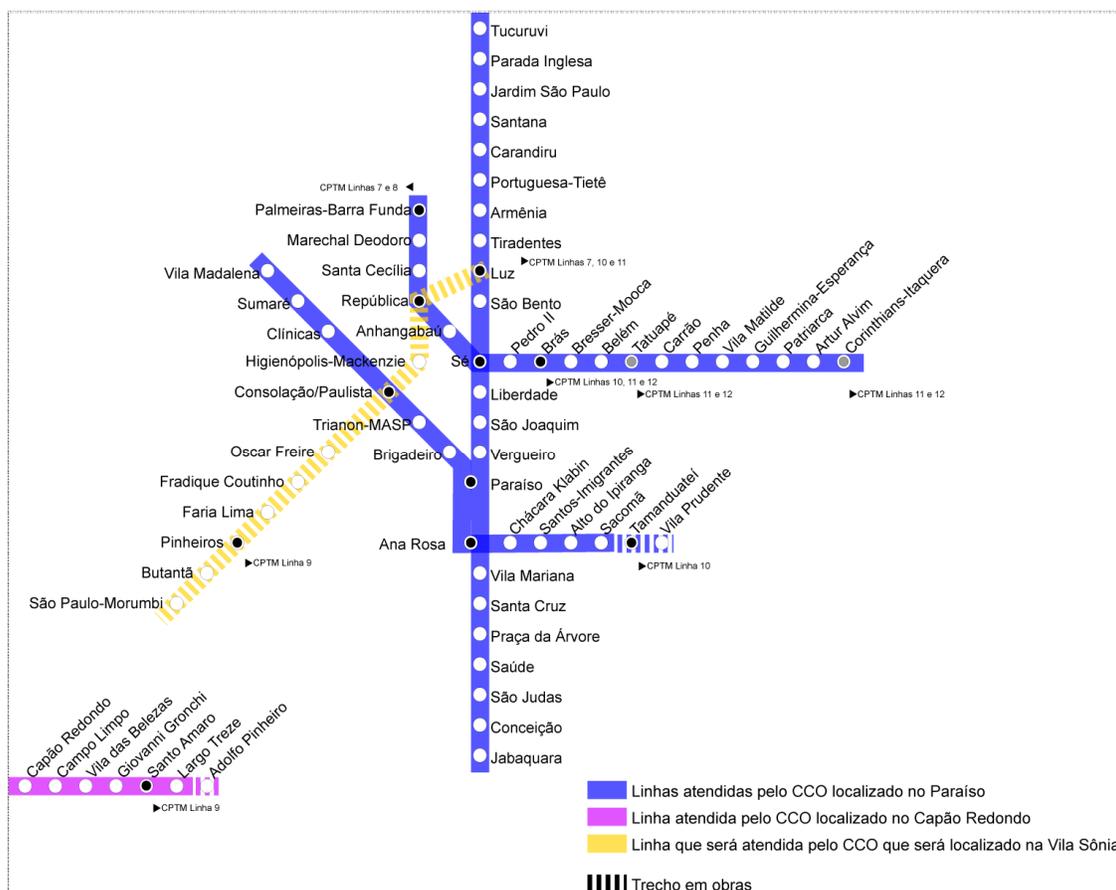


Figura 3 - Atuação dos CCOs do Metrô de São Paulo

3.2 Sistemas de Controle Metroviários

Os sistemas de controle metroviários têm como principal função a prevenção de colisões entre trens trafegando em uma mesma linha. Quando do surgimento dos primeiros sistemas metroviários no mundo, estes eram, em geral, muito simples. Porém, o crescimento constante

das populações urbanas demanda sistemas de metrô que sejam cada dia mais seguros e eficientes, o que exige trens mais rápidos e um menor intervalo entre os carros. Essa exigência, portanto, aumenta consideravelmente os riscos de colisões, o que implica em sistemas de controle cada vez mais complexos.

Sistemas Automáticos de Sinalização – FB

Um sistema de controle de sistemas metroviários muito comum é aquele baseado em sinalizações (como semáforos, fixos em posições predeterminadas) e sensores através da extensão da linha. A Figura 3 ilustra um sistema baseado nessa arquitetura, chamada de *Fixed Block* – FB (trechos são delimitados pela posição dos sensores e semáforos). Imaginando que o trem esteja no trecho TC5 da linha, o sinal na entrada desse trecho será vermelho. Da mesma forma, o trecho TC3, imediatamente seguinte ao TC5, terá o sinal em amarelo, enquanto o trecho TC1 terá sinal na entrada em verde.

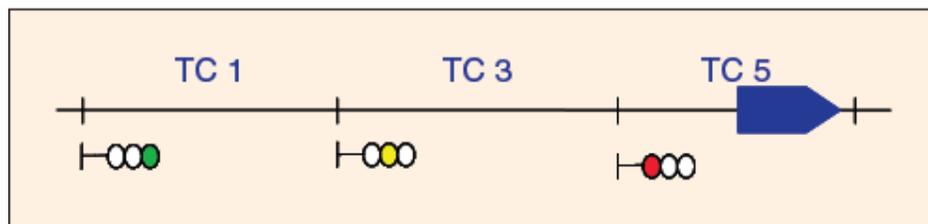


Figura 3 – Sistema de Sinalização FB (PASCOE e EICHORN, 2009)

Os trechos percorridos pelos trens são também chamados de circuitos, uma vez representam um circuito elétrico efetivo. Este circuito está aberto quando não há trem no trecho, porém, quando há uma composição, o circuito é fechado e o sistema de sinalização interpreta isso como ocupação, acionando as sinalizações.

Obviamente, as distâncias entre as sinalizações devem ser tais que respeitem a distância de parada segura (SBD – *Secure Braking Distance*) das composições. Dessa forma, o condutor tem completo conhecimento do estado do trecho em que está entrando (livre ou ocupado), porém, como desvantagem, não pode aferir a posição exata do trem dentro do dele.

Com o desenvolvimento dos sistemas de controle, mais equipamentos eletrônico-digitais foram adicionados à cabine do condutor, permitindo que a sinalização fosse feita dentro dela. Nestes casos, as informações de ocupação da linha são enviadas através do próprio trilho, recebidas por um dispositivo na parte dianteira do trem e interpretadas pelos equipamentos na cabine. Estes equipamentos normalmente exibem algum tipo de sinalização para o condutor, mas é comum que após um tempo ele também atue sobre trem caso não tenha recebido resposta do condutor, o que aumenta a tolerância do sistema a falhas humanas.

Uma evolução desse tipo de sistema é interessante: ele passa a utilizar modulação por chaveamento de frequência (BFSK – *Binary Frequency-Shift Keying*), o que permite que mais informação seja enviada às composições. Dessa forma, através de equipamentos (dotados de sensores, atuadores e processadores) distribuídos por toda a extensão da linha, o trem recebe diversas informações pelo próprio trilho, como limite de velocidade na via, velocidade desejada e a distância a ser percorrida para atingir essa velocidade. Assim, garante-se também a velocidade da composição, uma vez que o sistema pode atuar sobre o trem para garanti-la. Sistemas como esse são chamados ATC (*Automated Train Control*).

Controle de Trens Baseado em Comunicação – CBTC

A idéia por trás dos sistemas CBTC (*Communication-Based Train Control*) é eliminar o conceito dos trechos fixos (FB). Para isso, os elementos usados para a detecção de trens ao longo da via são retirados e esse processo passa a ser de responsabilidade de equipamentos embarcados nos próprios trens.

Os equipamentos embarcados nas composições obtêm e processam parâmetros como posicionamento, direção do deslocamento e velocidade, transmitindo os dados para equipamentos denominados controladores de zona. Os controladores por sua vez, recebem esses parâmetros e devolvem comandos para que os equipamentos embarcados acionem atuações sobre os trens.

Os parâmetros fornecidos pelos trens são obtidos através das mais diversas tecnologias e aparelhos, como *Global Positioning System* (GPS), *Transponders* e radares. A comunicação entre os trens e os controladores é feita através de um sistema de comunicação (DCS – *Data Communication System*) que utiliza tanto redes *wireless* quanto redes cabeadas *Ethernet*, permitindo que os controladores conheçam as informações de todos os trens dentro da sua área de atuação.

O envio dos comandos para os trens pode ser feito de diversas formas. Em algumas delas, os equipamentos dos trens recebem do controlador informações sobre todos os outros trens (na área de atuação do controlador) e têm de processar essas informações para atuar sobre sua velocidade. Em outras, são enviados comandos específicos de atuações para cada composição, que só têm que efetuar-las (acelerar, desacelerar, parar etc.). Na mais comum delas, porém, o controlador mantém um canal de comunicação de radiofrequência com cada composição e as envia informações específicas (distância para o próximo trem, distância para a próxima estação, limites de velocidade na via etc.), que são então processadas e utilizadas para comandar os atuadores da composição.

Em qualquer uma das formas, a idéia é que se criem “trechos móveis”, diferentemente dos sistemas FB explicados anteriormente. De uma maneira simples, isso equivale a se criar um trecho limitado por dois trens adjacentes na linha, ou seja, um trem mais atrás tem autoridade de movimentação limitada pelo trecho entre ele e o trem à frente; quando ambos os trens se locomovem, é como se esse trecho se locomovesse também.

Dadas todas essas características dos sistemas CBTC, pode-se observar que estes possuem uma capacidade muito maior de aferir a posição efetiva dos trens, o que permite um tráfego mais seguro, eficiente e rápido, proporcionando um menor intervalo entre os trens.

O plano de expansão do metrô de São Paulo promete a adoção do CBTC para o controle de suas linhas. Com a utilização do CBTC, a distância entre trens poderá ser reduzida em aproximadamente 15 metros (atualmente, essa distância varia entre 150 e 300 metros) e o intervalo entre trens vai dos atuais 101 segundos para 86 segundos. (ARIMA, 2010)

3.3 Operação Automatizada de Trens – ATO

Os sistemas de controle automatizados para malhas metroviárias, como por exemplo, o ATC (*Automated Train Control*) e o CBTC, permitem que os trens do metrô operem sem a necessidade de condutores em suas cabines, de forma totalmente automatizada (ATO).

Em ambos os exemplos, existem centrais que processam todas as informações da via e repassam aos trens através de equipamentos distribuídos pelo percurso. Essas informações (como ocupação, velocidade permitida e proximidade de estações) são recebidas pelo trem através dos trilhos ou antenas e, baseado nelas, o computador de bordo consegue atuar sobre

os sistemas de aceleração, freio, abertura de portas, iluminação, ar-condicionado e todos os outros.

Na grande maioria dos sistemas metroviários do mundo os trens são controlados através de sistemas como o ATC, sendo, portanto, capazes de operarem de forma automatizada. Apesar disso, na também grande maioria deles, os condutores permanecem presentes nas cabines das composições, principalmente pois essa presença é essencial para casos de anormalidades e acidentes, como obstáculos nas vias e usuários ou objetos presos nas portas.

Dessa forma, grande parte das linhas de metrô no mundo ainda atuam de forma semi-automática, ou seja, o controle das paradas nas estações, de aceleração, frenagem e abertura das portas é feito pelo condutor. Enquanto isso, o sistema de controle automático cuida do tráfego dos trens, mantendo a distância mínima e impedindo colisões entre eles através do acionamento do sistema de freios, caso necessário. A operação totalmente manual das composições só é efetuada em casos de emergência e, neste caso, o condutor deve ser auxiliado por operadores do CCO através de rádio ou outra forma de comunicação.

Por outro lado, sistemas metroviários que utilizam o CBTC costumam operar de maneira driverless, ou seja, sem condutor. Isso não quer dizer, porém, que os trens operam de forma totalmente automática, uma vez que as atuações anteriormente efetuadas pelos condutores podem ser agora feitas remotamente, direto da CCO.

Diversas malhas metroviárias por todo o mundo possuem linhas driverless, como Londres, Paris, Tóquio e Nuremberg (METROBITS.ORG, 2009). A linha 4-Amarela do Metrô de São Paulo, prevista para este ano de 2010, deverá ter todos os seus trens trafegando driverless, com monitoração e intervenções (quando necessárias) feitas direto do CCO da Vila Sônia.

3.4 Platform Screen Door – PSD

Independentemente do tamanho ou localidade, sistemas metroviários devem lidar diariamente com as diversas ocorrências potencialmente perigosas para os usuários, o que inclui principalmente usuários na via ou presos às portas dos carros. As causas dessas ocorrências são também diversas, como excesso de pessoas nas plataformas, suicidas, usuários alcoolizados, usuários que entram nos trens após a sinalização de fechamento das portas etc.

Em sistemas metroviários mais modernos, este problema é minimizado através da colocação de portas de vidro automatizadas paralelas à plataforma, por toda a sua extensão. Os trens, ao chegarem às plataformas, têm suas portas alinhadas às portas de vidro e então ambas se abrem simultaneamente.

Diversos países já possuem sistemas de PSD, como Rússia, China, Japão, EUA e Inglaterra (METROBITS.ORG, 2010). Desde Janeiro de 2010, a cidade de São Paulo conta com uma estação onde o sistema pode ser visto em funcionamento (Estação Sacomã – Linha 2 Verde do Metrô). O plano de expansão do sistema metroviário da região metropolitana de São Paulo inclui a instalação de portas de plataforma nas novas estações e nas já existentes onde o fluxo de passageiros é maior, assim como o número de ocorrências.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para um usuário comum que utiliza os serviços do Metrô de São Paulo diariamente, toda a grandiosidade e complexidade da sua estrutura de funcionamento passa normalmente despercebida.

Por trás de um serviço aparentemente simples, existem centenas de funcionários e milhares de equipamentos como computadores, sensores e atuadores, todos integrados para manter o funcionamento correto do sistema e, principalmente garantir a segurança dos usuários.

Durante os estudos para o desenvolvimento deste artigo, pôde ser compreendida a real importância da automação para o setor metroviário, o que é ainda mais visível se analisarmos a velocidade com que são desenvolvidas novas soluções e tecnologias para a área.

Por fim, fazendo uma análise da atual situação da rede metroviária de São Paulo, é possível perceber que, apesar de contar com uma malha de extensão insuficiente para as necessidades da população metropolitana, o metrô paulista utiliza hoje automações e tecnologias das mais modernas existentes, ostentando a classificação de um dos sistemas metroviários mais rápidos, seguros e operacionalmente eficientes do mundo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARIMA, K. A próxima parada do metrô. **Info**, 4 Janeiro 2010. Disponível em: <<http://info.abril.com.br/noticias/ti/a-proxima-parada-do-metro-04012010-13.shl>>. Acesso em: 14 Março 2010.

COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO. Companhia do Metropolitano de São Paulo. **História Linha 1-Azul**. Disponível em: <<http://www.metro.sp.gov.br/empresa/historia/azul/historia.shtml>>. Acesso em: 25 Fevereiro 2010.

COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO. O Metrô em Operação. **Companhia do Metropolitano de São Paulo**. Disponível em: <<http://www.metro.sp.gov.br/tecnologia/operacao/teoperacao.shtml>>. Acesso em: 20 Março 2010.

JADHAV, R. Bombardier CBTC Solutions, Singapura, Outubro 2005.

LONDON TRANSPORT MUSEUM. Timeline. **London Transport Museum**, 2007. Disponível em: <<http://www.ltmuseum.co.uk/tfl/collections/timeline/default.aspx>>. Acesso em: 6 Março 2010.

MATSUMOTO, M.; KITAMURA, N. **Autonomous Decentralized Train Control Technology**. Autonomous Decentralized Systems, 2009. ISADS '09. International Symposium on. Athens: IEEE. 2009. p. 1-5.

METROBITS.ORG. Driverless Metros. **Metrobits.org**, 3 Setembro 2009. Disponível em: <<http://mic-ro.com/metro/driverless.html>>. Acesso em: 19 Março 2010.



METROBITS.ORG. FAQ. **Metrobits.org**, 21 Fevereiro 2010. Disponível em: <<http://micro.com/metro/faq.html>>. Acesso em: 05 Março 2010.

METROBITS.ORG. World Metro Database. **Metrobits.org**, 1 Janeiro 2010. Disponível em: <<http://micro.com/metro/table.html?feat=CICODRSNCNOPLGSTAP&orderby=DR&sort=DESC&unit=&status=>>>. Acesso em: 9 Março 2010.

MISLEH, S. Como funciona o metrô de São Paulo. **Como tudo funciona**, 2008. Disponível em: <<http://pessoas.hsw.uol.com.br/metro-de-sao-paulo.htm>>. Acesso em: 3 Março 2010.

PASCOE, R. D.; EICHORN, T. N. What is communication-based train control? **Vehicular Technology Magazine, IEEE**, v. 4, n. 4, p. 16-21, 20 Novembro 2009. ISSN 1556-6072.

METROVIARY AUTOMATION MARCH 2010

Abstract: *This document presents an introduction to the subway automation, focusing on the São Paulo's subway system. It's provided a brief history of the emergence of the London Underground in 1863, of São Paulo Metrô in 1974 and, then, it's discussed some automation mechanisms used in São Paulo's subway system for its safety and efficiency.*

Key-words: Subway, automation, control, safety, São Paulo.