



19ª Semana de Tecnologia Metroferroviária



Apresentação dos Novos Trens para a Linha 5

--- Objetivo ---

Esta apresentação visa descrever, sucintamente, as principais características dos novos trens que serão fornecidos ao Metrô de São Paulo para a expansão da Linha 5 – Lilás até a estação Chácara Klabin. O conteúdo deste resumo também estabelece um comparativo entre os novos trens e algumas frotas já existentes - Frota F, atuais trens em operação da linha 5, e Frota H, últimos trens adquiridos - buscando ressaltar alguns sistemas e melhorias técnicas requeridas desde a elaboração da diretriz técnica e da concepção do sistema de material rodante.

A ênfase da apresentação será nas novidades e nas soluções adotadas ao longo do projeto que buscam fornecer mais acessibilidade, conforto, agilidade e segurança aos usuários e operadores, bem como no atendimento à crescente preocupação na aplicação de tecnologias sustentáveis, procurando facilitar também algumas atividades de manutenção.

--- Relevância ---

A extensão da Linha 5 - Lilás do Metrô de São Paulo até Chácara Klabin adicionará mais 11 estações ao seu novo trecho, totalizando 20,2 km e 17 estações, e passando a atender uma demanda diária estimada superior a 600 mil passageiros. Atualmente, a Linha 5 - Lilás possui 8,4 km de extensão operacional que transporta, diariamente, cerca de 250 mil pessoas. Além da atual integração com a Linha 9 - Esmeralda da CPTM, a expansão fará a integração com Linha 1- Azul do Metrô na estação Santa Cruz, com a Linha 2 – Verde na estação Chácara Klabin e também com o sistema de monotrilho da Linha 17 – Ouro, na estação Campo Belo.

Para atender à nova demanda, existirá uma disponibilidade total de 34 trens no trecho, sendo 8 trens já existentes - que necessitarão de uma modernização para se adequar as novas tecnologias que serão utilizadas - e 26 novos trens adquiridos da empresa CAF. Os trens serão controlados através do CBTC e utilizarão o sistema SCMVD (Sistema de Comunicação Móvel

de Voz e Dados), que permitirá a comunicação bidirecional de informações de voz, dados e imagens das câmeras do trem com o CCO e o SAM (Sistema de Apoio a Manutenção).

Encontra-se também, em estudos, um projeto de ampliação da Linha 5 até o Terminal Jardim Ângela. Este importante intento, recentemente anunciado pelo Governo Estadual, prevê mais 3,7 quilômetros de extensão e três novas estações, devendo beneficiar cerca de 900 mil pessoas.

Conseqüentemente, a renovação deste sistema público de mobilidade urbana, sendo um dos importantes projetos do Plano Expansão São Paulo, e integrando diversas linhas metroferroviárias e terminais de ônibus da SPTrans, poderá também agilizar o tempo de percurso dos usuários que moram no extremo sul da cidade e que precisam ir, por exemplo, em direção à Zona Norte da cidade.

Desta forma, desenvolver um sistema de material rodante atualizado, robusto, seguro, de alta disponibilidade, adequado às emergentes demandas da linha; e que atenda também às crescentes necessidades dos usuários, da operação e do meio ambiente; torna-se um dos fatores de grande magnitude para o êxito na implantação de todo o sistema.

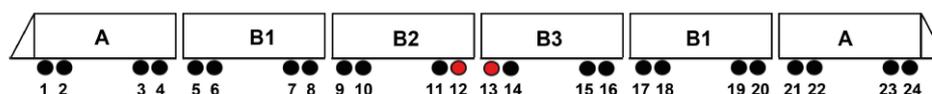
É oportuno lembrar que a elaboração da concepção e o projeto de material rodante envolvem diversas tecnologias, uma diversidade de conhecimentos técnicos de engenharia, sistemas, interfaces e uma abrangente *expertise* adquirida durante longos períodos de maturação, interação, competência e vivência do corpo técnico em um forte ambiente metroferroviário.

Neste workshop, pretende-se apresentar os novos trens de uma forma abrangente, buscando atingir o objetivo de se comunicar também com o público em geral, sem repetir, ou mesmo subestimar, o conhecimento e *background* dos engenheiros e técnicos mais experientes, dos profissionais veteranos e mestres deste promissor setor. Sem nenhuma pretensão, o trem já nasceu como um meio de transporte sustentável.

“A luz no fim do túnel é muito bem-vinda e o trem veio definitivamente para ficar!”

--- Informações Básicas do Trem ---

Cada unidade de trem é formada por um conjunto de 6 carros, sendo 4 tipos de carros distintos (A, B1, B2, B3, pois existem diferenças quanto à distribuição dos equipamentos embarcados), formando uma composição autônoma, bidirecional, articulada, com corredores de passagem entre os salões de passageiros, onde os carros A possuem cabine e estão alocados nos extremos do trem. A propulsão da composição é formada por 22 motores elétricos de corrente alternada, sendo que cada truque é equipado com 2 eixos motorizados, exceto os 2 eixos centrais no trem, que são livres de equipamentos de tração e freio, para instalação dos tacômetros do sistema de sinalização e controle. Segue abaixo uma figura ilustrativa básica da composição e dos eixos livres (*em vermelho*):



A captação da alimentação elétrica para os trens é feita através de pantógrafos instalados no teto de cada carro, e que recebem, pela catenária da via, uma tensão nominal de 1500 V em corrente contínua. Existe um conversor de tração instalado em cada carro capaz de gerar alimentação trifásica para até 4 motores de tração de 185 kW.

O sistema de freio do trem utiliza frenagem por atrito com discos e pastilhas, acionados pneumaticamente, e em conjunto com o esforço frenante dos motores elétricos, visando minimizar o desgaste das pastilhas e regenerar a energia de frenagem. Associados ao conjunto, os sistemas de antideslizamento e de antipatinagem maximizam o desempenho na movimentação do trem em condições diversas de aderência dos trilhos, reduzindo o desgaste do sistema, o risco de calos nas rodas e, conseqüentemente, sua manutenção prematura.

Cada trem possui 132.720 mm de comprimento, incluindo as distâncias entre todos os engates; os carros possuem uma largura externa de 2800 mm, bitola com padrão internacional de 1435 mm e uma altura máxima de 4800 mm, considerando a distância entre o topo do

boleto do trilho e o pantógrafo, na posição completamente estendida. A altura do piso foi projetada para se adequar com as plataformas da linha 5, ajustadas em 1105 ± 10 mm, a partir do topo do boleto do trilho. Os engates nas cabeceiras dos carros A são compatíveis com a frota existente.

O material, utilizado para a estrutura superior do carro (caixa), é o aço inoxidável austenítico (301L), enquanto que, para as partes inferiores, é utilizado o aço inox (304) na estrutura central do sobestrado e o aço carbono nas extremidades (cabeceiras). A armação do truque é fabricada com chapas soldadas de aço de alta resistência e baixa liga, o sistema de suspensão primário é projetado com molas de elastômeros, enquanto que a suspensão secundária é composta pelas bolsas de ar e amortecedores hidráulicos. Cada eixo de rodas do truque é capaz de suportar uma carga de 16 toneladas.

Cada carro possui 4 portas para acesso de passageiros em cada lado do salão, com largura de 1600 mm e altura de 1900 mm, onde as 2 portas centrais de cada lado estão configuradas como saída de emergência, sendo que a 2ª porta - a partir do lado da cabine – está configurada também para atuar como porta de serviço.

Cada salão de passageiros possui 2 sistemas independentes de ar condicionado; o leiaute do salão dos carros tipo A possui 22 assentos regulares, 13 assentos preferenciais, sendo 1 assento duplo reservado para passageiros obesos e uma área reservada para pessoas com mobilidade reduzida (PMR). Nos carros tipo B, existem 24 assentos regulares e 16 assentos preferenciais. Todos os carros possuem um sistema multimídia de informação sonoro e visual aos passageiros, possibilitando veicular automaticamente, ou de acordo com a necessidade, mensagens pré-gravadas de alertas, avisos de próxima estação, indicadores de percurso, destino do percurso, lado de abertura de portas, status funcional das portas etc. O operador do trem, ou do CCO, poderá também comunicar com o salão através do sistema de sonorização e pelos intercomunicadores, quando requisitados pelos passageiros em situações de

emergência. O sistema de sonorização interno do salão também efetua a compensação automática da intensidade sonora de acordo com o nível de ruído do ambiente.

Todos os carros estão equipados com 8 monitores distribuídos ao longo do salão, visando o entretenimento dos passageiros, informativos de tempo, horários, publicação de comerciais, através da veiculação de imagens via serviços de conteúdo de empresas terceiras.

O trem possui uma área envidraçada adequada para visualização do ambiente externo, proporcionando bem estar aos passageiros, enquanto que seu interior possui uma iluminação que proporciona um nível de iluminamento eficiente superior a 500 lux, em túneis, garantindo uma temperatura de cor constante, graças à utilização de luminárias com tecnologia LED.

Os vidros são fabricados com lâminas de policarbonato transparente de alta resistência, com películas de proteção contra vandalismo, visando uma redução nos custos de manutenção.

Segue abaixo imagens renderizadas do leiaute interno com a previsão do acabamento do salão, padrão de cores adotado, a distribuição dos equipamentos e assentos de passageiros:



O trem também dispõe de um sistema para detecção e combate de incêndio que pulveriza água nebulizada através de um comando remoto, efetuado pelo operador na cabine, ou pelo CCO, após a lógica de detecção dos sensores, aliada com as imagens de CFTV, confirmar um princípio de incêndio em determinada região do salão.

Cada salão do trem também dispõe de armários elétricos, situados nas laterais das regiões de passagem entre carros, que abrigam diversos equipamentos eletrônicos. Dentre os principais, pode-se citar o sistema de monitoramento e controle do trem, sistema embarcado de

sinalização, equipamentos de rede, gravadores de imagens, registradores de eventos, disjuntores com ou sem rearme remoto, chaves de energia, relés etc.

--- Características de Desempenho ---

Segue abaixo as principais características estabelecidas para o trem, de forma a atender as necessidades operacionais da linha, permitindo que o sistema de sinalização e controle possa minimizar o intervalo entre os trens (*headway*), sem comprometer o conforto e a segurança dos passageiros durante as acelerações e frenagens de serviço:

Velocidade máxima de serviço	80 Km/h
Velocidade máxima de projeto	90 Km/h
Taxa de Aceleração	1,12 m/s ² (0% + 10%)
Tempo de Aceleração de 0 a 80 Km/h	Abaixo de 33 s
Desaceleração Máxima do Freio de Serviço	1,2 m/s ² (0% + 20%)
Desaceleração Máxima do Freio de Emergência	1,5 m/s ² (0% + 20%)
Solavanco (<i>Jerk</i>)	≤ 1 m/s ³

--- Comparativo entre Frotas Existentes ---

Este tópico, especialmente para o público do evento que já esteja familiarizado com os sistemas de material rodante, busca traçar um breve comparativo entre os sistemas e características dos novos trens com algumas frotas atuais, ressaltando algumas diferenças e novidades. Na tabela apresentada na página seguinte, as principais diferenças encontradas são agrupadas por benefícios aos passageiros, operação e manutenção.

Dentre as novas características, se destaca a ampla passagem entre carros, banco para obesos e o intercomunicador como melhorias na acessibilidade; o antideslizamento por eixo e o sistema CBTC pré-instalado que aumentam a disponibilidade, baterias com menor necessidade de manutenção; controle de acesso, chaves de isolamento externa para uso com portas de plataformas, sistema terra-trem de comunicação em banda larga e trem preparado para operar em UTO (*Unattended Train Operation*) que facilitam a operação.

BENEFÍCIOS	DISPOSITIVO / MELHORIA	FROTA F (Alstom)	FROTA H (CAF)	FROTA P (CAF)
Acessibilidade	Banco para Obesos	Não	Sim, 1 em cada carro A	Sim, 1 em cada carro A
	Intercomunicador para Cadeirantes	Não	Não	Sim, 1 em cada carro A
	Passagem entre os Carros	Sim, porém estreita	Não	Sim, passagem ampla e livre
	Portas Laterais na Cabine	Sim	Não	Sim
Conforto	Nível de Ruído Interno e Externo	NBR 13067, NBR13068	NBR 13067, NBR13068	DIN EM ISSO 3381
	Total de Assentos no Trem	270 + 2 PMR	264 + 2 PMR	234 + 2 PMR
	Redução de Ruído das Rodas	Anel insonorizador	Não	Anel insonorizador
Disponibilidade	Sistema de Antideslizamento das Rodas	Alívio por truque	Alívio por truque	Alívio por eixo
	Sistema de Sinalização e Controle	ATC (<i>Automatic Train Control</i>)	ATC (<i>Automatic Train Control</i>)	CBTC (<i>Communications-Based Train Control</i>)
	Suprimento Pneumático para o Sistema de Freio e Suspensão	4 blocos de produção de ar 2X2 em regime alternado	3 blocos de produção de ar 2X1 em regime alternado	4 blocos de produção de ar 2X2 em regime alternado
Maintainability	Bitola do Truque	1435 mm (Internacional)	1600 mm	1435 mm (Internacional)
	Diagnóstico Preventivo dos Motores de Propulsão	Testes de giro no trem	Testes de giro em bancada	Testes de giro no trem
	Material das Baterias	Chumbo-Ácido	Níquel-Cádmio	Níquel-Cádmio
Operacionalidade	Carregamento Total (8 pass./m ²)	1924 pessoas	2046 pessoas	1922 pessoas
	Chaves de Isolação	Externa, na caixa, ao lado da porta	Externa, na caixa, ao lado da porta	Interna, no salão ao lado da porta
	Comunicação Terra-Trem	Rádio VHF	Rádio VHF	Rádio VHF + SCMVD
	Modos de Operação	Manual, MCS e ATO	Manual, MCS e ATO	Manual, CBTC
	Operação sem operador	ATO	Projetado para UTO	Projetado para UTO
Segurança	Basculamento das Janelas do Salão	Manual, com trava padrão Metrô	Não	Manual, liberado via cabine ou CCO
	Controle de Acesso à Cabine	Não	Não	Sim, nas portas laterais e na divisória cabine-salão
	Deteção de Incêndio	Não	Sim, sensores por aspiração	Sim, sensores ópticos
	Extinção de Incêndio	Não	Sim, por água nebulizada	Sim, por água nebulizada
	Indicador de Porta Destravada no Salão	Não	Não	No mapa de linha de cada porta
	Câmeras do Sistema CFTV	Não	4 por carro, 1 na cabine	4 por carro, 2 na cabine
Sistema Multimídia	Mapa Dinâmico de Linha	4 por carro	4 por carro	Em todas as portas do salão
	PA/PIS	PA digital, mapa de linha	Sim, abrangente	Sim, abrangente
	Veiculação de Imagens no Salão (TV Minuto)	Não	Não	8 monitores de 17" no salão
Sustentabilidade	Iluminação Interna e Externa	Fluorescente e filamento	Fluorescente e filamento	Tecnologia de LEDs
	Lubrificador da Interface Roda-Trem	Lubrificador na via	Não	Lubrificador de flange <i>Ecofriendly</i>
	Revestimento do Piso Quanto a Emissão de Fumaça	F3	F3	F2

---Sistemas e Melhorias Técnicas ---

Em linhas gerais, ao adotar a tabela comparativa anterior como referência, é possível afirmar que os novos trens possuem quase todos os dispositivos embarcados no salão de passageiros similares aos encontrados nos trens da frota H, mesclados com algumas características funcionais já existentes nos trens da linha 5 (*frota F*); como por exemplo, o sistema de aterramento dos pantógrafos, as janelas basculantes de policarbonato, passagem entre carros, portas laterais na cabine, disposição dos engates etc.

De qualquer forma, alguns sistemas merecem uma atenção especial, pois são novidades não encontradas nas demais frotas requeridas desde a concepção ou durante o projeto executivo:

Lubrificador de Flange – Mais eficiente na aplicação e não poluente quando comparado ao lubrificador de via, este equipamento embarcado visa reduzir o desgaste na interface roda-trilho e, em conjunto com o anel insonorizador das rodas, reduz o nível de ruído gerado pelo trem.

Mapa Dinâmico de Linha – Com visual mais moderno, em cada lado do mapa foi incorporado três indicadores luminosos bem visíveis utilizando matrizes de LEDs para a sinalização de portas, possibilitando que o passageiro visualize o lado de abertura de portas na próxima estação; indicação que a porta está fora de serviço e que a porta está destravada, por exemplo, após acionamento do manípulo de emergência no salão.

Monitores Multimídia no Salão – Uma grande vantagem, pois o sistema já vem pré-instalado no trem, permitindo gerar receitas de imediato ao Metrô, disponibilizando o recurso para empresas com o trem em operação. Em paralelo, os passageiros ganham entretenimento nas viagens.

Controle de Acesso à Cabine – Garante que somente operadores autorizados possam acessar o interior da cabine do trem. Utilizando leitores por proximidade, armazenará o registro do funcionário, data e hora de acesso em seu histórico, visando à segurança de todo o sistema.

Janelas Basculantes – Em situações de longas paradas na via devido a uma queda de energia, o operador do trem ou mesmo o sistema poderão liberar remotamente o basculamento das

janelas do salão, evitando minimizar crises de pânico e reações claustrofóbicas entre os passageiros.

Tecnologia LED – Os faróis, luzes demarcadoras, luz de cauda e a iluminação interna do salão utilizam LEDs, que possuem melhor eficiência luminosa, além de ter uma durabilidade nitidamente maior (menor manutenção) em relação às lâmpadas de filamento e fluorescentes.

Sensores Ópticos – Embora imperceptível para a operação, esta tecnologia substitui os sensores por aspiração utilizados na frota H, com a vantagem de reduzir processos e custos de manutenção, pois reduz a frequência de limpeza dos sensores e a necessidade de substituição do filtro da central anterior devido às partículas suspensas no ambiente.

--- Conclusão ---

Os novos trens atenderão as necessidades de material rodante da linha 5 em sua expansão e modernização, utilizando o novo sistema de sinalização e controle (CBTC), o rádio de banda-larga (SCMVD), trabalhando com portas de plataforma e servindo como referência para a modernização da frota F atual, já que incorpora algumas melhorias.

Os trens já possuem todos os sistemas básicos embarcados e necessários para uma futura operação da linha em modo *driverless* com um grau de automação maior (GOA 4).

--- Recomendações ---

Considerando o tema deste 19º Workshop “Os Desafios da Mobilidade Sustentável”, é oportuno citar algumas tecnologias sustentáveis que poderão ser especificadas para as futuras frotas de trens, como exemplo, motor de ímã permanente, recentemente adotado pelo metrô de Cingapura; o uso sendo difundido de compressores livres de óleo; baterias fabricadas com materiais recicláveis; dentre outros avanços; lembrando que deverá haver um equilíbrio em inovar, de forma a evitar riscos na aplicação de tecnologias ainda não consolidadas.

--- Dados dos Autores ---

Claudio Roberto Valentim - Engenheiro Eletricista - CMSP

Profissional com ampla experiência na elaboração de concepção de sistemas de material rodante, desde a diretriz técnica até a entrega dos trens liberados para a operação, atuando como coordenador de projetos de material rodante para trens. Forte vivência na interface com as demais áreas do Metrô.

Felipe Copche - Engenheiro Eletrônico - CMSP

Mais de 10 anos de vivência em empresas multinacionais da indústria de eletroeletrônicos e no segmento de semicondutores nas áreas de projetos, vendas e marketing.

No setor metroferroviário, participação em projetos de material rodante pela empresa Tekhnites e atualmente integrado à gerência de concepção de sistemas de material rodante do Metrô.

Tadeu Ribeiro Silvestre - Engenheiro Mecatrônico - CMSP

Experiência em assistência técnica de equipamentos industriais e de automação.

Engenheiro de projeto eletrônico da equipe de material rodante do Metrô, com experiência em projetos da linha 2, linha 5 e na elaboração de especificações técnicas para novas frotas.

Rodrigo Ismail Miguel - Engenheiro Mecânico - CMSP

Atua na área de Engenharia de Projetos do Metrô de São Paulo desde 2012 com ênfase no projeto dos novos trens para a linha 5.

Em experiências anteriores, destaca-se o trabalho no setor automobilístico pela empresa Robert Bosch.

Colaboraram também com este Trabalho: Mario Fukumori & Seisho Tamashiro