

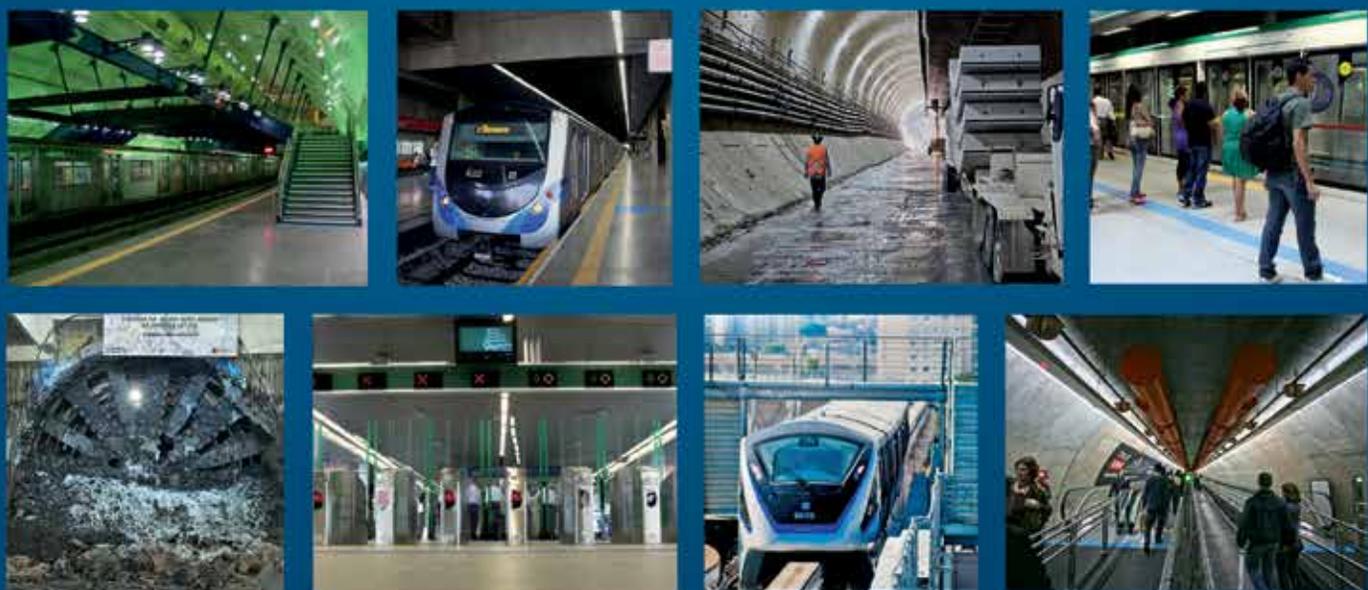
# BRASIL ENGENHARIA



Nº 09/2024 - ANO 5 R\$ 39,00  
[www.brasilengenharia.com](http://www.brasilengenharia.com)



## METRÔ DE SÃO PAULO



## 50 ANOS DE OPERAÇÃO



# TECNOGEO GROUND

A maior e melhor empresa de  
engenharia geotécnica  
do Brasil

Há 38 anos presente nos principais  
projetos de infraestrutura das  
grandes cidades.

Metrô SP | Linhas 2-4-5-6-15-17  
Metrô RJ | Metrô Fortaleza

**+ 1.500.000 metros em serviços  
para obras subterrâneas**

ENFILAGEM/PREGAGEM, JET GROUTING, TIRANTE,  
REBAIXAMENTO DE LENÇOL FREÁTICO, SOLO GRAMPEADO,  
ESTACA RAIZ, PAREDE DIAFRAGMA, ESTACA ESCAVADA,  
ESTACA HÉLICE CONTÍNUA, ESTACA CRAVADA,  
VIBROCOMPACTAÇÃO, COLUNA DE BRITA OU AREIA,  
DEEP SOIL MIXING (DSM), GEODRENO



[tecnogeo.com.br](http://tecnogeo.com.br)



**ENGENHO**  
editora técnica  
Fundadores

Apparício Saraiva de Oliveira Mello (1929-1998)  
Ivone Gouveia Pereira de Mello (1933-2007)

Rua Almansa, 141 – 41 - Vila Andrade  
CEP 05717 210 - São Paulo - SP - Brasil  
Tel. (55 11) 5575 8155  
E-mails: [brasilengenharia@terra.com.br](mailto:brasilengenharia@terra.com.br)  
[engenho@uol.com.br](mailto:engenho@uol.com.br)  
Número avulso: R\$ 39,00

[www.brasilengenharia.com](http://www.brasilengenharia.com)

DIRETOR EDITORIAL  
**RICARDO PEREIRA DE MELLO**  
DIRETORA EXECUTIVA  
**MARIA ADRIANA PEREIRA DE MELLO**

AGOSTO - 2024 - ANO 5 - N.º 09

**BRASIL ENGENHARIA. Diretor Editorial:** Ricardo Pereira de Mello. **Diretora Comercial:** Maria Adriana Pereira de Mello. **CONSELHO EDITORIAL:** Álvaro Rodrigues dos Santos, Apparício de Mello Neto, Luís Antônio Seraphim, Marcus Frediani, Maria Adriana Pereira de Mello, Nestor Soares Tupinambá, Pedro Luis Dias Martins, Peter Ludwig Alouche, Permínio Alves Maia de Amorim Neto, Ricardo Pereira de Mello.

**ENGENHO EDITORA TÉCNICA. Diretor Editorial:** Ricardo Pereira de Mello. **Diretora Comercial:** Maria Adriana Pereira de Mello. **Redação / Reportagem:** Marcus Frediani. **Fotógrafo:** Ricardo Martins **Editoração:** Adriana Piedade / ZAF - Ateliê de Publicidade e André Siqueira / Via Papel. **Criação e Arte:** André Siqueira / Via Papel. **Impressão e Acabamento:** Meltingcolor Gráfica.

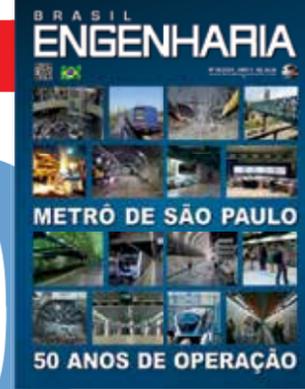
**REDAÇÃO, ADMINISTRAÇÃO E PUBLICIDADE:** Engenho Editora Técnica Ltda. Rua Almansa, 141 - 41 - CEP 05717 210 - São Paulo - SP - Brasil - Tel. +55 (11) 5575 8155. **WhatsApp +55 (11) 99915-2520. Circulação nacional:** A REVISTA BRASIL ENGENHARIA é distribuída a engenheiros brasileiros que desenvolvem atividades nas áreas de engenharia, projeto, construção e infraestrutura. A REVISTA BRASIL ENGENHARIA e a Engenho Editora Técnica não se responsabilizam por conceitos emitidos por seus colaboradores ou a precisão dos artigos publicados. Só os editores estão autorizados a comercializar as edições. **Periodicidade:** Trimestral.

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS. NENHUMA PARTE DESTA PUBLICAÇÃO (TEXTOS, DADOS OU IMAGENS) PODE SER REPRODUZIDA, ARMAZENADA OU TRANSMITIDA, EM NENHUM FORMATO OU POR QUALQUER MEIO, SEM O CONSENTIMENTO PRÉVIO DA EDITORA OU DO CONSELHO EDITORIAL DA BRASIL ENGENHARIA

[www.brasilengenharia.com](http://www.brasilengenharia.com)

INSTAGRAM: @BRASILENGENHARIA  
FACEBOOK: BRASIL ENGENHARIA

# NESTA EDIÇÃO



**CAPA**

ESPECIAL  
METRÔ DE SÃO PAULO,  
50 ANOS DE OPERAÇÃO  
Fotos: Divulgação Metrô-SP  
Criação: André Siqueira – Via Papel

BRASIL ENGENHARIA / ENTREVISTA

**ANTONIO JULIO CASTIGLIONI NETO**  
Presidente do Metrô de São Paulo

**E QUE VENHAM OS PRÓXIMOS 50 ANOS!**

Em entrevista exclusiva à Revista BRASIL ENGENHARIA, o presidente do Metrô de São Paulo, Antonio Julio Castiglioni Neto, destaca a crença e a convicção de que a resiliência e capacidade de se reinventar são os traços que levarão o Metrô a desenvolver e a cumprir o seu importante papel nos próximos 50 anos e além.



BRASIL ENGENHARIA / LIDERANÇA EM FOCO

**PAULO SÉRGIO AMALFI MECA**  
Diretor de Engenharia e Planejamento do Metrô de São Paulo

**UMA VITÓRIA COMPARTILHADA**

A lógica nos ensina que quanto maiores os desafios, maior também tem que ser o planejamento para vencê-los, para que a conquista seja compartilhada, para o bem de todos. E o Eng. Paulo Sérgio Amalfi Meca, atual diretor de Engenharia e Planejamento do Metrô de São Paulo, nos explica como essa equação tem que funcionar.



BRASIL ENGENHARIA / METRÔ-SP

**DO PIONEIRISMO À MATURIDADE NA GESTÃO 36**

Alfredo Falchi Neto / Entrevista

BRASIL ENGENHARIA / METRÔ-SP

**EXEMPLO PARA O MUNDO, PATRIMÔNIO DE SÃO PAULO 38**

Fábio Siqueira Netto / Entrevista

BRASIL ENGENHARIA / METRÔ-SP

**UMA OBRA PARA FICAR E SEGUIR SEMPRE EM FRENTE 40**

Paulo Menezes Figueiredo / Entrevista

BRASIL ENGENHARIA / CAPA

ESPECIAL METRÔ DE SÃO PAULO

**OS 50 ANOS DE UMA HISTÓRIA DE TRABALHO CONTÍNUO E DE GRANDES REALIZAÇÕES**

O Metrô de São Paulo, um verdadeiro ícone da capital paulista, foi aberto ao público e entrou em operação comercial no dia 14 de setembro de 1974. Foi o fim do primeiro estágio de uma trajetória iniciada oito anos antes, um dia após o Natal de 1966, quando a Lei Municipal nº 6.988 – à época, a construção do sistema metroviário era de responsabilidade da Prefeitura da cidade, transferida para o Governo Estadual – autorizou a criação da Companhia do Metropolitano de São Paulo - Metrô, algo que, entretanto, só veio a se materializar em 24 de abril de 1968.



ESPECIAL METRÔ DE SÃO PAULO / artigos

- Sistema digital de monitoramento e gerenciamento do consumo e qualidade de energia no metrô.....62
- O gerenciamento de áreas contaminadas na expansão do Metrô de São Paulo.....65
- Como o Metrô tem avaliado os benefícios de seus empreendimentos considerando a abordagem da substituição modal?.....72
- Um resgate histórico sobre os veteranos do departamento de segurança pública do Metrô.....76
- Metrô de São Paulo: 50 anos na vanguarda do relacionamento com o passageiro.....80
- Integração de serviços de missão crítica com a tecnologia 5G.....86
- Desafios na concepção de metrôs automatizados sem operadores nos trens.....90
- Da forma à via: o processo de fabricação e lançamento das vigas-guia do monotrilho da Linha 15-Prata.....97
- Platform Screen Doors: aplicação de tecnologias para segurança e desempenho operacional....102
- O novo processo interativo SINALVP – traçado geométrico e simulação cinemática.....105
- Simulação computacional em um projeto de estação de metrô: estudo do caso São Joaquim.....113
- Desafios na modelagem tridimensional do gabarito de livre passagem dos trens do Metrô de São Paulo.....118
- Avanços tecnológicos que aprimoram a operação do Metrô de São Paulo.....123
- Modelagem e simulação computacional de sistemas de tração elétrica metroviária.....126
- Uso de modelagens digitais para organização e ocupação do subterrâneo de áreas metropolitanas.....132
- *InovAçãoBIM* no projeto da Linha 19-Celeste do Metrô de São Paulo.....137
- Evolução da maturidade do novo processo de gestão do cronograma na implantação das obras da Linha 2-Verde.....142
- Sinalização de trens, eficiência e sustentabilidade à serviço do passageiro.....146
- Aspectos construtivos da Estação Aricanduva da Linha 2-Verde do Metrô de São Paulo.....150
- Impactos das mudanças climáticas nos negócios: a abordagem estratégica do Metrô de São Paulo.....155
- Histórico da área de previsão de demanda do Metrô de São Paulo.....160
- Modernização do centro de controle: as pessoas são a chave para o sucesso.....165
- Padronização da concepção de estações e poços de ventilação e saída de emergência.....170
- MonorailEx2023: a experiência e participação do Metrô de São Paulo.....177
- Subestação primária Anália Franco: necessidades de energia para implantação das expansões do Metrô de São Paulo.....183
- Aplicação de novos materiais em projetos de instalações hidráulicas do Metrô de São Paulo.....186
- Inserção urbana e paisagismo: novas possibilidades nos espaços metroferroviários.....189
- Passagem de tuneladoras sob edificações com fundações profundas com interferência física.....193
- Segurança cibernética nos trilhos e aplicação prática em projetos de sistemas.....199
- Tecnologia a serviço da manutenção eficiente: o sistema de monitoramento de ativos operacionais do Metrô de São Paulo.....203
- Metrô de São Paulo: a evolução da demanda de passageiros nos 50 anos de sua história.....207
- A modelagem geológica tridimensional integrada ao processo BIM no projeto básico da Linha 19-Celeste do Metrô de São Paulo.....212
- Implantação de soluções BI em projetos públicos.....217
- Eficiência energética e gestão de energia elétrica no Metrô de São Paulo.....224
- A tecnologia do Metrô de São Paulo, a mais avançada do mundo.....227
- Metrô de São Paulo: desde o início um modelo para a engenharia civil.....231

## SEÇÕES

CARTA BRASIL ENGENHARIA	7
CARTAS	8
ESPAÇO LEITOR	12
BRASIL RÁPIDAS	18
CENAS DA VIDA	235
CIÊNCIA & TALENTO	237
ARTE & VINHO	238
LIVROS TÉCNICOS	240
PONTO DE VISTA	242

## A MISSÃO DA BRASIL ENGENHARIA

Promover e desenvolver a engenharia em benefício da qualidade de vida da sociedade. Executar esse objetivo com a divulgação de projetos e pesquisas de desenvolvimento e as conquistas dos profissionais do setor. Tem como meta: valorização da engenharia; promoção da qualidade e credibilidade dos engenheiros; prestação de serviços à sociedade; analisar e publicar manifestações dos engenheiros sobre políticas, programas e ações governamentais, e a melhor técnica de execução dos projetos. Nossas publicações estarão dirigidas para a comunidade em geral; para os órgãos públicos e organizações não governamentais; para as empresas do setor industrial, comercial e de serviços; para as empresas de engenharia, engenheiros e profissionais de nível superior em geral; para os institutos de pesquisas, escolas de engenharia, cursos de pós-graduação, mestrado e doutorado; empreiteiras e projetistas; e infraestrutura em geral.

A SOLUÇÃO VERSÁTIL, ECONÔMICA  
E SEGURA PARA COMPACTAÇÃO E  
ESTAQUEAMENTO EM OBRAS



 **ESTAPAC**

compactador / estaqueador hidráulico

**HXF**

EQUIPAMENTOS

Tel: (11) 4072-2525

Email: [hxf@hxfequipamentos.com.br](mailto:hxf@hxfequipamentos.com.br)

<https://hxfequipamentos.com.br/>

## CARTA DA BRASIL ENGENHARIA

### Metrô de São Paulo: uma obra da mais moderna engenharia

A vontade de superar desafios é traço intrínseco à natureza humana. Mas quando transcende à órbita da individualidade, para contemplar o universo coletivo, tal proposta ganha uma aura toda especial. E, não é difícil entender o porquê, uma vez que as vitórias mais importantes são aquelas que podem ser compartilhadas, gerando benefícios para todos. Esse é o emblemático exemplo do Metrô de São Paulo, que há 50 anos atende, com eficiência e mérito absolutos, a população da metrópole paulistana.

Vitória da Engenharia e fruto da determinação de uma equipe desde o princípio formada por abnegados profissionais que, de imediato, se deram conta da envergadura do projeto – notadamente, diante de seu gigantesco porte e ineditismo –, a obra correu em tempo célere desde o lançamento de sua pedra (na verdade, uma estaca) fundamental, em cerimônia realizada no dia 14 de dezembro de 1968, no bairro paulistano da Saúde, mais precisamente na esquina da Avenida Jabaquara com a Rua Pereira Estéfano.

E, menos de seis anos depois, após diversos testes preliminares das composições, realizados para atestar a funcionalidade, comodidade e, sobretudo, a segurança dos trens, além de outros levando gratuitamente passageiros de verdade, para que eles conhecessem e passassem a se habituar com o inédito meio de transporte, já em 14 de setembro de 1974, o trecho do Metrô de São Paulo, entre as estações Jabaquara e Vila Mariana começou a operar comercialmente.

Entretanto, mais do que a materialização de um projeto bem-sucedido dos governos paulistano e paulista, bem como das equipes de Engenharia e da direção da Companhia do Metropolitano, essa data marcou o início de uma verdadeira revolução na prestação dos serviços

de transporte da agitada metrópole. Sim, nada mais seria como antes na vida de seus habitantes, que, ao longo dessas cinco décadas puderam, com imensa alegria e satisfação, assistir o crescimento do modal, ao longo de dinâmica que ainda segue de maneira ininterrupta.

E, afinal, tem que ser assim, porque ela é um gigantesco organismo vivo, que não cansa de se expandir em ritmo frenético e, às vezes, alucinante, o que exige níveis de aperfeiçoamento constantes, para o benefício daquelas hoje mais de três milhões de pessoas, que nela fazem uso dos trens do Metrô para se dirigir ao trabalho, realizar suas compras, resolver seus problemas, cumprir seus mais diversos compromissos e, claro, aproveitar seus merecidos momentos de lazer, entre muitas outras coisas.

Sobretudo, o Metrô de São Paulo “É”, efetivamente delas. E, sem dúvida alguma, é essa sensação de pertencimento o principal motivo que personifica o amor e a paixão que os paulistanos têm por ele. Assim, além de ser exemplo para o mundo em termos de mobilidade avançada, ele é, com muito orgulho, o “NOSSO METRÔ”.

Por conta disso tudo, nesta sua edição, a Revista **BRASIL ENGENHARIA** fala um pouco do passado, do presente e do futuro do Metrô de São Paulo, com o objetivo de render, ainda que de forma singela, uma justa homenagem a todos os engenheiros, técnicos, diretorias, funcionários, colaboradores, fornecedores e de todos aqueles que, de alguma forma, ajudaram a construir essa linda história que já dura meio século, e que, com toda a certeza, ainda tem infinitos e magníficos capítulos a serem escritos. Porque, se a vida pulsa sempre e cada vez mais na cidade e entre a sua população, o Metrô de São Paulo sempre estará ao lado dela, unindo-se sempre também a essa vibração.

A REDAÇÃO

## A MEDIDA QUE FALTA PARA SÃO PAULO TER UM NOVO CENTRO VELHO

“O chamado Centro Velho de São Paulo, apesar da degradação paulatina que vem sofrendo, é uma das áreas da cidade mais bem-servidas em transportes, saneamento básico, energia e sistema viário. É adequado, portanto, conforme as tendências que têm norteado com êxito o planejamento urbano em muitos países, a um novo fluxo de adensamento populacional, inclusive de moradias para a população de menor renda. Regiões dotadas de infraestrutura ampla e consolidada exigem investimentos muito menores do que um processo de expansão para áreas desprovidas desses recursos.

No entanto, planos de revitalização, anunciados há tempos e constantes dos programas de governo de sucessivas administrações continuam sendo apenas um sonho dos paulistanos, ávidos pela recuperação da região que guarda a memória histórica e arquitetônica do município. Agora, surge mais uma iniciativa que pretende contribuir para o alcance desse objetivo: o Decreto Municipal 63.368/2024, que apresenta nova regulamentação para a Área de Intervenção Urbana do Setor Central da Cidade de São Paulo (AIU-SCE), instituída pela Lei nº 17.844/2022.

A medida adequa o projeto urbanístico da região às revisões do Plano Diretor Estratégico (Lei 17.975/2023) e da Lei de Zoneamento (18.081/2024). A lei, segundo a SP Urbanismo, prioriza o adensamento e o atendimento habitacional para famílias de baixa renda. Não obstante, o esforço da administração municipal em tentar reavivar a região central, o que, por si só, deve ser louvado, a legislação ficou extremamente complexa (111 artigos) e trouxe um componente questionável para seu sucesso: o pagamento de outorga onerosa para aumentar o potencial construtivo dos empreendimentos. Tal ônus, porém, majora os custos dos incorporadores, dificultando a meta de fomentar a construção de habitação popular. Com exceção do Centro Histórico (República e Sé), que, por ora, está isento, as demais regiões estão submetidas ao pagamento da taxa.

É preciso entender que toda a região do Setor Central, delimitada pela Lei 17.844/2022, não obstante, seja dotada de boa infraestrutura urbana, está descredenciada e desprovida de uma eficiente zeladoria pública. Os bairros que pertencem ao perímetro dessa Área de Intervenção Urbana do Setor Central (AIU-SCE) estão completamente desvalorizados e sem atratividade para o setor privado.

Neste momento, o setor público, visando recuperar o interesse pela região, especialmente com o adensamento populacional de baixa renda, deveria incentivar e acelerar ao máximo os investimentos no local. Existem vários instrumentos para isso: isentar o pagamento de IPTU (o que de certa forma a lei já faz); aumentar de quatro ou seis para 20 vezes o coeficiente de aproveitamento do terreno; tolerar prédios geminados com fachada ativa; e bônus equivalentes de área construída nos primeiros dez anos, independentemente do que se edificar, desde que aplicado na mesma região.

Outros instrumentos podem ser criados, desde que o intuito seja atrair o capital privado. Não se pode ignorar que o custo do dinheiro é o mesmo nessa região ou em outra mais nobre da cidade. O empresário investirá onde o retorno for maior. Daí a importância do incentivo. Não vamos esquecer o que aconteceu com Barueri e Santana do Parnaíba quando a proposta foi estimular investimentos na região. Com alíquotas de ISS diferenciadas, os dois municípios tornaram-se foco de enormes investimentos imobiliários comerciais e residenciais. Em pouco tempo, o bairro de Alphaville transformou-se em um dos centros empresariais mais renomados do País e um excelente local de moradia.

A nova norma referente ao Centro de São Paulo tem como objetivo atrair pelo menos 220.000 novos moradores e resgatar o papel da região como indutora de investimentos. Mas, como anotado anteriormente, com a exigência de pagamento de outorga onerosa, o renascimento e crescimento da área ocorrerão de maneira lenta e limitada. O efetivo adensamento, ampliação do número de moradias de interesse popular e recuperação urbanística, somente serão plenamente viabilizados se os estímulos forem para lá de atraentes. Talvez, o melhor fosse a liberação do coeficiente de aproveitamento para se erguerem prédios sem limite de andares. O raciocínio é simples: quanto mais unidades habitacionais forem construídas no mesmo espaço e empreendimento, mais baratas serão. Se a oferta for menor, os preços sobem em proporção inversa à altura dos edifícios.

Resta esse avanço, contra o qual parece haver crônica resistência, para que milhares de famílias realmente mudem para o centro, o que também melhoraria os serviços e o comércio, e estimularia o turismo numa das regiões históricas mais importantes do Brasil. Em grandes cidades de outros países, como Nova York, são muito visíveis os benefícios urbanísticos do adensamento, com áreas tradicionais e nobres preservadas, dinâmicas e

habitadas. Por melhores que sejam as regulamentações referentes à revitalização do centro serão incapazes de se sobrepor a outra antiga e irrevogável lei, a da oferta e da procura. Ou seja, é preciso construir apartamentos que as famílias possam comprar. Caso contrário, corremos o risco de que um revitalizado e novo Centro Velho continue sendo apenas um sonho.”

**Luiz Augusto Pereira de Almeida**  
Diretor da Sobloco Construtora e  
conselheiro do Secovi  
São Paulo – SP

## TRANSFORMAÇÃO DIGITAL NA INDÚSTRIA: O QUE SIGNIFICA?

“A transformação digital tem revolucionado o cenário empresarial nos últimos anos. Segundo a Confederação Nacional da Indústria (CNI), sete em cada dez empresas brasileiras já utilizam ferramentas digitais em seus processos produtivos. Na indústria, essa tendência também já é realidade. Um estudo da McKinsey estima que, até 2025, os processos relacionados à Indústria 4.0 poderão aumentar a eficiência do trabalho entre 10% e 25%.

Nesse contexto, a transformação digital na indústria tem se expandido rapidamente, tornando-se essencial para empresas que desejam se destacar no mercado. Esta digitalização permite elevar a operação industrial a outro patamar, onde os processos não apenas fluem de maneira mais ágil, mas também geram informações importantes para uma tomada de decisão mais analítica e assertiva. Isso resulta em ganhos significativos de produtividade, qualidade, redução de custos e maior precisão nos prazos de fornecimento.

Desafios da transformação digital na indústria - a transformação digital é um processo complexo, que exige atenção em quatro pilares fundamentais. O primeiro deles está relacionado ao alinhamento de negócio, no qual é essencial compreender a fundo como a tecnologia pode ampliar os resultados da indústria e adaptar os objetivos comerciais para explorar ao máximo novas oportunidades.

Nesse sentido, é importante que as lideranças estejam comprometidas não apenas em adotar novas tecnologias, mas também em transformá-las em um diferencial competitivo alinhado a uma visão de longo prazo da empresa.

O segundo pilar contempla as pessoas, tendo em vista que a capacitação e o engajamento dos colaboradores são cruciais para uma operação fortalecida. Desta forma, é necessário investir em treinamento e desenvolvimento para que as equipes estejam aptas

# Um novo tempo para São Paulo!

2 Estações de Metrô

1 Estação CPTM

6 Poços de Ventilação e Saída de Emergência

1 Túnel de 6,4km em Via Dupla em TBM

1 Vala e Túnel de Estacionamento

1 Vala e Elevado de Acesso ao Pátio

CONSÓRCIO METRÔ SP - LINHA 2



Metrô SP L2 - Verde

@crasainfraestrutura  
@ghella1894 | @consbem

## Projetos para Trânsito e Transporte

Funcionais - Básicos - Executivos

Infraestrutura Urbana,

Rodoviária e Metroferroviária.

Sinalização.

Segurança Viária.

Polos Geradores de Tráfego.

Ciclovias, Pesquisas.

Estudos de Tráfego.



Qualidade é o nosso  
principal compromisso

+55 11 3129-7612  
+ 55 11 98142-2044

E-mail: [qualitasurbis@qualitasurbis.com.br](mailto:qualitasurbis@qualitasurbis.com.br)  
[www.qualitasurbis.com.br](http://www.qualitasurbis.com.br)

a lidar com novas tecnologias e métodos de trabalho. Isto está diretamente ligado a cultura organizacional da companhia, que deve ser moldada para encorajar a inovação, uma vez que a resistência às mudanças é um dos principais entraves para uma transformação digital efetiva.

Os processos constituem o terceiro pilar e envolvem a adaptação das operações da empresa para que se tornem mais eficientes, promovendo ganhos significativos de produtividade. Neste sentido, um dos passos chave para uma implementação eficaz da digitalização é o conhecimento detalhado dos processos e a capacidade de percepção analítica, que propicia identificar padrões de erros e buscar soluções mais assertivas para a resolução de problemas.

O quarto pilar é a própria tecnologia, que deve ser selecionada com base nas necessidades específicas de cada indústria. Neste caso, destacam-se os investimentos em recursos tecnológicos emergentes como Inteligência Artificial (IA), Internet das Coisas (IoT) e análise de dados.

O poder da IA no processo de transformação digital - à medida que novas tecnologias emergem, é fundamental que as indústrias fiquem atentas aos processos inovativos para manterem suas operações alinhadas ao que há de mais atual no mercado. Apostar em inovação significa potencializar a capacidade analítica e, a partir disso, desenvolver estratégias de aprimoramentos e busca por resultados positivos.

Com a evolução das tecnologias baseadas em IA, por exemplo, as decisões nos processos produtivos serão cada vez menos intuitivas e mais baseadas em dados precisos, reduzindo significativamente o risco de erros, antecipando falhas e prolongando a vida útil de maquinários, o que se traduz em economia de custos e aumento de produtividade.

Além disso, a coleta desses grandes volumes de dados em tempo real viabilizará o próximo nível, que é o uso de redes neurais de Inteligências Artificiais nas análises, aumentando significativamente o ritmo do diagnóstico das informações e possibilitando novos *insights* que hoje sequer imaginamos.

Esses *insights* estão diretamente ligados às estratégias que geram alta performance

nos processos industriais. A IA é capaz de identificar padrões e tendências que passam despercebidos pelos métodos tradicionais, contribuindo para uma melhor previsão de demanda e gestão de recursos. Isso resulta em operações mais eficientes, com menor desperdício e maior qualidade nos produtos finais, além de uma percepção cada vez mais positiva dos serviços pelos clientes.

A implementação - mudanças nem sempre são fáceis de serem implementadas. Ao passo que muitas empresas estão avançando rapidamente na transformação digital e já atingiram um alto nível de maturidade na digitalização de seus processos, outras ainda progredem mais lentamente. No entanto, o fato é que as indústrias que não adotarem práticas digitais correm o sério risco de reduzir drasticamente sua competitividade.

Por isso, cada um dos pilares destacados anteriormente deve ser considerado para sustentar a transformação digital, especialmente no que diz respeito às pessoas. Elas estão diretamente envolvidas nas operações diárias da indústria, o que exige um preparo da equipe para maximizar os benefícios oferecidos.

É preciso que os funcionários estejam engajados e motivados a participar das ações, conhecendo os trâmites a fundo e contribuindo com ideias que impulsionem a inovação. A tecnologia é um elemento crucial no início, mas, com o tempo, se tornará coadjuvante até que um novo ciclo de inovação apareça.

Diante desse cenário, fica claro que a digitalização não é apenas uma tendência passageira, mas uma necessidade vital para a sobrevivência das indústrias no mercado. Ao apostar em novas tecnologias, as indústrias não apenas se tornam mais competitivas, mas também se posicionam na vanguarda da inovação."

**Walter Sanches**  
Diretor de TI e Planejamento da  
Termomecanica  
São Paulo - SP



### Como contatar a BRASIL ENGENHARIA

Comentários sobre o conteúdo editorial da **BRASIL ENGENHARIA**, sugestões e críticas devem ser encaminhadas para a redação: Rua Almansa, 141 - 41 - CEP 05717-210 - São Paulo - SP - WhatsApp (11) 99915-2520 - ou por E-mail: [engenho@uol.com.br](mailto:engenho@uol.com.br)

As cartas à redação devem trazer o nome, endereço e número da cédula de identidade do leitor, mesmo aquelas enviadas pela internet. Por questões de espaço e clareza a revista reserva-se o direito de resumir as cartas.

[www.brasilengenharia.com](http://www.brasilengenharia.com)



# NOVA ENGEVIX: REVOLUCIONANDO O FUTURO DO TRANSPORTE EM SÃO PAULO HÁ QUASE 60 ANOS

APRESENTAMOS NOSSO MAIS RECENTE PROJETO PARA A **COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO**, O PROJETO BÁSICO EM BIM DA LINHA 19-CELESTE.

ESTE PROJETO PIONEIRO REPRESENTA UM MARCO NO METRÔ-SP, SENDO A **PRIMEIRA LINHA** CONCEBIDA INTEIRAMENTE POR MEIO DE MODELAGEM EM 3D, UTILIZANDO A TECNOLOGIA AVANÇADA DO BIM (BUILDING INFORMATION MODELING).

A TRADIÇÃO E A EXCELÊNCIA DA **NOSSA ENGENHARIA** AJUDAM A TRANSFORMAR O TRANSPORTE PÚBLICO DE SÃO PAULO.

[WWW.NOVAPARTICIPACOES.COM](http://WWW.NOVAPARTICIPACOES.COM)  
+55 (11) 2106-0100 | +55 (48) 3877-2000

[NOVA ENGEVIX](https://www.linkedin.com/company/novaengevix) | [@NOVAENGEVIX](https://www.instagram.com/novaengevix)

## METRÔ DE SÃO PAULO, REFERÊNCIA NACIONAL

JOUBERT FLORES\*

A Companhia do Metropolitano de São Paulo, Metrô, considerado um dos principais sistemas de metrô do mundo está celebrando 50 anos de operação, uma jornada de pioneirismo e referência para os sistemas nacionais e internacionais.

O novo modo de transporte deveria atender o crescimento do município de São Paulo, que já despontava há 50 anos como o motor de desenvolvimento do país e a maior cidade da América do Sul.

Na década de 1960, o município de São Paulo tem um aumento da população da ordem de 38%, passando de 13 para 18 milhões. Somente um transporte inovador, de grande capacidade e estruturador seria capaz de resolver o grave problema do transporte coletivo.

O primeiro sistema de metrô do Brasil iniciou sua operação em 14 de setembro de 1974, ligando Jabaquara a Vila Mariana da Linha 1-Azul. Em 1975, entra em operação comercial toda a linha, com 16,7 km, ligando Jabaquara a Santana. Em 1979 foi inaugurado o primeiro trecho da Linha 3-Vermelha, entre as Estações Sé e Brás, com 1,8 km.

Em 2010 foi concedida a Linha 4-Amarela, de 12,8 km, 11 estações, ligando Butantã a República, para a iniciativa privada. Em 2018 foi concedida a Linha 5-Lilás, de 20,0 km, 17 estações, ligando Capão Redondo a Chácara Klabin, para a iniciativa privada.

Dos 104,2 km de rede metroviária em São Paulo, o Metrô possui 4 linhas (linhas 1-Azul, 2-Verde e 3-Vermelha e a 15-Prata no modo monotrilho), 71,4 km, 63 estações e transporta milhões de pessoas todos os dias, conectando a cidade de Norte a Sul, de Leste a Oeste.

Tendo o trabalho e o estudo como principais motivos das viagens de seus passageiros, ele é impulsionador da economia paulistana e do turismo, com conexões com importantes marcos da cidade. Exerce um papel integrador de transporte, economia e cultura. A satisfação de quem usa o metrô tem sido evidenciada na escolha consecutiva, nos últimos anos, do sistema como o modo de transporte referência da população pela sua eficiência, rapidez e segurança.

Sua contribuição para os paulistanos vai além do transporte em si, com suas estações agregando serviços para a população como o comércio de produtos e alimentos; pontos de informação relacionados a saúde e bem-estar, por meio de parcerias; entre outras atividades. Durante a pandemia se tornou um importante espaço de vacinação com a implantação de postos de atendimento. Nos dias mais frios do inverno, algumas estações se transformam em abrigos provisórios para população em situação de rua, com aquecimento e atendimento social. Esses são alguns dos inúmeros exemplos do seu papel social para os cidadãos paulistanos.

O Metrô é *benchmarking* para todas demais operações de transporte de passageiros sobre trilhos do Brasil. Com uma equipe altamente especializada, o Metrô auxiliou no treinamento de equipes e auxiliou a implantação de vários sistemas, no Brasil e na América Latina, como o Trem Metropolitano de Porto Alegre,

os metrôs do Rio de Janeiro, de Recife, de Belo Horizonte e de Brasília, o metrô de Caracas, na Venezuela, dentre tantos outros.

A construção de sistemas de transporte de passageiros sobre trilhos envolve equipamentos modernos, mão de obra especializada e complexas interfaces com a infraestrutura urbana das cidades, como zoneamento, redes de água, esgoto, energia e telecomunicações. Um tipo de obra que requer planejamento, investimentos e gestão de execução. Implica também, em vários casos, na desapropriação de terrenos e contínuo contato com as comunidades envolvidas para minimizar impactos negativos durante a construção. Ao longo da estruturação de sua rede, o Metrô buscou e trouxe para São Paulo todos esses mecanismos, unindo os mais modernos modelos e tecnologias para os seus projetos.

Ele também é referência em segurança operacional, utilizando modernos dispositivos de sinalização ferroviária, sistemas de comunicação, de tração e de comunicação com os passageiros. Desde o início de sua operação já utilizava sistema de proteção automática, o famoso Automatic Train Protection (ATP), depois migrando para o Communications-Based Train Control (CBTC), que utiliza rádio de frequência livre para as comunicações entre trens e o Centro de Controle Operacional (CCO). A instalação de portas de plataforma nas estações, que restringem o contato entre os passageiros e a via, também faz parte deste arcabouço de segurança para o atendimento.

Em 2010, o Metrô entrou para a seleta lista dos sistemas de metrô mais automatizados e seguros do mundo, com a implantação dos trens da Linha 4-Amarela, que funciona sem condutor. Na época da sua inauguração, havia pouquíssimos sistemas como esse no mundo e nenhum nas Américas.

A comunicação com os passageiros foi avançando e, atualmente, com as tecnologias digitais, as informações chegam aos usuários

de maneira instantânea, dentro dos carros de transporte e nas estações, com monitores compartilhando informações em tempo real.

O CCO, o coração do sistema, utiliza tecnologia de ponta e auxilia a tomar as melhores decisões possíveis, várias delas, inclusive, automaticamente. É equipado com programas de comunicação e monitoramento de tráfego, em tempo real, permitindo aos controladores responderem rapidamente em qualquer emergência.

O Metrô expandiu fronteiras e se juntou ao CoMET, um grupo formado apenas pelos maiores sistemas de metrôs do mundo, onde são discutidas inovações e tecnologias com operadores de Nova York, Paris, Moscou, Pequim e de diversas outras cidades. Espaço este que os especialistas brasileiros compartilham conhecimento e melhores práticas, desenvolvidas aqui e mundo afora.

A Associação Nacional dos Transportadores de Passageiros sobre Trilhos (ANPTrilhos) orgulha-se de ter esse importante sistema como um de seus associados, e parabeniza toda a equipe e a gestão do Metrô pela excelência operacional e pela contribuição para o desenvolvimento do transporte de passageiros sobre trilhos no Brasil.

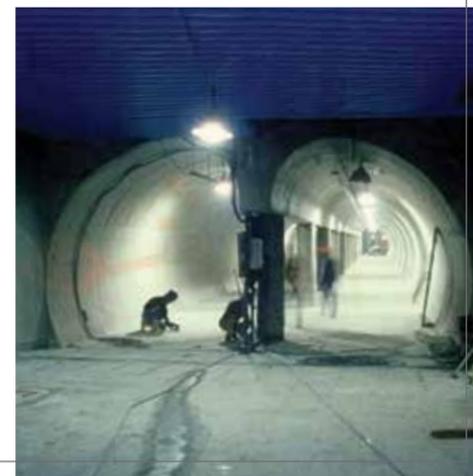
**\* Joubert Flores é presidente do Conselho da Associação Nacional dos Transportadores de Passageiros sobre Trilhos (ANPTrilhos), Engenheiro Eletricista, Eletrotécnico e Pós-Graduado em Gerência de Energia**



Joubert Flores é presidente do Conselho da Associação Nacional dos Transportadores de Passageiros sobre Trilhos (ANPTrilhos)



Estação Luz - Metrô SP



Estação Clínicas - Metrô SP



Estação São Joaquim - Metrô SP

HÁ MAIS DE 50 ANOS  
CONTRIBUINDO COM A  
ENGENHARIA BRASILEIRA.

TELAR

1969 - 2019 - CINQUENTA ANOS



Estações Borba Gato e Alto da Boa Vista - Metrô SP



Túnel de Conexão Linhas 2 e 4 - Metrô SP

A expansão do Metrô de São Paulo conta com a participação da **TELAR**, pioneira em obras subterrâneas por métodos não destrutivos. Sua utilização reduz os impactos ambientais e os transtornos nas áreas urbanas. A **TELAR** se orgulha em ser reconhecida por entregar os melhores resultados com responsabilidade, qualidade e competência.

+55 11 3156.3700 | comercial@telar.com.br | www.telar.com.br | | @TelarEngenharia

## FELIZ 50º ANIVERSÁRIO PARA O METRÔ DE SÃO PAULO!

ELEONORA PAZOS\*

O transporte ferroviário oferece um serviço seguro, confiável, barato e ecológico para viajantes de todo o mundo, e o Metrô de São Paulo não tem sido diferente nestes 50 anos. Conecta a cidade e distintas regiões de forma sustentável, permitindo que os usuários alcancem seus destinos com uma qualidade única. Ao contribuir significativamente para mudar as vidas dos paulistanos e criar um ambiente melhor para viver, o metrô se torna a espinha dorsal do sistema de mobilidade.

Em diversas ocasiões são feitos exercícios imaginando e avaliando o impacto que a cidade de São Paulo teria nestes 50 anos sem a operação do metrô, e, seguramente, não teríamos a metrópole que temos sem a presença de um sistema tão eficiente. Mas a data nos impõe pensar o futuro, como serão e devem ser os próximos 50 anos. O legado existente não deixa dúvidas.

Os mais recentes avanços tecnológicos através da digitalização, da automatização, dos megadados, da inteligência artificial, da Internet das Coisas (IoT) e da ciência dos materiais constituem uma grande oportunidade para o setor ferroviário oferecer abordagens mais adaptadas e serviços eficientes aos clientes, com a evolução da demanda mais exigente, seguramente os próximos 50 anos estarão centrados nestes avanços.

Muito ainda precisa ser feito para se adaptar plenamente a esses novos desafios, em alguns casos eles foram acentuados e se tornaram mais urgentes como resultado da pandemia de COVID-19, a qual o transporte público mundial ainda não superou completamente. O Metrô de São Paulo mostra todos os dias como continua a contribuir para a melhoria da qualidade de vida dos cidadãos, e como tem impactado positivamente as zonas que toca, funcionando como um impulsionador para as economias, a luta contra as alterações climáticas e os desafios sociais em geral.

A atenção no setor ferroviário centra-se para os seus contributos para os aspectos econômicos, sociais e ambientais, e para os desafios e oportunidades que o setor enfrenta decorrentes da influência social, mudanças tecnológicas e outras tendências. Dentro das análises que a UITP promove para pensar o futuro dos sistemas, o foco é no potencial inexplorado; os principais facilitadores para a concretização de uma visão metroferroviária 2050, com um olhar especial ao cidadão.

Neste contexto, a UITP considera que um futuro de sucesso dos sistemas está centrado em alguns temas, que devem ser o foco de planejamento e da estratégia dos sistemas. Entre eles temos: 1) Integração intermodal (em todos os aspectos, físicos e tecnológicos, meios de pagamento, comunicação e informação); 2) Transporte verde e sustentável (construir os indicadores personalizados do sistema, mostrando o papel real para a cidade e sociedade); 3) Otimização de serviço (a busca contínua da



Eleonora Pazos, Head of office Latin-America Division at UITP - International Association of Public Transport

melhoria de qualidade, com investimentos contínuos no foco ao cliente); 4) Digitalização e ferramentas digitais (investimento e planejamento a longo prazo na tecnologia); 5) Gerenciamento de crise (cada vez teremos mais crises, em especial as relacionadas aos efeitos climáticos); 6) Serviços de turismo (hoje o turismo é um importante força de mudança urbana sendo primordial para a economia das cidades); 7) Resposta à pandemia (COVID-19 foi uma experiência que deve preparar os sistemas para situações pandêmicas); 8) Comunicação (comunicação aos clientes, e não clientes continua sendo um fator primordial para a sobrevivência dos sistemas); 9) Diversidade e Inclusão (demanda social latente); 10) Incentivar a mudança modal (os sistemas de metrô oferecem qualidade como arma da competitividade frente a meios privados); 11) Mobilidade como serviço – MaaS; 12) Atrair talentos e habilidades (metrôs promovem qualificação de mão de obra, além de empregos verdes); 13) Veículos automatizados / autônomos; 14) Inteligência artificial.

É importante observar que o Metrô de São Paulo já vem trabalhando de maneira intensa a maioria destes pontos tendo excelência em diversas experiências, e inspirando diversos outros metrôs pelo mundo.

Cinco décadas conectando milhões, e proporcionando conexões através da vibrante população desta incrível cidade. De estações movimentadas ao zumbido rítmico dos trens, você tem sido a linha vital do coração pulsante de São Paulo, mantendo-o pulsante com energia e movimento.

“Cada viagem é uma jornada através do tempo, um testemunho de progresso e inovação. Desde a primeira corrida até os dias de hoje, você testemunhou a evolução de uma metrópole, carregando sonhos, ambições e histórias dentro de suas ‘carruagens’.

Você é mais do que apenas um meio de transporte; você é um símbolo de unidade, reunindo pessoas de todas as esferas da vida. De estudantes a profissionais, famílias a amigos, você encurtou distâncias e conectou comunidades, fomentando um sentimento de pertencimento e camaradagem.

Seus túneis ecoam com os passos de inúmeros passageiros, cada um com sua própria história para contar. Nos altos e baixos, você permaneceu firme, adaptando-se ao cenário sempre mutável de São Paulo, sempre se esforçando para fornecer uma jornada tranquila para todos que embarcam em seus trilhos.

Enquanto você celebra este marco monumental, saiba que seu legado transcende mera infraestrutura. Você é um farol de progresso, um catalisador para o crescimento e um testemunho do poder do esforço coletivo. Brindemos aos próximos 50 anos de inovação, conectividade e progresso. Vida longa ao Metrô de São Paulo, um verdadeiro ícone desta grande cidade!”

O Metrô de São Paulo é um personagem de nossa metrópole, que receberia esta mensagem em seu cartão de aniversário.

“Feliz 50º Aniversário para o Metrô de São Paulo!”

\* Eleonora Pazos, Head of office Latin-America Division at UITP - International Association of Public Transport

## A IMPORTÂNCIA DA LINHA MAIS EXTENSA DO METRÔ DE SÃO PAULO, LINHA 2-VERDE

ROBERTO KOCHEN\*

A Linha 2-Verde do Metrô de São Paulo, anteriormente conhecida como Linha Paulista, está prestes a se tornar a mais extensa da atual rede metroviária paulista. Apesar de outras linhas de maior extensão estarem atualmente em fase de projeto funcional e projeto básico, a Linha 2-Verde terá suas obras de infraestrutura civil concluídas antes das demais. Esta antecipação destaca a prioridade estratégica do transporte metroviário na região metropolitana de São Paulo. O investimento na Linha 2-Verde não apenas reforça a conectividade da cidade, mas também demonstra um compromisso com a mobilidade urbana sustentável e eficiente.

O antigo nome Linha Paulista faz referência ao trajeto inicial da linha, que percorria a movimentada Av. Paulista estendendo-se da Estação Paraíso (próxima à Rua 13 de Maio) até pouco além da Estação Consolação, localizada próxima à confluência das avenidas Paulista e Consolação, e passando pelas Estações Brigadeiro e Triunfo. Esse segmento inicial foi construído predominantemente utilizando o método TBM (Tunnel Boring Machine), com túneis escavados por “tatuções” de frente aberta e fechada, e revestidos com anéis pré-moldados de concreto armado. As estações foram erguidas utilizando o método NATM (New Austrian Tunneling Method), que envolve escavação sequencial parcializada e revestimento com concreto projetado e armações metálicas. Mais tarde, esse trecho inicial da Linha 2-Verde foi ampliado até Vila Madalena, atravessando o Bairro do Sumaré, com o método NATM, com túneis escavados por “túneis mineiros” e revestidos com concreto projetado armado. Essa expansão incluiu a passagem pela Estação Clínicas até alcançar a Estação Vila Madalena. O trecho original da linha (de Paraíso até Consolação) foi inaugurado em 25 de janeiro de 1991 tornando-se um marco na história do transporte público em São Paulo.

O Metrô prosseguiu com a expansão da Linha 2-Verde, agora se estendendo no sentido oposto, até alcançar a Estação Vila Prudente. Esse trecho inclui importantes estações como Ana Rosa, Klabin, Imigrantes, Ipiranga, Sacomã e Tamanduateí. O segmento atualmente em operação abrange a rota de Vila Madalena a Vila Prudente, configurando uma linha extensa, com diversas estações e conexões com as linhas 1-Azul, 4-Amarela, 5-Lilás e 15-Prata do Metrô, além da Linha 10-Turquesa da CPTM. A inauguração do trecho Sacomã – Vila Prudente ocorreu em 28 de março de 2009, ampliando o alcance e a utilidade da Linha 2-Verde.

O trecho em construção, que completa a etapa atual da Linha 2-Verde, estende-se da Estação Orfanato até a Estação Penha, proporcionando conexões com as linhas 3-Vermelha e 16-Violeta (Metrô) e 11-Coral (CPTM), estas últimas na Estação Penha. Está prevista também uma futura extensão da linha até Guarulhos, reforçando a integração com outras regiões metropolitanas. Na outra extremidade da linha, há planos para estender a Linha 2-Verde de Vila Ma-



\*Roberto Kochen, engenheiro civil com doutorado em túneis e geotecnia

dalena até Cerro Corá, melhorando o acesso ao transporte público.

A Linha 2-Verde, curiosamente a terceira a ser construída na cidade de São Paulo, abrange importantes eixos do centro expandido conectando uma série de instituições e organizações cruciais, como hospitais, escolas de nível superior, hotéis e secretarias de Estado. Além disso, sua construção resultou em soluções inovadoras para escavação de túneis, conforme documentado no livro “Túneis do Brasil”, publicado pelo Comitê Brasileiro de Túneis. Essas técnicas pioneiras não apenas contribuíram para a eficiência da construção, mas também serviram como um exemplo de engenharia de alta qualidade.

Destaca-se também que a Estação Sacomã foi pioneira no Metrô Paulista, ao ser a primeira a adotar portas de plataforma, um avanço significativo em termos de segurança para os usuários. A introdução dessas portas representa o compromisso contínuo

do Metrô de São Paulo em adotar tecnologias e práticas inovadoras, para melhorar a experiência do usuário e garantir uma viagem mais segura e confortável.

O trecho atualmente em construção está sendo escavado por tuneladora moderna de frente fechada, que opera com pressão de terra balanceada. A máquina encarregada de realizar a escavação e o revestimento de grande parte deste trecho foi carinhosamente batizada de “Tatução Cora Coralina”, em uma homenagem tocante à grande poetisa brasileira. Com um diâmetro de 11,66 metros, o equipamento tem a capacidade de criar túneis espaçosos, permitindo a instalação de vias duplas de trens. Essa homenagem não apenas reconhece a contribuição cultural de Cora Coralina, mas também destaca a importância da conexão entre a arte e a engenharia, representando um símbolo de orgulho para o povo brasileiro e para os trabalhadores envolvidos nesse projeto monumental.

Antes da pandemia, a Linha 2-Verde do Metrô de São Paulo transportava uma impressionante média 750.000 usuários por dia, evidenciando sua grandeza e importância para a mobilidade urbana da cidade. Esse volume significativo de passageiros ressalta a Linha 2-Verde como um dos principais pilares do sistema de transporte público da metrópole.

A grandiosidade da Linha 2-Verde é um testemunho da competência e visão estratégica do Metrô na implantação de um sistema metroviário de alta capacidade, eficiência e qualidade. Ao longo dos seus 50 anos de operação, o Metrô de São Paulo tem desempenhado um papel fundamental no desenvolvimento e na modernização da infraestrutura urbana da cidade, contribuindo para a melhoria da qualidade de vida dos seus habitantes.

A cidade de São Paulo foi privilegiada por contar com a Companhia do Metrô durante essas cinco décadas de operação exemplar. A dedicação e o profissionalismo da equipe tem sido essenciais para garantir um serviço de transporte público seguro e de qualidade, que atende às necessidades da população paulistana e contribui para o progresso contínuo da cidade.

\*Roberto Kochen, engenheiro civil com doutorado em túneis e geotecnia, foi professor da Escola Politécnica da USP, CEO da GeoCompany Tecnologia, Engenharia e Meio Ambiente

### ENGENHARIA E DIVERSIDADE NO METRÔ DE SÃO PAULO

LÍGIA MACKEY\*

Em 2018, quando o metrô de São Paulo realizou uma pesquisa sobre o sistema (Caracterização Socioeconômica do Passageiro e seus Hábitos de Viagem), identificou que 57% das pessoas que utilizam o serviço são mulheres. Naquela época, a rede somava 50 anos de existência - e diversas tentativas de acompanhar o crescimento da capital paulista e sua região metropolitana. No mês de abril de 2024, já são 56 anos e, entre as mais de 60 estações e 6 linhas, as mulheres seguem presentes.

Aliás, estivemos presentes antes mesmo da criação dos trilhos, participando dos projetos de viabilização desse meio de transporte, que hoje é tão importante. E por que trazer esse tema à tona no aniversário do metrô paulista? Porque este também é o ano em que o Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Estado de São Paulo (Crea-SP) faz 90 anos e, pela primeira vez, é presidido por uma mulher. Uma mulher engenheira. E, assim como o metroviário, que vem evoluindo a cada ano oferecendo uma alternativa sustentável e eficiente para a mobilidade urbana em massa, as mulheres seguem avançando e conquistando espaços na Engenharia. Inclusive, no que se refere à gestão, construção e manutenção do metrô em si.

Como engenheira civil, não posso deixar de falar da grandiosidade que é uma obra de execução do metrô e das atividades ali que requerem a presença de um profissional responsável. Pensar, operar e manter mais de 100 quilômetros de linhas por onde passam 4 milhões de usuários são funções que carregam consigo a essência da Engenharia. A preservação do bem-estar das pessoas, a qualidade de vida, e o melhor funcionamento entre aquilo que foi projetado, no papel e em softwares, para o que está em serviço é responsabilidade compartilhada entre os engenheiros e as engenheiras. Neste sentido, a diversidade de perspectivas é fundamental e garante que as necessidades de todos sejam consideradas. Engenheiras contribuem

com uma variedade de experiências e insights, compondo a criação de soluções mais inclusivas e acessíveis.

Isso em todas as fases, do projeto à entrega final, passando por estudos de viabilidade do solo, geotécnica, licenças ambientais, desapropriações, escavações, impermeabilizações até a construção, de fato, dos túneis, da malha ferroviária e de toda a comunicação, ventilação e sinalização. Esses espaços que antes cerceavam as mulheres, hoje têm elas como lideranças. Porque sabemos que Engenharia é cálculo, mas que é preciso atenção para além da técnica, uma vez que a estrutura tão complexa desse sistema impõe que a inovação e a tecnologia transcendam os seus próprios limites. E não tem profissão melhor para uma mulher, já que, socialmente, também somos provocadas a ultrapassar as fronteiras que são impostas em nossas carreiras, finanças, relacionamentos e em diversos outros aspectos da vida.

Como no passado, quando a eficácia do metrô era questionada, a das mulheres também foi. Atualmente, o transporte mostra todo o seu potencial e toma o posto de solução inteligente. As mulheres, também. Desempenhamos papéis essenciais, seja supervisionando a operação de equipamentos pesados, gerenciando equipes de trabalho, garantindo a conformidade com os padrões de segurança ou implementando tecnologias. Demonstramos habilidades técnicas excepcionais e liderança eficaz nos canteiros de obras ao agir criticamente, não apenas enriquecendo o ambiente, mas também desafiando estereótipos de gênero e promovendo a igualdade de oportunidades na indústria da construção.

Ao promover uma cultura de inclusão e igualdade de oportunidades, podemos aproveitar todo o potencial de talentos diversos para enfrentar os desafios complexos da engenharia urbana e criar sistemas de transporte público mais eficientes, acessíveis e sustentáveis para as gerações futuras. Além do mais, a presença de mulheres em serviços que foram estigmatizados como majoritariamente masculinos inspira jovens estudantes e profissionais, mostrando que a Engenharia é uma carreira viável e emocionante.

versos para enfrentar os desafios complexos da engenharia urbana e criar sistemas de transporte público mais eficientes, acessíveis e sustentáveis para as gerações futuras. Além do mais, a presença de mulheres em serviços que foram estigmatizados como majoritariamente masculinos inspira jovens estudantes e profissionais, mostrando que a Engenharia é uma carreira viável e emocionante.

\* Lígia Mackey é engenheira civil e presidente do Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Estado de São Paulo (Crea-SP)



Lígia Mackey é engenheira civil e presidente do Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Estado de São Paulo (Crea-SP)



# DO DESENVOLVIMENTO AO GERENCIAMENTO DO PROJETO

A Sondotécnica faz parte dos 50 anos da história do METRÔ de São Paulo, o maior da América Latina.

Uma indústria de ideias a serviço do progresso.

Rio de Janeiro | São Paulo | Angola | EUA

www.sondotecnica.com.br  
@sondotecnicaengenharia



## INTERTECHNE

### UMA PARCERIA QUE JÁ ALCANÇOU A MAIORIDADE

No ano que o Metrô de São Paulo completa seu cinquentenário de operação, a Intertechne completa a maioria na atuação de projetos para o Metrô. Há 18 anos, a empresa iniciou seu primeiro trabalho com o desenvolvimento do projeto da Estação Paulista da Linha 4-Amarela. Na sequência, diversos outros projetos de estações, poços de ventilação e saídas de emergência foram desenvolvidos para a mesma linha e para as Linhas 2-Verde, Linha 6-Laranja, Linha 15-Prata.

As linhas 17-Ouro e 19-Celeste, foram as mais recentes. Para a linha 17-Ouro foram prestados serviços de engenharia para

fiscalização e inspeção na implantação de sistemas elétricos, eletrônicos, mecânicos e material rodante. “Para a Linha 19-Celeste, especialmente, desenvolvemos o projeto básico de arquitetura, engenharia civil e sistemas, focando nas boas práticas de engenharia e sustentabilidade e na relação com o entorno da inserção urbana”, destaca Flavia Viviani Tormena Albertoni, diretora técnica de Infraestrutura da Intertechne.

A engenheira ressalta, que o projeto da Linha 19-Celeste é o primeiro do Metrô onde toda a linha foi concebida em BIM. “A expertise da Intertechne em BIM (Building Information Modelling), nos permitiu desenvolver o projeto com as disciplinas evoluindo de forma integrada nos modelos BIM, sem a circulação de documentos 2D. Todos os trâmites foram feitos em softwares específicos, que possibilitaram a visualização e os comentários do cliente, resultando em um projeto compatibilizado”, complementa Flavia. O projeto da Linha 19-Celeste foi feito em Consórcio com outras 4 empresas e teve início em janeiro de 2022. Seu traçado conecta o centro da cidade de São Paulo com o Município de Guarulhos, com o intuito de facilitar o transporte intermunicipal e auxiliar na redistribuição da demanda de passageiros na rede do Metrô, promovendo conexões com linhas existentes. “Nossa



Flavia Viviani Tormena Albertoni, diretora técnica de Infraestrutura da Intertechne

Unidade de Infraestrutura trabalha com uma equipe multidisciplinar especializada no desenvolvimento de serviços de consultoria, estudos e projetos de engenharia e arquitetura em todas as fases de empreendimentos como Metrô, VLT e BRT, desde sua concepção, até o executivo. Por isso, participar da comemoração de uma data tão marcante como esta é extremamente gratificante para a nossa equipe. Parabéns Metrô de São Paulo. Que venham muitos mais anos de comemoração e parceria entre nós”, comemora Beatriz Mulinari Pinheiro Machado, diretora da Unidade de Infraestrutura da Intertechne.



Beatriz Mulinari Pinheiro Machado, diretora da Unidade de Infraestrutura da Intertechne



## BYD SKYRAIL

### SÃO PAULO RECEBE O PRIMEIRO TREM QUE VAI COMPOR A LINHA 17-OURO DO METRÔ

A primeira composição, entregue em agosto, faz parte de um lote de 14 unidades encomendadas pelo Metrô de São Paulo. Os trens são fabricados pela BYD na cidade de Guang'an, na China, e vêm para o Brasil em etapas que vão até 2025. As composições foram projetadas exclusivamente para atender ao projeto da Linha 17-Ouro, com o modo de operação automática (UTO), utilizando tecnologia de Sistema de Controle de Monitoramento de Trens (TCMS) e sistema de sinalização CBTC, que, por meio de comunicação via rádio digital, forma blocos móveis entre os trens, permitindo maior aproximação entre eles e a redução do intervalo de circulação.

Cada composição do monotrilha é formada por cinco carros, sendo que os carros de extremidade contam com 21 assentos cada e os carros intermediários contam com 24 assentos cada, totalizando 114 assentos e com capacidade total para 616 passageiros, incluindo assentos prioritários e áreas para deficiente. A composição possui passagem livre entre os carros, sistema de ar-condicionado, iluminação LED, câmeras de vigilância, sistema de detecção e combate a incêndio, sistema de comunicação audiovisual aos passageiros, com mapa de linha dinâmico e intercomunicador para contato ao Centro de Controle Operacional (CCO).

O veículo mede 3,2 metros de largura e juntamente com todos os carros totaliza um pouco mais de 60 metros de comprimento. O modelo Skyrail reúne modernidade, conforto e tecnologia. As paredes laterais são panorâmicas, o que proporciona uma excelente visualização do entorno do trajeto e as janelas, tipo basculantes, podem ser abertas, garantindo ventilação de emergência para os passageiros, em caso de necessidade. O monotrilha opera com uma tensão nominal de 750Vcc, com velocidade operacional de 80km/h e está equipado com baterias de tração, que funcionam como fonte de energia reserva, possibilitando que o trem chegue à próxima estação, mesmo que haja interrupção no fornecimento de energia. Um grande projeto que envolve uma equipe formada por engenheiros, técnicos e especialistas brasileiros e chineses, sempre em consonância com a Companhia do



Primeiro trem da Linha 17-Ouro em testes na China antes do envio para o Metrô de São Paulo



Traçado da Linha 17-Ouro do Metrô onde o trem da BYD Skyrail estará circulando

Metropolitano de São Paulo - Metrô. “É um trabalho de muita dedicação e planejamento que nos enche de orgulho porque vamos contribuir para a melhoria da mobilidade da maior cidade do país”, comenta Alexandre Barbosa, diretor técnico da BYD Skyrail São Paulo. As obras civis do trajeto devem ser

concluídas até o final de 2025, permitindo o avanço da instalação de todos os sistemas. O funcionamento da Linha 17-Ouro está previsto para começar em 2026 e vai ligar o Aeroporto de Congonhas à zona Sul de São Paulo, beneficiando 100.000 pessoas todos os dias.

DANFOSS

## IDRILL OBTÉM PRECISÃO E SEGURANÇA EM OPERAÇÃO REMOTA DE PERFURATRIZ NAS OBRAS DO METRÔ DE SÃO PAULO



iDrill obtém precisão e segurança em operação remota de perfuratriz com rádio controle nas obras do Metrô de São Paulo

A iDrill é uma empresa brasileira especializada na fabricação de equipamentos para execução de serviços de geotecnia, fundações e tratamento de solos na indústria da construção civil. Seus equipamentos vêm se destacando em grandes obras como as de expansão do Metrô de São Paulo, demonstrando confiabilidade e maior produção.

Uma das máquinas desenvolvidas pela iDrill é uma perfuratriz multifuncional que pode realizar serviços como enfilagens, jet grouting, tirantes, perfuração de estacas tipo raiz entre outras funções.

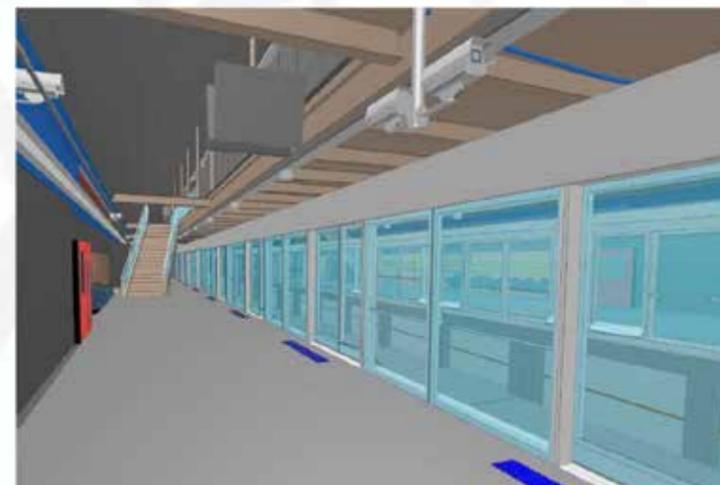
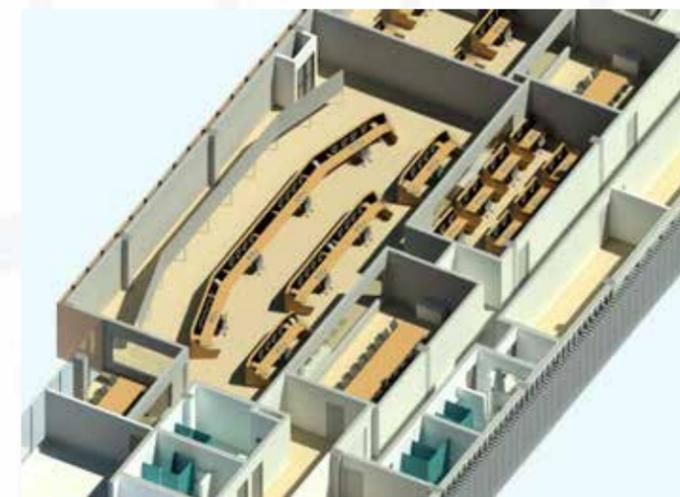
Especificamente para as particularidades de aplicações em túneis subterrâneos, cujas atividades exigem alto grau de precisão, controle e segurança, a empresa identificou a necessidade de contar com um sistema

operacional remoto para a perfuratriz, em que o operador, tendo à mão todas as funções e controles disponíveis do equipamento, pudesse operar de forma eficiente e eficaz estando distante do maquinário. O Engenheiro Mecânico da iDrill, Diego Moreira, explica resumidamente o funcionamento do equipamento: "A perfuratriz foi desenvolvida para executar perfurações em posicionamentos específicos em ângulos e inclinações variáveis, com cerca de 15 metros de profundidade no solo. Após as perfurações, é realizada a injeção de calda de cimento e na sequência, em alguns casos, é colocada uma armação. Este tipo de tratamento de solo visa proporcionar a estabilização do maciço e posteriormente possibilitar o processo de escavação do túnel. Por se tratar de serviços em túneis, onde

normalmente o local apresenta espaço reduzido e visibilidade prejudicada, faz-se necessário que o operador tenha uma visão geral de fora do equipamento e todo seu entorno. Assim, impreterivelmente precisávamos de um controle remoto que possibilitasse a relação da segurança e eficiência na movimentação, locação (posicionamento) e perfuração do equipamento. Neste sentido, o rádio controle Danfoss possibilita operar a uma distância segura, mitigando os possíveis riscos envolvidos nas atividades", destaca.

Durante o projeto e desenvolvimento da perfuratriz, a iDrill optou pela utilização do rádio controle Danfoss TM IK3.20 e comando hidráulico PVG fornecidos pela multinacional dinamarquesa. "O desafio era reunir todos os comandos operacionais no controle para fazer o equipamento se locomover, obter o posicionamento de locação para o furo a ser realizado, visão macro do ambiente e sem exposição do operador ao risco. Estamos em uma atividade constante de 20h de máquina operando, um uso bem severo", explica Diego. "O equipamento da Danfoss é fornecido em modo default, ou seja, praticamente em branco. Isto inclui o que chamamos de console, que é o painel de comando do rádio controle. Cada cliente vai necessitar de um equipamento diferente, considerando suas aplicações, e nós inserimos os comandos de acordo com as necessidades, tanto no aspecto físico quanto na programação das funcionalidades. Nós desenhamos um projeto para o rádio controle com o objetivo de atender as funcionalidades da máquina do cliente. Esse é o equipamento mais customizável que a Danfoss e Tecnomira oferecem para os clientes", explica Vinicius da Costa, analista comercial técnico da Tecnomira. A Tecnomira obteve em 2023 o certificado "Danfoss Build Center", uma certificação concedida a distribuidores específicos, que possibilita a customização de equipamentos e manutenções de acordo com as rigorosas diretrizes da Danfoss para garantir os padrões de qualidade e requisitos da multinacional. "Isto possibilita à Tecnomira a capacidade de desenvolver e fornecer as soluções de produtos Danfoss mais sofisticadas e de alta qualidade em praticamente qualquer configuração – seguindo os mesmos procedimentos das instalações de produção do OEM", explica Sílvia Golfar, Diretora de Marketing na Tecnomira.

A PÓLUX presta Consultoria para Sistemas de Missão Crítica, sempre projetando e gerenciando grandes empreendimentos.



Parabéns à Companhia do METRÔ-SP pelos 50 anos de operação comercial! A PÓLUX está presente nos mais importantes projetos de infraestrutura de transportes, atuando em todas as etapas do ciclo de vida, compreendendo a elaboração de projetos básicos e executivos, gerenciamento e supervisão de Sistemas.

### Projetos Recentes Metrô-SP

- ✓ Elaboração do Projeto Básico Integrado BIM de Arquitetura, Civil e Sistemas da Linha 19 – Celeste;
- ✓ Elaboração do Projeto Básico Integrado BIM de Arquitetura, Civil e Sistemas da Ampliação da Estação São Joaquim da Linha 1 – Azul;
- ✓ Análise dos Projetos Executivos dos Sistemas de Sinalização, Centro de Controle, Material Rodante e Sistemas Auxiliares da Linha 17 – Ouro.



[www.polux.com.br](http://www.polux.com.br)  
[contato@polux.com.br](mailto:contato@polux.com.br)  
+55 (11) 3877-5166



 **PÓLUX** engenharia

Desde 1996

# BRASIL / RÁPIDAS

## BELGO ARAMES

### FIBRA DE AÇO MAIS RESISTENTE PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL

A Belgo Arames traz para o Brasil a tecnologia exclusiva de fibra de aço, o Dramix® 4D, alternativa mais sustentável que pode ser amplamente empregada na construção civil. A solução exclusiva da Bekaert, uma das acionistas da metalúrgica no país, existe no mercado europeu desde 2012 e entrega quatro vezes mais resistência à tração do que os reforços convencionais, além de gerar uma

economia de até 25% em projetos considerando a redução do uso de materiais como o aço, concreto e mão de obra.

O Dramix® 4D pode ser aplicado em pisos híbridos, sem juntas, com estacas, em pavimentos rígidos de alta resistência e em projetos não convencionais, como na composição do concreto submerso, em fundações e em pré-fabricados. "O emprego desse

DIVULGAÇÃO GRUPO SADA



tipo de fibra de aço cumpre com os requisitos de construções mais verdes e sustentáveis e industrializa mais os processos da construção civil ao eliminar etapas que muitas vezes têm mão de obra escassa no mercado, resolvendo uma dor comum dos nossos clientes desse segmento", explica o diretor Comercial da Construção Civil e Indústria da Belgo Arames, Randolpho Barony.

## MILLS

### MAIOR PARTICIPAÇÃO DE MULHERES NA LIDERANÇA

A Mills, líder latino-americana em locação de equipamentos, continua como a única empresa do setor no top 10 do Ranking de Score Teva Mulheres na Liderança. A companhia ocupa o 6º lugar na lista, que atribui pontos para empresas que contratam e promovem mais mulheres a esses cargos e sinaliza aquelas sem mulheres ou com tendência de diminuição da representatividade. A carteira é rebalanceada trimestralmente.

Para criação do índice, são levadas em consideração as composições de Conselhos

de Administração, Conselhos Fiscais, Diretoria Executiva e Comitês de Gestão e outros. No Índice Teva Mulheres na Liderança, 50% das empresas com maior score são selecionadas. Além disso, a Mills está também no ranking de Representatividade de Mulheres no Conselho, que também é do Teva, e ocupa a 14ª posição. "Nossa presença renovada no Índice reflete a preocupação constante que temos na Mills com a equidade de gênero e uma sociedade mais justa," destaca Kleber Racy, diretor de Gente e Gestão, SSMA e ESG da Mills.

DIVULGAÇÃO



## NOTA DE ESCLARECIMENTO

"O Eng. Peter Alouche, em seu artigo 'People Mover, a tecnologia indicada para as cidades brasileiras', publicado no número 08/2024 da revista BRASIL ENGENHARIA, mencionou 'uma outra análise comparativa, realizada em 2013, numa Comunicação Técnica feita pela Empresa Lindau, encomendada pelo Fabricante Doppelmayr, no Congresso da ANTP do Rio... Expressa, também, que 'o estudo peca por aparentar (talvez fosse até essa a intenção), um documento de marketing da Empresa patrocinadora do estudo.' Ainda, refere que teriam sido 'selecionados 14 sistemas' para as análises comparativas e que o estudo 'deixou de mencionar a tecnologia brasileira do Aeromovel... em operação em Porto Alegre desde 2013'.

Cumpramos esclarecer que:

1. Jamais existiu a Empresa Lindau referida no artigo do Eng. Alouche, existe sim o engenheiro Luis Antonio Lindau, professor doutor, orientador e pesquisador da Escola de Engenharia da UFRGS que, em conjunto com colegas da UFRGS, PUC-RS e UFPR, desenvolveu para a FINEP (e não para a Doppelmayr, como afirma o artigo), um balizamento de indicadores tecnológicos e econômicos para

o desenvolvimento de um novo projeto do Aeromovel, confrontando-o com outros projetos APM (Automated People Mover). A FINEP é uma agência pública brasileira que financia a inovação, desde a pesquisa básica até a preparação do produto para o mercado;

2. A pesquisa, que se encerrou em 2008, contemplou informações referentes a 73 sistemas em operação em diferentes países; assim, obviamente a pesquisa não poderia incluir dados da linha do Aeromovel, que conecta a estação da Trensurb ao Aeroporto Salgado Filho, inaugurada em Porto Alegre somente em 2013;

3. Os resultados alcançados pela pesquisa foram publicados nos anais de dois eventos:

a) Todt, E.; Leão, A. G.; Lindau, L. A.; Bortolini, E.; Pereira, B. M. Market Trends and Comparative Study of Economic and Technological Parameters of APM Systems. In: Proceedings of the 12th International Conference of Automated People Movers, 2009. <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/41038%28343%2923>

b) Lindau, L. A.; Leão, A. G.; Todt, E.; Pereira, B. M. Tendências de mercado e estudo comparativo de parâmetros técnicos e econômicos de tecnologias

APM no contexto do Sistema Aeromovel. In: XIV Congresso Latinoamericano de Transporte Público y Urbano, 2007. [https://www.researchgate.net/publication/313679458\\_Tendencias\\_de\\_mercado\\_e\\_estudo\\_comparativo\\_de\\_parametros\\_tecnicos\\_e\\_economicos\\_de\\_tecnologias\\_APM\\_no\\_contexto\\_do\\_Sistema\\_Aeromovel](https://www.researchgate.net/publication/313679458_Tendencias_de_mercado_e_estudo_comparativo_de_parametros_tecnicos_e_economicos_de_tecnologias_APM_no_contexto_do_Sistema_Aeromovel)

4. O artigo publicado no Congresso da ANTP do Rio de Janeiro em 2011, referenciado pelo Eng. Alouche como de autoria de Doppelmayr, intitulado 'Automated People Mover tracionado a cabo, uma nova e sustentável tecnologia - estudo de caso de Veneza', não foi redigido pelos pesquisadores da UFRGS, UFPR e PUC-RS, mas tem como autores Silva, D. M. S.; Silva, S. S. (da empresa ESSE Engenharia Consultiva); Rudolph, A. e Rudolph, K. (da empresa Doppelmayr GmbH). Pode ser acessado em: [http://files-server.antp.org.br/\\_5dotSystem/download/dcmDocument/2013/01/21/C4976E50-7DB2-4DAF-9B05-A00CB663F1F3.pdf](http://files-server.antp.org.br/_5dotSystem/download/dcmDocument/2013/01/21/C4976E50-7DB2-4DAF-9B05-A00CB663F1F3.pdf)

Luis Antonio Lindau, PhD  
Diretor do Programa de Cidades / Director of the Cities Program  
WRI Ross Center for Sustainable Cities  
WRI Brasil

# A SYSTRA PROJETOUM EM CADA DOIS METRÔS NO MUNDO.

Quando o desafio é planejar, projetar, modernizar e operar uma infraestrutura ferroviária, a SYSTRA oferece soluções personalizadas para atender às condições locais, atuais e futuras. Com base em nosso amplo conhecimento de mercado e vasta experiência global em projetos emblemáticos, garantimos excelência e soluções integradas, sempre respeitando o meio ambiente e os mais altos padrões de segurança.



A CONFIANÇA TRANSPORTA O MUNDO



[systra.com/brazil](https://systra.com/brazil)

# Antonio Julio Castiglioni Neto

Presidente do Metrô de São Paulo

## E que venham os próximos 50 anos!

**E**m entrevista exclusiva à Revista **BRASIL ENGENHARIA**, o presidente do Metrô de São Paulo, Antonio Julio Castiglioni Neto, destaca a crença e a convicção de que a resiliência e capacidade de se reinventar são os traços que levarão o Metrô a desenvolver e a cumprir o seu importante papel nos próximos 50 anos e além.

O Metrô de São Paulo tem o pioneirismo em sua essência. Foi o primeiro sistema de metrô do país, e que, 50 anos

depois, cumpre o desafio de se manter como referência de mobilidade, inovação e atendimento aos passageiros. Essa vocação pelo ineditismo lhe permitiu, por exemplo, fazer a primeira implosão no Brasil, e utilizar pela primeira vez a tuneladora Shield, conhecida como "Tatuzão". É uma Companhia que se sedimentou como propulsora do crescimento metropolitano, pelos benefícios sociais que gera por onde passa, e por sua expertise em planejamento, que induz o crescimento urbano.



FOTOS: DIVULGAÇÃO/METRÔ-SP

E tudo aquilo que gira em torno do Metrô-SP vem sob a égide da evolução contínua, marcada por uma trajetória que tem como base um trabalho e um esforço ininterruptos em busca do aperfeiçoamento constante, da otimização de seus serviços e, ainda – mas nem de longe menos importante –, do compromisso que emblematicamente mantém em atender com invejável eficiência aos milhões de usuários que integram a população da vibrante urbe paulistana, e que, todos os dias, afluem para suas estações para fazer uso desse importante e essencial modal de transporte.

E a Companhia cumpre esse papel tendo sempre como meta a conquista de níveis sempre e cada vez mais altos de excelência. Para ela, vencer desafios, não raro de proporções titânicas, é um desafio, digamos, “natural”. E, para atender às crescentes demandas da população, ela sabe que ouvir todo esse gigantesco número de pessoas é, e precisa ser, algo que, como seus trens, caminha em duas vias. Prova disso é, por exemplo, a “Pesquisa Origem e Destino”, coordenada por seus técnicos desde a fundação da empresa, que se destaca por continuar sendo a maior pesquisa de mobilidade do país, e que faz do Metrô, desde então, o grande planejador da mobilidade da capital paulista, fato que, aliás, a alçou, segundo o Datafolha, à merecidíssima posição de “Melhor Serviço Público de São Paulo”.

É uma fração de tudo isso que nos conta nesta entrevista exclusiva à Revista **BRASIL ENGENHARIA** o atual presidente do Metrô de São Paulo, Antonio **Julio Castiglioni Neto**. No cargo desde abril de 2023, ele é mestre em Direito pela Universidade Federal do Espírito Santo, na linha de pesquisa Direito,

Processo e Constituição; professor de Direito Administrativo e Direito Constitucional e consultor em Contratações Públicas, tendo atuado por cerca de 20 anos como procurador do Estado do Espírito Santo, onde comandou diversos projetos de infraestrutura, regulação e parcerias público-privadas. Foi também presidente da CODESA (atualmente,

**“Estamos aperfeiçoando o monitoramento preditivo de ativos da manutenção, algo que nos possibilitará conhecer, as inconformidades operacionais”**

VPorts), primeira autoridade portuária privatizada no Brasil, entre 2019 e 2022, e da Agência Reguladora do Espírito Santo, entre 2015 e 2019. Ao longo de sua prolífica carreira, liderou processos de modernização, inovação e gestão estratégica, gerando modelos de negócios que vem trazendo resul-

tados positivos para setores econômicos regulados, tais como portos, rodovias, saneamento e distribuição de gás. Neste último setor, foi corresponsável pela criação da ES Gás S/A.

Verdadeiro entusiasta por transformações, tem como traço de caráter a crença na liderança pelo exemplo, pela persuasão e pela sensibilidade, o que faz dele o “profissional certo, no lugar certo e no tempo certo” para conduzir os destinos da Companhia do Metropolitan de São Paulo - Metrô. Confira e constate!

**BRASIL ENGENHARIA - Julio, em linhas gerais, como você avalia esse seu primeiro ano na administração do Metrô-SP?**

**JULIO CASTIGLIONI** - Bem, meu primeiro ano à frente do Metrô de São Paulo coincide com o grande marco que são os “50 Anos” da operação do sistema. Sendo coerente com a nossa história, de uma Companhia que sempre soube se reinventar e se renovar para se manter relevante, seguimos em busca da evolução permanente e temos obti-

do bons resultados no caminho para a sustentabilidade. Nosso corpo funcional tem se empenhado em busca de alternativas e caminhos neste momento de pós-pandemia, que mudou o modo e a frequência com que nossos passageiros se locomovem ao seu trabalho, à escola e à faculdade. Neste momento de queda de receita, provavelmente resultante da disseminação do trabalho remoto, estamos tratando de qualificar o custeio da empresa sem abrir mão da qualidade do serviço.

**BRASIL ENGENHARIA - Em outras palavras, esse tem sido o maior e atual desafio?**

**JULIO CASTIGLIONI** - Sem dúvida! Como conviver com 20% a menos de volume de passageiros e de receita, e manter o nível de excelência dos serviços prestados? Trata-se, à toda evidência, do enorme desafio de se fazer mais e melhor, com menos. E, para tanto, é necessário ter firmeza de propósito. Por exemplo, dentro do nosso planejamento estratégico, está claro para todos os gestores a necessidade de criar uma cultura de resiliência por meio da qual a empresa abandona a desgastada expectativa de que sua receita sempre cresce, para cultivar o hábito de manter estrutura de custos racional e sustentável. Por esse caminho, não pretendemos nos divorciar de nossa cultura de excelência técnica, mas pretendemos entregar uma Companhia que seja capaz de conviver com períodos de frustração de receita. Uma estrutura dinâmica, com ductibilidade suficiente para se comportar de acordo com as oscilações de receita.

**BRASIL ENGENHARIA - Sabemos que alguns desses desafios e conquistas estão atrelados às questões de modernização do sistema, à melhoria das operações e àquela relacionada à segurança. Como vêm**

**caminhando esses processos? Você poderia citar alguns exemplos de como as ações da Companhia vêm caminhando nesse sentido?**

**JULIO CASTIGLIONI** - Sim. Por exemplo, neste momento, estamos aperfeiçoando o monitoramento preditivo de ativos da manutenção, algo que nos possibilitará conhecer, de forma mais assertiva, as inconformidades operacionais e, por conseguinte, tornará mais racional o uso de nossa força de trabalho e reduzirá as indesejadas interrupções do serviço de transporte. Ou seja, baixamos o custo e aumentamos a disponibilidade do sistema ao passageiro. Mas, há muitos outros exemplos, tais como a troca do sistema de sinalização das linhas, a implantação do CBTC na Linha 3-Vermelha, instalação das portas de plataforma etc. Essas ações melhoram, não só o serviço, como traz mais segurança ao passageiro. Também tivemos significativos avanços na expansão da rede, com a escavação dos túneis e a chegada do Tatuzão em várias futuras estações da Linha 2-Verde, além da retomada efetiva das obras da Linha 17-Ouro e o início da construção da Estação Ipiranga, que vai ligar a Linha 15-Prata à Linha 10-Turquesa, e melhorar o trajeto dos moradores da Região Leste.

**BRASIL ENGENHARIA - Reconhecidamente, o Metrô de São Paulo é uma referência em termos mundiais, notadamente no que diz respeito ao seu modelo de gestão e à alta tecnologia aplicada em sua operação. Contudo, certamente deve haver desafios a serem vencidos para incrementar a abrangência de seus serviços, em especial quando se fala do atendimento à demanda da população. Assim, quais são as ações prioritárias estabelecidas hoje pela Companhia para vencê-los? Por exemplo, como ampliar as linhas com maior velocidade?**

**JULIO CASTIGLIONI** - Um dos nossos maiores desafios é manter o nível do serviço que, como você mesmo disse, é referência nacional e mundial, atualizando as constantes demandas a partir de muito talento e tecnologia para aumentar a eficiência. Nesse sentido, temos investido muito de nosso ativo intelectual, a fim de modernizar nossos métodos e operação, bem como de aumentar ainda mais a eficiência do sistema. Porque

essa é uma tradição do Metrô de São Paulo: seguir pensando, inovando e se reinventando. Por isso também, como empresa pública, comprometida com as necessidades dos passageiros, temos atuado, por exemplo, em iniciativas que melhoram a mobilidade da cidade, nossa essência, principalmente em uma metrópole com o tamanho e os desafios de mobilidade de São Paulo. Entre elas, estão operações diferenciadas em grandes eventos, como forma de facilitar o trajeto das pessoas e conectar os ativos culturais e de entretenimento da cidade à realidade da população. Pela primeira vez funcionamos 24 horas no Carnaval e também para um show como o *The Town*, nos moldes do *Rock in Rio*. Simultaneamente, também investimos na inovação da exploração de ativos

do Metrô para resultar em melhorias, como no caso da concessão da nossa rede de Telecom, para que a iniciativa privada a utilize, oferecendo também melhor sinal de telefonia celular e internet *Wi-fi* gratuita dentro dos trens e das estações, mudanças que a população já deve começar a sentir a partir do próximo ano. E isso tudo, sem falar do nosso empenho na expansão da rede, com a elaboração de planos de novas linhas, por meio do desenvolvimento de projetos robustos e qualificados, assim como na execução das obras em andamento, como das linhas 2-Verde, 15-Prata e 17-Ouro, nas quais conseguimos imprimir bons ritmos de evolução física, com alto índice de execução orçamentária, o que demonstra a eficiência do gasto. Na verdade, em 2023, tivemos recorde de expansão e execução, que pretendemos quebrar novamente em 2024.

**BRASIL ENGENHARIA - Após a queda brutal dos resultados do Metrô de São Paulo em função dos impactos da pandemia da COVID-19, que você mencionou no início desta nossa conversa, qual o resultado financeiro mais recente do Metrô?**

**JULIO CASTIGLIONI** - Essa pergunta nos dá o ensejo de confirmar o que afirmei anteriormente, referente ao esforço do nosso corpo funcional para rever caminhos. Os impactos da pan-

demia da Covid-19 foram de ordem mundial, atingindo diversos setores da economia, não somente o Metrô. Nós trocamos muitas informações, via associações globais, com outros metrôs. Sistemas metroviários do mundo inteiro tiveram quedas brutais, porque os hábitos da população se alteraram. Como muita gente não trabalha ou estuda mais presencialmente, isso impacta diretamente o fluxo de nossa operação. Some-se a isso o fato de que as pessoas estão saindo menos para outras atividades, como comprar ou comer. Por outro lado, as pessoas voltaram a viajar com o afã de quem ficou limitado nisso e seguem consumindo atividades de cultura e entretenimento. Assim, temos um caminho aí.

**BRASIL ENGENHARIA - Como assim?**

**JULIO CASTIGLIONI**

- Bem, o maior desafio, como eu já disse, é o de pensar em tais caminhos para nos mantermos relevantes e sustentáveis como empresa. Qualificar o custeio, inovar, encontrar alternativas para aumentar a eficiên-

cia e a qualidade do serviço cumprindo o desafio de recuperação financeira, e a melhor qualificação dos gastos passou a ser comum a todas as empresas, inclusive as públicas. Costumo dizer que, no Brasil, ainda há quem acredite que as empresas estatais possuem uma espécie de “alvará” para serem deficitárias. Como executivo, eu me recuso a conviver pacificamente com esse raciocínio, que julgo equivocados, porque penso que os verdadeiros donos das empresas estatais – ou seja, os cidadãos –, não possuem mais tolerância com a ineficiência. Portanto, seja uma empresa privada, seja uma empresa pública, ambas devem estar seriamente comprometidas com o dever de gerar resultado socioeconômico. Dessa forma, nessa quadra da história em que o mundo corporativo está se reinventando, é preciso, principalmente, ser resiliente e ter compromisso com o equilíbrio. Com desequilíbrio financeiro, fica impraticável prestar um serviço de qualidade que permita cuidar de empregados e de passageiros. Aliás, com relação a esse ensejo, lembro das palavras do

**“Seja uma empresa privada, seja uma empresa pública, ambas devem estar seriamente comprometidas com o dever de gerar resultado socioeconômico”**



ex-governador do Espírito Santo, Paulo Hartung, que dizia que “para cuidar das pessoas, é preciso cuidar das contas”. E a boa notícia é que a Companhia do Metrô de São Paulo topou se reinventar, aceitou tomar as decisões difíceis que se impunham e, com as contas rumbando ao equilíbrio, está se recolocando em condição de retomar a marcha de valorização das pessoas. E aqui me refiro aos empregados e aos passageiros, que sempre estiveram na centralidade de nossas ações.

**BRASIL ENGENHARIA - Ainda acerca da pergunta anterior, qual sua avaliação e de que forma vêm contribuindo para a conquista desses resultados as receitas não tarifárias e os projetos de naming rights do Metrô-SP? E como caminham essas movimentações?**

**JULIO CASTIGLIONI** - Os *naming rights* são fruto de um processo de inovação. Novamente, foi o Metrô um dos primeiros a adotar esse modelo, que já vinha sendo feito de forma bem-sucedida em outros modelos de negócio, como, por exemplo, na seara das arenas esportivas. E, como em seu início, todo processo é sempre avaliado em busca de melhorias, tanto para o Metrô quanto para o mercado. Hoje, temos três estações com *naming rights*. Com isso, foi possível incrementar a receita do Metrô, desonerar custos com manutenção de ativos de comunicação dessas estações, bem como melhorar o serviço ao passageiro com a modernização desse ativo. Tudo isso, sem descaracterizar o nome da estação, que é uma referência no contexto urbano de São Paulo. Mas, além da busca da evolução no próprio processo de *naming rights*, há muito mais que isso no desafio das receitas não tarifárias do Metrô como, por exemplo, a exploração econômica de ativos imobiliários, além de outras oportunidades comerciais.

**BRASIL ENGENHARIA - Com esse mesmo afã, quais são as licitações previstas para este ano de 2024? E qual a importância delas para o Metrô de São Paulo, para o aperfeiçoamento da mobilidade urbana da metrópole?**

**JULIO CASTIGLIONI** - Nosso trabalho para a busca de melhorias e expansão da rede é incansável e os processos para novas contratações, seja de serviço, seja de produtos, é contínuo, de forma a atender às diversas necessidades da empresa e do serviço. Mas vou destacar alguns processos, por sua importância e impacto para a população ou pela inovação apresentada. Neste ano, nós concluímos a licitação e assinamos no fim de julho um contrato de quase 2 bilhões de reais para o fornecimento e instalação de sistemas de alimentação elétrica, auxiliares e telecomunicações da ampliação da Linha 2-Verde, entre Vila Prudente e Penha. É um serviço fundamental para o funcionamento desse novo trecho que estamos construindo da Linha 2-Verde. Também destaco que contratamos o fornecimento de sistemas de telecomunicações da Linha 17-Ouro, que era o último grande serviço que precisávamos contratar para a implantação dessa linha, em que empenhamos um grande esforço para a retomada de todas as atividades. Complementarmente, existe o processo de licitação para a compra de 44 novos trens, em conjunto com a Secretaria dos Transportes Metropolitanos. Por fim, lançamos recentemente um chamamento público para a busca de parcerias com o setor privado para o projeto de comercialização de produtos licenciados com a sua marca. O Metrô tem uma marca muito valiosa e atrelada à cultura paulistana e, com esse processo, vamos converter em receita para a empresa a exploração desse símbolo de São Paulo que é o Metrô.

**BRASIL ENGENHARIA - Na mesma linha, quais os principais projetos e prioridades do Metrô de São Paulo para 2024?**

**JULIO CASTIGLIONI** - Priorizamos avançar etapas de processos importantes que já estamos seguindo. Além da otimização e eficiência administrativa, vou destacar o que impacta o cidadão, que são os serviços prestados e a expansão da rede. Falamos de projetos vultosos, que exigem grandes períodos de implantação e muita coordenação para o cumprimento de prazos. Por isso, o avanço nas obras das linhas 2-Verde, 15-Prata e 17-Ouro são prioridades e que já estamos alcançando. A máquina tuneladora, que popularmente chamamos de Tatzão, já percorreu 1,6 km. Na Linha 15-Prata iniciamos agora em agosto a obra civil da Estação Ipiranga que vai ampliar a conexão entre linhas e facilitar o deslocamento do passageiro e na Linha 17-Ouro já estamos recebendo o primeiro trem, além de iniciarmos etapas como a colocação de portas de plataforma nas estações. Na operação do sistema, recentemente colocamos em funcionamento as portas de plataforma, que ampliam a segurança e reduzem as interferências na via, nas estações Guilhermina e Penha. Logo deve entrar em funcionamento as portas em mais outras três estações da Linha 3-Vermelha. São prioridades realistas, e que vêm sendo cumpridas, construindo melhorias não só ao nosso passageiro, mas para toda a população.

**BRASIL ENGENHARIA - Em fevereiro de 2023, o Metrô divulgou uma previsão de investimentos recorde de 5,6 bilhões de reais na expansão de suas operações. Contudo, em face à realidade, isso acabou não acontecendo, em função de alguns reveses, o que levou a Companhia até a fazer um corte de investimentos em algumas linhas. Em termos**

**atuais, como caminham esses números e previsões? E quais são as atuais prioridades para a dotação dessas injeções de recursos? Alguns desses recursos podem, eventualmente, vir de créditos relacionados a parcerias com bancos e/ou grupos de investidores estrangeiros? Atualmente, existe alguma negociação em curso nesse sentido?**

**JULIO CASTIGLIONI** - Na verdade, o que temos é o maior investimento empenhado em expansão da rede de metrô. Foram 2,67 bilhões de reais aplicados nas obras das linhas 2-Verde, 15-Prata e 17-Ouro, e em projetos de expansão. Isso representa 27% mais investimentos de recursos do que no ano anterior. Também destaco a alta eficiência no uso dos recursos, o que é um desafio muito grande quando falamos de obras de infraestrutura do porte das obras de metrô. Na ampliação da Linha 2-Verde, por exemplo, nós executamos 94% do orçamento previsto. E, para este ano de 2024, temos o orçamento de 4,7 bilhões de reais para a expansão da rede, que representa 70% a mais do que foi investido em 2023. Contudo, é necessário reconhecer que o abandono das obras da Linha 17-Ouro pelo consórcio anterior comprometeu nosso percentual global de execução dos investimentos previstos. Algo que foi alheio à vontade e ao esforço do Metrô, porque a inexecução dos serviços ocorreu por conduta das empresas consorciadas. Seja como for, a primeira decisão relevante de nossa gestão foi exatamente a rescisão do contrato anterior e a retomada das obras. Hoje, o paulistano já percebe o movimento no canteiro de obras e o cenário da cidade se transformando no entorno da Linha 17-Ouro. Em 2026, enfim, o cidadão poderá ingressar no monotrilho pela estação do Aeroporto de Congonhas e se conectar à Linha 5-Lilás (Estação Campo Belo), ou à Linha 9-Esmeralda (Estação Morumbi). É nossa prioridade.

**BRASIL ENGENHARIA - Tomando como base suas afirmações, dá para sentir que você é um verdadeiro entusiasta por boas transformações. Como você explica esse ânimo que o move?**

**JULIO CASTIGLIONI** - Bem, é simples. Como administrador nesta empresa, como um especialista em infraestrut-

tura, tenho o desafio de olhar para a frente, liderar nosso talentoso corpo funcional para entregar eficiência e modernidade com serviços de excelência ao passageiro, além de expandir a rede, por meio de projetos ou da construção e ampliação de linhas, para que mais pessoas possam utilizar esse meio de transporte e todo o entorno ganhe com os benefícios.

**BRASIL ENGENHARIA - Finalmente, como profissional e pessoa, como você avalia a comemoração dos “50 Anos de Operação do Metrô de São Paulo”, ainda mais como executivo-chefe da Companhia?**

**JULIO CASTIGLIONI** - Sem dúvida, esse é um marco para São Paulo e para o Brasil. Há 50 anos o país teve seu primeiro sistema de metrô. É um orgulho poder contribuir com essa empresa que tem a inovação, a resiliência em seu DNA e que faz parte da vida das pessoas. Além de transportar seus passageiros com rapidez, segurança e confiabilidade, o Metrô traz qualidade de vida à toda região metropolitana. Foram 50 anos construindo uma relação de confiança e proximidade com a população, o que se tornou uma marca de São Paulo e um orgulho do paulistano que tem um sentimento de pertencimento muito forte em relação ao Metrô. O Metrô completa cinco décadas de operação como um “jovem senhor”, ao mesmo passo, experiente e atual. Não por outro motivo foi eleito pelo sétimo ano consecutivo, em pesquisa Datafolha, como o “Melhor Serviço Público de São Paulo”. E como o Metrô conquistou isso? Com o engajamento de profissionais altamente qualificados, com inegável densidade técnica. É comum ouvir que “o Metrô é uma escola” e isso nos enche de orgulho. Nos últimos vinte anos, seja como procurador do Estado de carreira, seja como executivo, venho tendo o privilégio de conhecer bons profissionais e bons projetos. Mas a honra de liderar o Metrô no aniversário de 50 anos de sua primeira operação é algo que transcende a habitual frieza do universo corpo-

rativo. É uma experiência que desafia e que, ao mesmo tempo apaixonava.

**BRASIL ENGENHARIA - E, esse conhecimento e paixão aprofundados, acredito, é o que vai continuar reafirmando o papel dessa Companhia no futuro. Mas qual é, exatamente, esse “futuro”?**

**JULIO CASTIGLIONI** - Estamos revisitando os propósitos dessa empresa para entender como ela pode fazer mais e melhor. Isso não é nenhum devaneio e precisa ser feito por qualquer acionista, seja ele público ou privado, para permitir que uma empresa possa continuar sendo relevante e não viva histórias de grandes corporações que não viram o movimento e acabaram sendo engolidas pelo tempo. Estamos estudando o futuro da operação, para

ver se é possível entregar mais com menos ao cidadão, ao passageiro, que está sempre na centralidade dos nossos propósitos. Só que essa resposta, nós ainda não temos. O que temos é o fato de que nosso acionista principal, o executivo estadual, se comprometeu com a maioria que o elegeu, em seu programa de governo, de

estudar possibilidades. Por isso, posso afirmar que não há uma decisão terminativa de nosso acionista principal em relação a isso. Porém, seja como for, sabemos que a política pública de transportes não é delegável, e o Metrô se especializou tanto, há tanto conhecimento aqui, que isso confere perenidade à Companhia”

estudar possibilidades. Por isso, posso afirmar que não há uma decisão terminativa de nosso acionista principal em relação a isso. Porém, seja como for, sabemos que a política pública de transportes não é delegável, e o Metrô se especializou tanto, há tanto conhecimento aqui, que isso confere perenidade à Companhia, segundo entendo. Por isso, minha aposta é de que essa empresa permanecerá viva como indutora do desenvolvimento da cidade e até do Estado, ainda que a operação de uma linha ou outra possa ser concedida, algo que, aliás, não terá sido inédito caso seja confirmado pelos estudos de modelagem. A densidade de seus engenheiros e técnicos na expansão do transporte e da mobilidade metropolitana, com sua resiliência e capacidade de se reinventar, são os traços que levarão o Metrô de São Paulo a desenvolver e a cumprir o seu importante papel nos próximos 50 anos e além. 🚇

**“Sabemos que a política pública de transportes não é delegável, e o Metrô se especializou tanto, há tanto conhecimento aqui, que isso confere perenidade à Companhia”**

## Uma vitória compartilhada

*A lógica nos ensina que quanto maiores os desafios, maior também tem que ser o planejamento para vencê-los, para que a conquista seja compartilhada, para o bem de todos. E o Eng. Paulo Sérgio Amalfi Meca, atual diretor de Engenharia e Planejamento do Metrô de São Paulo, nos explica como essa equação tem que funcionar.*



FOTOS: MÂRCIA ALVES / METRÔ-SP



*Paulo Sérgio Amalfi Meca*  
Diretor de Engenharia e Planejamento do Metrô de São Paulo

A cada dia que passa, o Metrô de São Paulo demonstra cada vez mais a sua grandeza e protagonismo na estrutura de transportes da metrópole paulista. Obra de magnitude impensável, que deu seus primeiros passos no final da década de 1960, e entregue à população da urbe há 50 anos, que se completam em setembro. Desde o princípio configurou-se como arrojada iniciativa suportada pela aplicação de soluções tecnológicas modernas e pela Engenharia de ponta, vencendo gigantescos desafios com o apoio de uma valorosa e competente equipe de profissionais abnegados, que na inexorável lógica da evolução constante, acabaram por se replicar, seguem se replicando, mas, sobretudo, sendo vencidos. Portanto, nada mais do que um processo natural, ao longo do cumprimento de um período que continua servindo de exemplo para o mundo.

Nesta exclusiva entrevista gentilmente concedida à revista **BRASIL ENGENHARIA** em meio à sua atribulada agenda, o Engº. Paulo Sérgio Amalfi Meca contou um pouco dessa trajetória iluminada. Graduado em Engenharia Elétrica pela Faculdade de Engenharia de São Paulo (Fesp), pós-graduado pela Fundação Instituto de Administração da Universidade de São Paulo (FIA/USP), com MBA em excelência gerencial, e especialização em conservação de energia e gestão ambiental pela *The Asso-*

*ciation for Overseas Technical Scholarship (AOTS)* do Japão, bem como em gerenciamento de projetos pela FIA/USP, ele ingressou na Companhia do Metropolitano de São Paulo (Metrô-SP) em 1988, na qual exerce atualmente o cargo de diretor de Engenharia e Planejamento, atuando no planejamento de transportes, licenciamento ambiental, projetos de Engenharia, bem como na implantação de novas linhas de metrô e monotrilho associadas ao sistema. Confira, então, o que a voz da experiência de Paulo Meca nos conta a partir de agora!

**– Paulo Meca, como está estruturada, e quais as responsabilidades da área que você comanda no Metrô de São Paulo?**

“A Diretoria de Engenharia e Planejamento da Companhia do Metropolitano de São Paulo – Metrô, elabora estudos de expansão dos transportes públicos na Região Metropolitana de São Paulo, e desenvolve a implantação de parte das soluções definidas pelo Governo do Estado como prioritárias. É importante ressaltar que, além do Metrô, existem outras empresas que participam na implantação dos serviços de expansão, como, por exemplo, a CPTM, a EMTU e as concessionárias. A diretoria possui três pilares básicos.”

**– Quais são eles?**

“O primeiro, representado por uma gerência que, além de desenvolver as alternativas para a rede futura – medindo seus impactos sociais, econômicos, operacionais e ambientais –, também desenvolve os anteprojetos de engenharia e arquitetura necessários para a contratação dos projetos básicos e os estudos de impacto ambiental, estes últimos necessários ao licenciamento ambiental dos nossos empreendimentos. O segundo, por uma gerência que é responsável pela guarda de todo conhecimento metroferroviário adquirido

ao longo de mais de cinco décadas, pelo desenvolvimento tecnológico do Metrô, pelo gerenciamento e desenvolvimento dos projetos básicos de arquitetura, civil, sistemas e material rodante e, também, por todas as providências necessárias para a obtenção das áreas necessárias para a implantação da infraestrutura de transporte dos empreendimentos sob responsabilidade do Metrô. E, por último, temos as gerências dos empreendimentos, que gerenciam a execução dos projetos executivos e respectivas implantações.”

**– E quais as principais conexões que a área que você comanda tem com as outras áreas do Metrô?**

**“Tive o privilégio de conviver com os desbravadores que participaram dos projetos, da implantação e do início de operação da Linha 1-Azul”**

“De maneira geral, nossa Diretoria se relaciona com todas as demais Diretorias, quer no que diz respeito ao apoio administrativo, quer às áreas de Recursos Humanos, Contratações, Jurídico e Financeiro, entre outras, bem como no apoio técnico junto à operação e manutenção nas etapas de desenvolvimento dos projetos.”

**– Sabemos que você está há cerca de 36 anos no Metrô de São Paulo. E mesmo não estando na “casa” quando a Linha 1-Azul foi inaugurada, deve conhecer bem as soluções e metodologias tecnológicas utilizadas na construção de uma obra inédita como essa, a primeira do Brasil. Onde os profissionais da época buscaram referências e o know-how para edificá-la?**

“Bem, tanto na Engenharia quanto em qualquer área do conhecimento, as escolas superiores têm função estratégica na capacitação de profissionais. São responsáveis por prover aos alunos não apenas os conceitos atualizados, mas, e principalmente, prepará-los para o autoaperfeiçoamento contínuo do aprendizado ao longo da carreira. Posso dizer que tive o privilégio de conviver com os desbravadores que participaram dos projetos, da implantação e do início de operação da Linha 1-Azul, alguns ainda em atividade na Companhia, dos quais foi possível absorver toda a tecnologia e conhecimento até então disponíveis, embora à época ainda não se usasse a expressão ‘Lições Aprendidas’. Desnecessário lembrar que, desde essa época, o Metrô de São Paulo contou com profissionais de excelência, que se debruçaram sobre toda literatura moderna que existia e realizaram diversas viagens, principalmente para Estados Unidos, Alemanha e França, para definir os projetos e os procedimentos que viriam a ser na sequência muito elogiados e premiados, lembrando também que técnicos de operação e manuten-

ção fizeram estágio no Metrô da Cidade do México para estruturar a operação, com características semelhantes às nossas.”

**– E quais foram os principais desafios que essa equipe venceu?**

“Sem dúvida, foram muitos. O primeiro deles foi o de convencer a sociedade da necessidade de iniciar a implantação de linhas de transporte público de grande capacidade, que demandam grandes investimentos. Outros foram, a execução de obras em túnel em convivência com áreas totalmente urbanizadas, e ainda a adoção

**“O primeiro uso de manta de geomembrana de PVC para impermeabilização de estações e poços foi aplicada na Linha 2-Verde”**

de novos sistemas, equipamentos e tecnologias hoje consolidados na cidade, tais como o uso massivo de escadas rolantes, que na época da implantação da Linha 1-Azul, poucas lojas e galerias utilizavam, o uso de catracas eletrônicas com bilhetes magnéticos para controle de acesso e arrecadação, não existentes nos sistemas de transporte, que utilizavam até então apenas a função do cobrador, e também a criação de sistemas de sinalização para controle e movimentação de trens. Esse último desafio, em especial, foi grandioso pois, na ocasião da definição pelo uso do *Automatic Train Protection* (ATP), e o *Automatic Train Operation* (ATO) aqui em São Paulo, eram duas tecnologias não utilizadas pela maioria dos sistemas metroferroviários, exceto de forma limitada. Nosso ATO foi o segundo, logo após a implantação do metrô de São Francisco, nos Estados Unidos, e que usamos como modelo, a permitir a operação automática dos trens, tendo o operador apenas para controle de embarque/desembarque e monitoramento dos sistemas. Além desses, posso ainda destacar os sistemas de telecomunicações por meio de circuitos fechados de televisão, rádio VHF, centrais

telefônicas automáticas e sistemas de audição pública para grandes ambientes, o desenvolvimento de manuais de treinamento e a habilitação de todo o corpo técnico para a operação e manutenção de sistemas para atividades complexas e até então pouco usuais, bem como o desenvolvimento do projeto com redundância suficiente para garantir o suprimento contínuo de energia elétrica, a partir da rede de alta tensão da concessionária.”

**– Com o avanço e as inovações de Engenharia, nestes últimos 40-50 anos, naturalmente,**

**houve muita evolução nessas soluções. Quais foram, a seu ver, os mais icônicos e emblemáticos avanços nesse sentido ao longo de todo esse tempo?**

“Já na implantação da Linha 1-Azul ocorreram algumas inovações, com a escavação dos túneis do trecho entre as estações Luz e Liberdade por meio de quatro equipamentos, tuneladoras, popularmente denominadas de ‘tatuzões’, para vias singelas com cerca de 6m de diâmetro. Outra novidade, na época, foi a execução de paredes diafragmas de concreto armado como paramento (parede) para contenção do maciço durante a escavação da vala da Estação São Bento, uma vez que a maioria das demais escavações em vala foram em perfis metálicos cravados e pranchões de madeira. Na execução dos túneis da Linha 3-Vermelha a novidade foi o desenvolvimento de anéis de concreto armado, aplicados pelas mesmas tuneladoras da Linha 1-Azul, uma vez que até aquele momento os anéis eram de ferro fundido e aço. Outro destaque foram os anéis expandidos de concreto armado, sem parafusos, utilizados por tuneladora fabricada no Brasil, no trecho de túneis singelos na Av. Paulista, en-



tre as estações Consolação e Paraíso. Merecedor de registro, foi ainda o primeiro uso de manta de geomembrana de PVC para impermeabilização de estações e poços, aplicada na Linha 2-Verde, no trecho entre as estações Ana Rosa e Vila Prudente. E esse tipo de impermeabilização com manta foi generalizado na construção da Linha 4-Amarela. Outra aplicação de destaque para época, foi a utilização do *New Austrian Tunneling Method* (NATM) em áreas urbanas para construção de túneis de vias no pequeno trecho de prolongamento da via, após a estação terminal Santana, para instalação do Aparelho de Mudança de Via (AMV), que foi posteriormente aplicado no trecho de túneis até a Estação Tucuruvi. Aliás, esse processo de escavação de túneis foi aplicado para construção de várias estações subterrâneas, em locais que a escavação em vala não foi possível. E na construção da Linha 5-Lilás é relevante destacar a utilização de cinco poços circulares múltiplos para escavação de estações em vala, com aplicação de concreto projetado ou paredes diafragma como paramento, após a experiência positiva na escavação de vários poços de saídas de emergência e ventilações das vias nas linhas 2-Verde, 3-Vermelha e 4-Amarela.

**– E o que se poderia destacar hoje como estágio de continuidade dessa evolução? E o que se pode esperar em projetos futuros?**

“Atualmente, o trecho entre as estações Vila Prudente e Penha, que está em implantação, tem como destaque de inovação tecnológica a aplicação vários processos de escavações subterrâneas para implantação das estruturas, tais como túneis construídos por equipamentos (tuneladoras) e NATM, estações executadas em vala à céu aberto tradicional ou por poços circulares múltiplos, e ainda por poços e túneis NATM de grandes dimensões. Em relação aos projetos futuros, é prevista a utilização de escavações de túneis com diâmetros maiores, para acomodar plataformas de estações, salas técnicas e estacionamento de trens.”

**– Embora dizer isso possa parecer redundante àquilo tudo que você respondeu na pergunta anterior, hoje se pode dizer que a tecnologia aplicada nas construções das linhas atingiu o que poderia ser considerado legitimamente a conquista do “Estado da Arte” e/ou “Exemplo para o Mundo” para a realização de obras semelhantes?**

“Não gosto dessa forma de caracterizar um projeto. Sempre o que se busca é o “Estado da Arte”, mas este, como o próprio nome diz, é temporal. O projeto que hoje se encaixa

nessa definição, em pouco tempo terá itens para aperfeiçoamento. Assim caminha o conhecimento, o que é exemplar ou magistral hoje, dentro de um certo período histórico poderá ser elemento de museu, e nunca perderá todo o mérito pelo

**“É relevante destacar a utilização de cinco poços circulares múltiplos para escavação de estações em vala, com aplicação de concreto projetado”**

que representou no caminho do desenvolvimento. Mas, sim, sempre procuramos estar alinhados com o “Estado da Arte”. Como exemplo posso citar as telecomunicações. Na implantação da Linha 1-Azul foi utilizado o que havia de mais moderno, como o Circuito Fechado de Televisão

em preto-e-branco, e Rádio VHF para comunicação com os trens e rede própria de telefonia. Hoje tais sistemas estão totalmente obsoletos, principalmente quanto à evolução dos Sistemas Digitais.”

**– E em que direções ainda se pode evoluir nesse sentido? Ou seja, que tipos de novas tecnologias e metodologias estão surgindo e podem ser implementadas tanto na construção de novas linhas no futuro quanto gerar possíveis aperfeiçoamentos técnicos nas já existentes?**

“Bem para responder isso, vou me ater às tecnologias metroferroviárias. No campo da Engenharia Civil, continuam em pleno desen-

volvimento os métodos de escavação, como, por exemplo, a utilização de tuneladoras de grande diâmetro, que permitirão acomodar as plataformas e salas técnicas, estacionamentos ao longo das vias, e até mesmo para outros usos como oferta de serviços ou comércio. E vale ressaltar que a tecnologia de concreto tem evoluído muito, com o desenvolvimento de concreto de alta resistência, que permite a utilização de peças mais leves e esbeltas. Já, no que se refere ao tráfego, as tecnologias permitem cada vez mais elevar a oferta de lugares por meio da automação dos sistemas e por consequência na redução do *headway* (intervalo entre trens), agregando ainda redução de custos operacionais, sem nunca abdicar da segurança. Outra busca permanente é a redução do consumo energético, por meio do uso de equipamentos e sistemas mais eficientes, além das iniciativas para adoção de novas fontes de energia. E ainda, dentro do ciclo de vida de uma linha, para gestão e monitoramento da elaboração de projetos e implantação de obras, são adotadas metodologias preconizadas pelo *Project Management Institute* (PMI). Para o desenvolvimento dos projetos, o uso de modelos integrados de construção, como o *Building Information Modeling* (BIM), permitem redução significativa de retrabalhos e prazo de entrega, pois a integração das diversas disciplinas ocorre quase que instantaneamente.”

**– Embora a convivência com cortes de investimentos em projetos do Metrô de São Paulo possa ser uma realidade, como vocês conseguem – ou pretendem conseguir – atingir níveis de excelência em termos de planejamento ainda maior nas linhas já instaladas, naquelas em expansão e nas futuras, que estão em estudos?**

“Veja bem, em primeiro lugar, é preciso esclarecer que o Metrô não realiza corte ou ampliação de

investimentos. Seguimos as verbas definidas na Lei Orçamentária. Às vezes, ao longo do exercício, algumas alterações são introduzidas, a pedido do próprio Metrô ou do Governo do Estado, que é o acionista majoritário e define as prioridades.

Atualmente, para os projetos futuros, temos avançado até o limite dos projetos básicos, aguardando a definição do governo quanto à sequência de implantação da infraestrutura. Assim sendo, as linhas que operamos – a saber, a Linha 1-Azul, a Linha 2-Verde, a Linha 3-Vermelha e a Linha 15-Prata – são sempre passíveis a melhorias tecnológicas, como implantação de portas de plataforma, incremento nos sistemas de sinalização, modernização do sistema de arrecadação, e por aí vai.”

**– OK! Mas o que existe de efetivamente aprovado nesse sentido?**

“Como investimentos já autorizados e em execução, temos a Linha 2-Verde, que está com sua expansão em implantação em direção à Penha, em uma primeira etapa, e até Guarulhos em uma segunda etapa; a Linha 15-Prata que está atualmente em expansão até a Estação Jacu-Pêssego para Leste e Ipiranga para Oeste; e a Linha 17-Ouro em implantação entre o Aeroporto de Congonhas e a Marginal do Rio Pinheiros.”

**– E em termos de projetos?**

“Estamos, simultaneamente, desenvolvendo estudos e projetos para as Linhas 16-Violeta, 19-Celeste (essa já com os projetos básicos concluídos), a 20-Rosa, a 22-Marrom, e a extensão Cerro Corá da Linha 2-Verde. E é importante destacar que sempre, em paralelo, estamos desenvolvendo todos os estudos de rede. As linhas 4-Amarela e 5-Lilás estão sob concessão e, portan-

to, não a cargo da Companhia do Metropolitano de São Paulo. Mas, se formos acionados pelo Estado, podemos participar das etapas de expansão. Como se pode observar, muito trabalho a ser feito!”

**– E como você vê o futuro do Metrô de São Paulo e da área de Engenharia da Companhia no que tange à ampliação da oferta de mobilidade à população de São Paulo? Existe algum outro projeto no radar e como vocês estão se preparando para enfrentar os novos**

**desafios que certamente virão nesse sentido?**

“Os aspectos técnicos de Engenharia, urbanísticos, sociais ou ambientais não me preocupam. Hoje, os grandes dilemas residem na capacidade de investimento e no estabelecimento de tarifas que suportem o custeio da operação. Acredito, e até torço, para que, em um futuro próximo, surjam soluções para que projetos associados à infraestrutura de transporte possibilitem a aceleração da expansão e o incremento de verbas não tarifárias, como forma de redução de subsídios.”

**– Finalmente, qual o seu sentimento relacionado à comemoração dos 50 Anos de operação do Metrô de São Paulo?**

“Pessoalmente, tem sido um grande privilégio fazer parte da história desta extraordinária instituição, na qual muito aprendi e para a qual tanto me dediquei, e que mantém acesa a chama para atender à população com excelência. Nossos colaboradores ficam orgulhosos em ‘vestir a camisa’ do Metrô, e são conscienciosos quanto ao papel que desempenham na preservação desse imenso patrimônio, que a população de São Paulo aprendeu a admirar.” 🚇





O Metrô-SP conta com um laboratório de Inovação em São Paulo, Metrolab

## DO PIONEIRISMO À MATURIDADE NA GESTÃO

*Sempre atenta com a inovação aplicada à gestão, a Diretoria de Assuntos Corporativos do Metrô de São Paulo, atua no desenvolvimento de projetos sempre e cada vez mais ousados para atendimento das demandas dos milhões de passageiros que, diariamente, fazem uso de seus serviços.*

**E**xercendo um papel fundamental na estrutura da Companhia do Metropolitano de São Paulo, a Diretoria de Assuntos Corporativos da empresa responde pela gestão ligada à corporação na parte societária, relação com os conselhos de Administração e Fiscal, além do Conselho de Defesa dos Capitais do Estado (Codec). Também é responsável pela estruturação do Metrô-SP para atendimento das diretrizes da Lei 13.303/2016 (Lei das Estatais), e pelas atribuições das gerências de Compras e Contratações, Recursos Humanos, Tecnologia e da Universidade Corporativa UNIMETRO.

Atualmente, a área está sob o comando do economista **Alfredo Falchi Neto**, graduado em 1978 pelo Centro Universitário FMU, experiente profissional que, por muitos anos, atuou na Eletropaulo, empresa na qual ocupou as funções de chefe

da Divisão de Compras de Equipamentos, gerente do Departamento de Gestão de Materiais e Superintendente de Administração e Qualidade de Material. Ingressou no Metrô-SP em 1999, como assistente da Diretoria Administrativa, posteriormente atuando como gerente de Recursos Humanos, gerente de Infraestrutura e Pessoal, até chegar ao cargo que ocupa hoje, em março de 2015.

Nesta entrevista exclusiva à Revista **BRASIL ENGENHARIA**, Falchi – conhecido carinhosamente por muitos como o “Patrono da Inovação do Metrô” – fala, entre outras coisas, sobre a evolução contínua das soluções de gestão da Companhia do Metropolitano de São Paulo, que levou o modal ao seu atual e superlativo estágio de atendimento aos milhões de passageiros que o utilizam diariamente com segurança, qualidade e eficiência de transporte, para chegarem aos seus destinos. Confira!

**– Falchi, quais as responsabilidades da área que você comanda na Companhia do Metropolitano de São Paulo, e como ela está estruturada? E quais as conexões que ela tem com as áreas de Operação e Engenharia?**

“Atualmente, respondo pela Diretoria de Assuntos Corporativos da Companhia, que, conforme suas atribuições, está estruturada para atender a todas as demandas e processos comuns do Metrô, incluindo aí a Diretoria de Operações e a Diretoria de Engenharia e Planejamento, bem como a da Diretoria de Recursos Humanos (admissões, atividades de desenvolvimento/ treinamento, e outros assuntos ligados ao seu quadro de pessoal), Compras e Contratações, Recursos de Infraestrutura Administrativa e Tecnologia da Informação. Além disso, a Diretoria de Assuntos Corporativos atua na governança corporativa junto à Diretoria Colegiada, ao Conselho de Administração, ao Conselho Fiscal, ao Comitê de Auditoria Estatutário e à Assembleia Geral de Acionistas, apoiando esses grupos em seus processos decisórios. Também mantemos uma área estratégica de Inovação, que abre oportunidades e horizontes para todas as áreas do Metrô, especialmente para as áreas de Engenharia e Operação. Para isso, contamos com um laboratório de Inovação em São Paulo (Metrolab), e uma sala no Parque de Tecnologia de São José dos Campos (MetroHUB), que faz parte de um ecossistema mais amplo de inovação, com a presença de *startups*, empresas de tecnologia e parceiros de governo, possibilitando o desenvolvimento de projetos inovadores em gestão, energia e tecnologias aplicadas ao Metrô.”

**– E no âmbito do posicionamento estratégico da Companhia, vocês exercem alguma função específica?**

“Basicamente, em sua totalidade, as atividades como fornecimento de subsídios ao Conselho Administrativo da Companhia, com análises de oportunidade de negócio, desenho de políticas e processos para criação de fluxos da área, levantamentos e análise de informações sobre os aspectos econômicos e financeiros, a fim de contribuir na elaboração de planos de ação para alcance dos objetivos da empresa, são desenvolvidas no Metrô por uma área subordinada à Presidência. Mas, quando solicitada, cabe à Diretoria de Assuntos Corporativos também subsidiá-la com informações relacionadas ao Planejamento Estratégico da empresa.”

**– Ao longo dos 50 anos de operação do Metrô-SP, naturalmente houve não só avanços significativos nos aspectos tecnológicos, como também inovações relacionadas ao aspecto de gestão corporativa da Companhia. Quais foram, a seu ver, os maiores desafios vencidos nesse sentido, e o encaminhamento de soluções eficientes para vencê-los? E quais foram as principais fontes de referência?**

“De fato, experimentamos nas últimas décadas grandes desafios relacionados às transformações tecnológicas e inovações na gestão corporativa do Metrô. Dado o ineditismo desse tipo de obra, o Metrô sempre procurou recorrer às empresas globais de referência em tecnologia metroferroviária e, ao mesmo tempo, desenvolver no país a produção de itens e tecnologias que pudessem ser adotados na implantação das novas linhas. A necessidade de construir o Metrô levou ao desenvolvimento de uma mão de obra especializada, parte dela utilizada na indústria, outra parte focada em projetos e execução das obras. O desenvolvimento profissional interno tem sido uma responsabilidade direta do Metrô, por meio

**– E quais as metas de evolução nesse sentido?**

“Acreditamos que o modelo híbrido de trabalho – presencial e virtual – traz benefícios tanto para a empresa quanto aos seus empregados. Nesse sentido, estamos trabalhando com mais foco na capacitação das lideranças da empresa, desenvolvendo nos gestores novas habilidades e competências, mais aderentes ao novo modelo de trabalho híbrido.”

**– Qual é, atualmente, a importância e o papel atual da inserção das práticas de governança no âmbito da ESG na vivência da Companhia?**

“O Metrô de São Paulo possui uma vocação inata em práticas de governança, identificadas como ESG. Em 2021, lançamos o nosso GUIA ASGI (Ambiental, Social, Governança e Integridade), conectando as ações de governança ESG ao Plano de Negócios Anual e ao Planejamento Estrat



Alfredo Falchi Neto, Diretor de Assuntos Corporativos do Metrô-SP

**estão se preparando para enfrentar os novos desafios que certamente virão nesse sentido?**

“Para fazer frente aos diversos desafios empresariais, o Metrô de São Paulo elaborou um Planejamento Estratégico de curto e longo prazo, que estabelece como missão ‘conectar pessoas e lugares por meio de uma rede de mobilidade sustentável, gerando qualidade de vida’. Essa declaração de missão está suportada por vários projetos estratégicos de Gestão, Operação, Engenharia e Obras, focados na ampliação da oferta de mobilidade urbana, e consequentemente, na melhoria da qualidade de vida da população de São Paulo.”

**– Finalmente, qual a sua sensação pessoal relacionada ao importante atingimento da marca dos “50 Anos de Operação do Metrô de São Paulo”?**

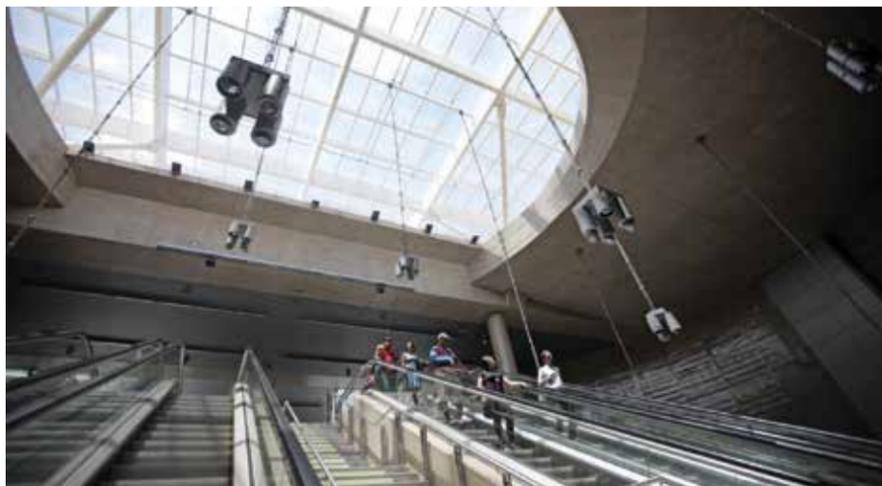
“A oportunidade de trabalhar, desde 1999, no Metrô de São Paulo, me permitiu participar de uma história repleta de desafios e sucessos em uma empresa de referência mundial, reconhecida pela população da cidade de São Paulo, por sua excelência operacional e de serviços de mobilidade. E vale ressaltar que, neste ano de 2024, quando, na verdade, o Metrô-SP completa 56 anos de existência, outro marco importante que estamos comemorando é a conquista, pelo sétimo ano consecutivo, do prêmio de ‘Melhor de São Paulo’, conferido pela Folha de S. Paulo/ Datafolha, um reconhecimento que reflete os esforços da Companhia do Metropolitano em oferecer um transporte eficiente e de qualidade aos seus passageiros. Assim, é uma grande honra e uma grande satisfação poder fazer parte dessa história de sucesso!”

**“Diante de tantas transformações e inovações foi necessário investir em uma ampla estratégia de treinamentos dos empregados do Metrô”**

tégico de Longo Prazo do Metrô. Com isso, a Companhia desenvolveu projetos relacionados à diminuição do consumo de água potável, diminuição de emissão de gases de efeito estufa; aumento da eficiência energética; atendimento as famílias em situação vulnerável; conscientização sobre conduta e integridade; melhoria do Clima Organizacional; e aumento da extensão da rede metroferroviária, entre outros.”

**– Sem dúvida alguma, a comunicação com a população é parte essencial do trabalho que você e sua equipe desenvolvem no sistema, ainda mais sendo o serviço do Metrô-SP tão essencial para essas pessoas. Qual a ingerência da área que você comanda nesse processo?**

“A responsabilidade de comunicação da Diretoria de Assuntos Corporativos é restrita aos seus empregados. A comunicação externa, que abrange a população,



Um serviço público pode ser oferecido com altos níveis de qualidade e eficiência

## EXEMPLO PARA O MUNDO, PATRIMÔNIO DE SÃO PAULO

Em entrevista exclusiva à Revista BRASIL ENGENHARIA, o titular da Diretoria de Operações da Companhia do Metropolitano de São Paulo – Metrô, fala, entre outras muitas coisas, de seu “orgulho de pertencer” ao vitorioso time de colaboradores da empresa, que é referência global no transporte urbano de passageiros.

Definitivamente, o Metrô de São Paulo faz parte da vida não só dos milhões de passageiros que utilizam seus serviços para irem ao trabalho, às compras, para visitar entes queridos e cumprir toda a sorte de compromissos que eles têm em sua rotina diária, contando sempre com comodidade, pontualidade e segurança no transporte. E isso, em grande parte, explica o amor que os habitantes da metrópole paulista têm por ele, que só aumenta a partir dos aperfeiçoamentos que o modal recebe de forma constante e contínua da Companhia, para estreitar cada vez mais tais laços de relacionamento.

E é por isso também, que esse sentimento é sempre compartilhado por todos aqueles que, mesmo morando e vivendo fora dos limites da urbe, chegam a ela simplesmente para visitá-la, e sentem uma espécie de necessidade “obrigatória” de conhecer o Metrô-SP, e vivenciar a experiência única e diferenciada de viajar pelos trilhos de seus trens, que têm a capaci-

dade de transportá-los para um múltiplo universo de destinos.

“Por conta disso, mais do que um patrimônio sociocultural da nossa metrópole, e motivo de orgulho para a população paulistana, o Metrô-SP configura-se também como uma verdadeira referência mundial, mostrando que um serviço público pode ser oferecido com altos níveis de qualidade e eficiência. ‘Orgulho de pertencer’ é a síntese do que sinto, e daquilo que define a minha relação com esta reconhecida empresa”, exalta **Fábio Siqueira Netto**, atual diretor de Operações da Companhia do Metropolitano de São Paulo - Metrô.

Formado em Ciências da Computação com especialização em TI pela Universidade de São Caetano do Sul, com mestrado em Engenharia Elétrica e Eletrônica/ Telecomunicações pela Universidade Presbiteriana Mackenzie, e, ainda, especialização em Tecnologia Metroferroviária pela Universidade de São Paulo, sendo também bacharel em Engenharia da Computação pelo Centro Universitário Fundação Santo

André, e em Administração de Negócios pela Fundação Dom Cabral, Siqueira está no Metrô-SP há mais de 33 anos, no qual passou por várias áreas ligadas à Manutenção, Operações e Sistemas das linhas, atuando a partir da Estratégia e Plano de Negócios e objetivos e metas estabelecidas pela Companhia. Como não poderia ser diferente, dono desse portentoso currículo, Siqueira é um hábil especialista em Estratégias, Resultados, Conexões, Gestão de Pessoas, Engenharia, Manutenção, Transformação Digital e Inovação.

Líder experiente em negócios multidisciplinares no setor de mobilidade urbana, na Diretoria de Operações do Metrô trabalha a partir de três objetivos estratégicos: melhoria do desempenho operacional dos sistemas ofertados; melhoria da imagem do serviço; e redução do custo. No cargo, suas ações contemplam capacitação dos operadores para atuação mais rápida e eficaz; melhoria dos processos de operação preventiva e corretiva dos trens; atendimento do empregado e oferta de um ambiente de qualidade aos clientes e empregados da Companhia; implementação de modelo de prestação de serviço voltado à gentileza cordialidade e cortesia; e otimização dos itens de custeio mais significativos, buscando a redução sustentável deles sem comprometer a qualidade dos serviços prestados. E mesmo em meio a tantas atribuições, ainda encontra tempo para ser professor universitário em diversas disciplinas tecnológicas, e palestrante sobre o futuro do trabalho, com foco na preparação de jovens para as demandas dos mercados emergentes. Sem falar que, apaixonado pelos esportes, atua também como gestor amador de carreiras de atletas de futebol de base.

Nesta entrevista exclusiva à Revista BRASIL ENGENHARIA, ele fala um pouco sobre tudo isso: acompanhe!

**– Siqueira, você trabalha há mais de três décadas na Companhia do Metropolitano de São Paulo - Metrô, e embora não tenha participado diretamente do início da operação comercial do modal, há 50 anos, deve estar a par dos desafios que as equipes de Engenharia do Metrô enfrentaram para materializar essa gigantesca obra. Na sua visão, quais foram os principais?**

“Bem, os principais desafios encontrados pelas equipes de Engenharia do Metrô-SP, na época em que começaram os projetos e obras do primeiro trecho da atual Linha 1-Azul, no final da década de

1960 e início dos anos de 1970, eram justamente aqueles ligados ao ineditismo do empreendimento. E esses permeavam desde o planejamento até a operação do sistema. E muitas estratégias foram adotadas para superá-los.”

**– E, no seu entendimento, quais foram objetivamente os mais emblemáticos entre eles, e como foram vencidos?**

“Em minha opinião, quando olhamos sob a ótica técnica da Engenharia, entre todos os desafios destacaria dois, que foram decisivos para o sucesso do empreendimento, pontos esses que tive o privilégio de aprender com os profissionais que trabalharam no início dos projetos e das obras do Metrô. O primeiro deles foi a escolha do *benchmark* que seria usado como a referência tecnológica de Metrô. Na ocasião, foi feita a opção pelo BART, acrônimo de *Bay Area Rapid Transit*. Mesmo no final dos anos 1960, o sistema do BART já apresentava um nível de automatismo surpreendente: acelerava, freava e controlava as portas dos trens por computadores embarcados, os quais obedeciam a uma programação centralizada de despachos que seguia a programação horária, e que podia ser ajustada conforme a necessidade. Era uma tecnologia totalmente nova que rapidamente conquistou os profissionais locais. Já o segundo ponto importante diz respeito justamente aos profissionais que trabalharam no início do Metrô, nas mais diversas frentes, pois a estratégia bem-sucedida de escolha dessas pessoas é que selou o destino vitorioso do projeto, e pavimentou o caminho para chegarmos aos nossos 50 anos de operação. Excelentes profissionais foram trazidos dos setores mais complexos da indústria e de serviços, boa parte vinda da siderurgia, da aviação e até das forças armadas. Muitas habilidades e experiências di-

**“A população paulista pode ter certeza de que, ao entrar em uma linha do Metrô-SP, ela terá a seu serviço um time que ama o que faz”**

ferentes foram combinadas para que houvesse excelência em todas as etapas, desde o planejamento das obras até a operação do sistema. Esse time estabeleceu uma cultura de excelência técnica que permanece viva até os dias de hoje, e que é reconhecida mundialmente.”

**– No cargo que ocupa hoje, você tem uma extensa e impressionante lista de atribuições e responsabilidades, entre elas, a definição estratégica do negócio,**



Fábio Siqueira Netto, Diretor de Operações do Metrô-SP

**na construção de sinergias entre áreas e na eficiência – abrangendo a gestão operacional, financeira e, ainda, a experiência do cliente – na liderança de projetos voltados não só à manutenção do sistema, como também à comunicação da Companhia e, ainda, ao desenvolvimento e à efetiva aplicação de novas tecnologias nele. Visando sempre à conquista da excelência, como é coordenar os trabalhos de tantas frentes juntas em um modal de transporte tão importante e fundamental para a população de São Paulo?**

“Sem dúvida, esse é um enorme desafio diário, até porque todas essas atribuições se alinham e fazem parte de um conjunto maior de responsabilidades que o posto de Diretor de Operações do Metrô de São Paulo precisa desempenhar. Falando especificamente do atendimento aos clientes que utilizam o

nosso serviço, um montante por volta de 3 milhões de vezes ao dia, nos preocupamos principalmente com a perspectiva da experiência de mobilidade que eles vivem em nosso sistema, agregando produtos e serviços que impactem positivamente a qualidade de vida dos nossos passageiros. Nesse sentido, todos os tipos de ferramentas tecnológicas, inovações, comunicações e processos são avaliados constantemente para oferecer a melhor experiência aos nossos clientes. Porém, vale destacar que o

capital humano do Metrô de São Paulo é o nosso bem maior, e as experiências dos colaboradores também entram na estratégia e no desenho da entrega de valor aos nossos passageiros.”

**– E que sentimento pessoal isso traz para você?**

“Falando especificamente sobre mim, posso dizer que o orgulho de trabalhar no Metrô não cabe dentro do peito. Nesta empresa nós temos a oportunidade de experimentar a verdadeira arte de servir, de entender profundamente o significado da palavra ‘propósito’, e de saber que o nosso trabalho impacta a vida de milhões de pessoas, com a consciência do tamanho da responsabilidade que isso implica. E isso, vale lembrar também, que estamos vivendo momentos de grandes transformações na sociedade, o que, naturalmente, tem impactos na forma como trabalhamos. Mas a população paulista pode ter certeza de que, ao entrar em uma linha do Metrô de São Paulo, ela terá a seu serviço um time que ama o que faz, e que está atento para sempre oferecer o melhor, honrando o legado de excelência em transporte de todos aqueles que se dedicaram por cinco décadas a esta empresa, colocando-a entre as melhores do mundo no âmbito do setor metroferroviário.”

**– E deve ser muito bom saber que tal sentimento, sem dúvida, é compartilhado por todos aqueles que, diariamente, fazem uso do Metrô São Paulo, não é mesmo?**

“Verdade. O Metrô é um patrimônio sociocultural da cidade de São Paulo, além de ser motivo de orgulho para a população paulistana, configura-se também como uma verdadeira referência mundial, mostrando que um serviço público pode ser oferecido com altos níveis de qualidade e eficiência. E esse orgulho da população de poder contar sempre com ele por aqui se manifesta de diversas formas, algo que se observa desde a constatação de que o Metrô de São Paulo é um local obrigatório de visita para quem busca conhecer a nossa cidade, e até pela sincera emoção que sentimos em ver uma nova vida surgir quando mulheres que entram em trabalho de parto em nossas estações, podem ter sempre a certeza de que contarão com o apoio e o suporte de nossas equipes de colaboradores nessa hora tão importante e emblemática em suas vidas. Assim, ‘orgulho de pertencer’ é a síntese do que sinto, e daquilo que define a minha relação com esta reconhecida empresa.” 📌



Obras de expansão da Linha 2-Verde do Metrô-SP

## UMA OBRA PARA FICAR E SEGUIR SEMPRE EM FRENTE

Em entrevista exclusiva à Revista BRASIL ENGENHARIA, Paulo Menezes Figueiredo, atual titular da Diretoria de Finanças e de Relações com Investidores do Metrô de São Paulo, fala do passado, do presente e do auspicioso futuro da Companhia.

**S**em dúvida alguma, a Diretoria de Finanças e de Relações com Investidores da Companhia do Metrô de São Paulo é uma das áreas mais emblemáticas da empresa. Basicamente, o setor administra os recursos dela, incluindo o controle da Tesouraria, dos investimentos e dos riscos, além do planejamento financeiro e divulgação de resultados, sempre em busca da eficiência operacional, a sustentação financeira independente da Companhia e, ainda, a ampliação das receitas não-tarifárias.

Para tanto, na prática a divisão é constituída por três Gerências in-

terativas. A primeira é a Gerência de Controladoria (GCT), responsável pela Contabilidade, elaboração e acompanhamento do orçamento econômico e planejamento fiscal e tributário. A segunda, é a Gerência de Execução Financeira (GEF), que cuida da Tesouraria, de responder pelas informações financeiras de todos os contratos da Companhia do Metrô, bem como pela execução financeira de arrecadação e comercialização. Finalmente, vem a Gerência de Planejamento Financeiro (GPF), responsável por administrar o planejamento econômico-financeiro, elaborar a programação orçamentária financeira de investimentos, custeio

e receitas, e desenvolver estudos de viabilidade econômico-financeiro.

“Assim, essa tríade de Gerências tem total conexão não só com as áreas de Operação e Engenharia, como também com todas as áreas da Companhia, visto as características de suas atribuições”, sintetiza Paulo Menezes Figueiredo, atual titular da Diretoria de Finanças e de Relações com Investidores do Metrô-SP.

Formado em Administração pelo Centro Universitário FMU | FIAM-FAAM, em Direito, pela Universidade Paulista, Menezes é dono de um extenso currículo na esfera pública, tendo exercido, entre outros cargos, o de assessor da Comissão de Monitoramento de Concessões e Permissões da Secretaria de Transportes Metropolitanos de São Paulo, diretor administrativo financeiro, conselheiro e presidente do Conselho da Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos de São Paulo (EMTU/CMCP). Na Companhia do Metrô de São Paulo, foi diretor financeiro, e chegou à posição de presidente, durante parte da gestão de Geraldo Alckmin, entre setembro de 2015 e janeiro de 2019, retornando à empresa em fevereiro de 2022, para ocupar seu atual cargo.

Nesta entrevista exclusiva à Revista BRASIL ENGENHARIA, Paulo Menezes Figueiredo fala do passado, do presente e do que vem por aí, para dar continuidade à bem-sucedida e magnífica trajetória no Metrô-SP, no âmbito da prestação de serviços de excelência à população da metrópole paulistana, no coração da qual o modal ocupa um enorme lugar de destaque. Acompanhe!

**– Menezes, é sabido que o período da pandemia da COVID-19 ocasionou sérios impactos na operação e nos resultados financeiros do Metrô-SP. O Relatório de Demonstrações Financeiras da Companhia, emitido em 31 de dezembro de 2021, relatou um prejuízo de 759 milhões de reais. Contudo, essa cifra representou redução de 55% em relação ao período comparativo, quando o prejuízo foi 1,7 bilhão de reais em 2020, provavelmente a maior queda de faturamento no histórico da empresa. Quais foram as soluções que vocês**

**utilizaram para começar a reverter a queda de 2020, qual foi essa dinâmica em 2022, e qual a situação financeira atual da Companhia?**

“Em 2021, a Companhia promoveu uma intensificação de ações internas visando à redução do custo operacional. Além disso, também houve o recebimento de aportes de subvenção para custeio (R\$ 559 milhões), e alienação de ativos (R\$ 80MM, líquidos). Em 2022, houve recuperação na ordem de 40% da receita bruta e o déficit de liquidez foi coberto com de 400 milhões de reais de emissão de debêntures.”

**– E como isso evoluiu no ano de 2023?**

“No ano passado, os resultados, que já foram divulgados, demonstraram estabilidade nos custos e leve aumento da receita, o que promoveu uma redução do prejuízo em aproximadamente 23% em relação a 2022, chegando a 900 milhões de reais. Entretanto, também houve a cobertura do déficit de liquidez pelo acionista, por meio de subvenções para custeio de aproximadamente 318 milhões de reais.”

**– E de que forma as receitas não tarifárias contribuíram para essa recuperação, entre as quais as de publicidade e de venda de naming rights? Quais foram os percentuais?**

“As receitas não tarifárias responderam por 12,3% da receita bruta da Companhia, sendo que as receitas de publicidade representam aproximadamente 26% da receita bruta, ou 76 milhões de reais em 2023.”

**– E quais são os atuais planos do Metrô de São Paulo**

**para continuar aumentando suas receitas em 2024 e além? Que estratégias vocês pretendem implementar para atingir esse objetivo?**

“Bem, daremos continuidade aos esforços visando ao incremento das receitas não tarifárias a partir da manutenção de nosso foco em alvos bem definidos. Entre eles, o Telecom; a exploração de novas oportunidades comerciais nas linhas 15-Prata, 2-Ver-



Paulo Menezes Figueiredo, Diretor de Finanças e de Relações com Investidores do Metrô-SP

de (expansão), 19-Celeste e 20-Rosa (contratação de estudos mercadológicos para a maximização das receitas futuras); a concessão de espaços comerciais dentro das estações; e, ainda, a prestação de serviços”.

**– Você tem uma longa e respeitabilíssima carreira na vida pública, tendo, inclusive, exercido por um período a Presidência do Metrô de São Paulo. Em linhas gerais, como você avalia a evolução desse modal essencial de transporte ao longo dos seus 50 Anos de operação comercial?**

“Desde a sua fundação, o Metrô de São Paulo presta relevantes serviços à população, tendo como suas principais características a qualidade, a pontualidade e a segurança no transporte

de passageiros. A base que dá sustentação para tal prestação de serviços está na qualificação e comprometimento de seus colaboradores.”

**– Nesse sentido, quais são as perspectivas futuras dele no âmbito das finanças, notadamente a partir da materialização dos novos projetos da Companhia?**

“Veja bem, a continuidade da expansão da rede Metroviária em São

Paulo é inevitável e sem interrupções. Para isso, a excelência da gestão da Companhia do Metrô será fundamental para promover essa continuidade, tanto na sua função de planejamento de rede quanto no gerenciamento, na implantação e no suporte operacional das linhas futuras.”

**– Em fevereiro de 2023, o Metrô de São Paulo divulgou uma previsão de investimentos recorde de 5,6 bilhões de reais na expansão de suas operações. Contudo, em face à realidade, isso acabou não acontecendo, em função de alguns reveses, o que levou a Companhia até a fazer um corte de investimentos em algumas linhas. Em termos atuais, como caminham esses números e previsões? E quais são as atuais prioridades para a dotação dessas injeções de recursos?**

“Para o ano de 2024, o orçamento para a Companhia do Metrô de São Paulo - Metrô é de 5,0 bilhões de reais, a serem destinados ao andamento das obras de extensão das linhas 2-Verde, 15-Prata e 17-Ouro, além de obras complementares nas linhas 4-Amarela e 5-Lilás, bem como ao desenvolvimento de projetos para futura implantação das linhas 16-Violeta, 19-Celeste, 20-Rosa, 22-Marrom, e à Pesquisa Origem-Destino, além da modernização das linhas em operação, incluindo a implantação das Portas de Plataforma nas linhas 1-Azul, 2-Verde, e 3-Vermelha.”

**– Neste momento, em que o Metrô de São Paulo completa 50 Anos de operação comercial, como você avalia o transcurso dessa trajetória?**

“Vejo o transcurso dessas cinco décadas com muita alegria e satisfação. O Metrô de São Paulo faz parte do dia a dia do paulistano, da rotina diária de milhões de pessoas, levando-as aos seus destinos de forma eficiente e segura. Essas são as características mais reconhecidas pelos nossos usuários, fruto do desenvolvimento constante de tecnologia e dos recursos da Engenharia aplicada ao transporte público urbano. Isso, sem falar do comprometimento de seus colaboradores na incansável prestação de serviço à população da nossa metrópole. Então, parabéns a todos que contribuíram e continuam contribuindo para essa realidade!”

# Os 50 anos de uma história de trabalho contínuo e de grandes realizações



POR MARCUS FREDIANI

*Uma verdadeira paixão do povo da cidade, e daquelas que surpreendem o mundo, o Metrô de São Paulo veio, viu e venceu*



O Metrô de São Paulo, sem dúvida alguma, um dos mais importantes ícones da metrópole paulista foi aberto ao público e entrou em operação comercial no dia 14 de setembro de 1974. Foi o fim do primeiro estágio de uma trajetória iniciada oito anos antes, um dia após o Natal de 1966, quando a Lei Municipal nº 6.988 – à época, a construção do sistema metroviário era de responsabilidade da Prefeitura da cidade, atualmente transferida para o Governo Estadual – autorizou a criação da Companhia do Metropolitano de São Paulo – Metrô (CMSP), algo que, entretanto, só veio a se materializar em 24 de abril de 1968.

Porém, diante o gigantismo do empreendimento, antes mesmo da fundação oficial do Metrô de São Paulo, tornou-se óbvia e patente a necessidade de se realizar um grande trabalho de pesquisa e planejamento para articular os seus passos. Assim, já em 1966, o então prefeito Faria Lima criou o Grupo Executivo Metropolitano (GEM), que, dois anos depois, se transformaria na CMSP.

Naquela época, a cidade de São Paulo passava por um sério momento de estagnação e de estrangulamento de seu transporte público, composto, basicamente, por linhas ferroviárias de subúrbio, linhas de ônibus urbanos e intermunicipais e linhas de bondes, cuja qualidade era muito questionada pela população.

“As três linhas ferroviárias metropolitanas (Santos a Jundiaí, Central do Brasil e Sorocabana), vinham sofrendo há muito tempo com a falta de investimentos em manutenção, sendo que a degradação resultante dessa política era visível e frequentemente noticiada pela Imprensa. Por sua vez, os bondes, que chegaram a ter cerca

de 600 quilômetros de trilhos na cidade de São Paulo, e que foram responsáveis por estruturar seu crescimento, vinham sendo abandonados, e considerados pela opinião pública um entrave ao trânsito de uma urbe já congestionada. Tamanha fora a pressão, que foram extintos em

1968”, lembra **Luiz Carlos M. Néspoli**, mais conhecido como “Branco Néspoli”, atual superintendente da Associação Nacional de Transportes Públicos (ANTP).

Com isso, a solução imediatamente encontrada foi apostar na melhoria da estrutura do transporte coletivo por ônibus, com a introdução paulatina de itinerários mais flexíveis, para que estes se amoldassem da melhor forma possível ao crescimento da urbe, que trazia vantagens substanciais no comparativo com uma possível, mas logo descartada, expansão de redes de bondes, que dependia essencialmente da implantação de mais trilhos. Porém, logo essa iniciativa foi se mostrando ineficiente, uma vez que os ônibus se misturavam aos automóveis em vias de grande densidade de tráfego, o que reduzia em muito a sua velocidade, o que desorganizava a sua operação e, por conta disso, reduzia a sua qualidade no atendimento aos passageiros.

#### PREPARANDO A POPULAÇÃO

“Devido a essa somatória de fatores, esses modais de transporte recebiam diariamente críticas severas da opinião pública, em razão

não só da precariedade dos sistemas de trens e de ônibus, como também, e sobretudo, das condições de conforto, tempos de espera e de viagem, lotação, quebras e os constantes atrasos dos trens de subúrbio, que revoltavam a população”, explica Branco Néspoli.

Dessa forma, assim que anunciada, o início da construção do metrô, e a repercussão das notícias sobre a nova tecnologia, passaram a fazer parte das conversas da população. O fato de “andar debaixo da terra” já era em si uma grande atração, e a chegada do “Tatuzão” fazia a alegria dos meios de comunicação. “E, foi exatamente nesse contexto, que o novo sistema começou a fazer parte do imaginário da população. De positivo, o metrô aportava uma ideia de modernidade tecnológica inédita no país. Mas, por outro lado trazia também algumas dúvidas e preocupações: afinal, será que ele era tudo isso mesmo que falavam? Ou nasceria bom, e acabaria do mesmo jeito como os sistemas que conheciam?”, contextualiza o atual superintendente da ANTP.

No esforço de esclarecer tais questões, Branco Néspoli alinha algumas argumentações que foram utilizadas no convencimento da população paulistana pelos então gestores do projeto. A primeira e talvez mais importante delas derivava da constatação de que o metrô tinha por conceito características urbanas, com estações mais próximas umas das outras e

intervalos confiáveis entre os trens. Em comparação com os sistemas de trens suburbanos, essa união de benesses começou a deixar claro que o novo modal traria melhorias significativas tanto para os passageiros quanto para a cidade.

“Ademais, embora também constituído por via própria, não haveria passagens de nível (cruzamentos com o sistema viário), ao contrário das ferrovias, o que permitiria um melhor controle do tráfego dos trens, e maior confiabilidade nos tempos de viagem, inimaginável pela população da época. Ou seja, eram características muito mais favoráveis se comparado com o modo de operação dos ônibus. E, da mesma forma, para o meio urbano a entrada do metrô não causaria divisão da cidade – ou seja, seria preponderantemente em subterrâneo ou elevado, com

estações concebidas para também se requalificar o espaço urbano, como de fato foram”, observa.

#### PIONEIRISMO NO “OUVIR E FALAR”

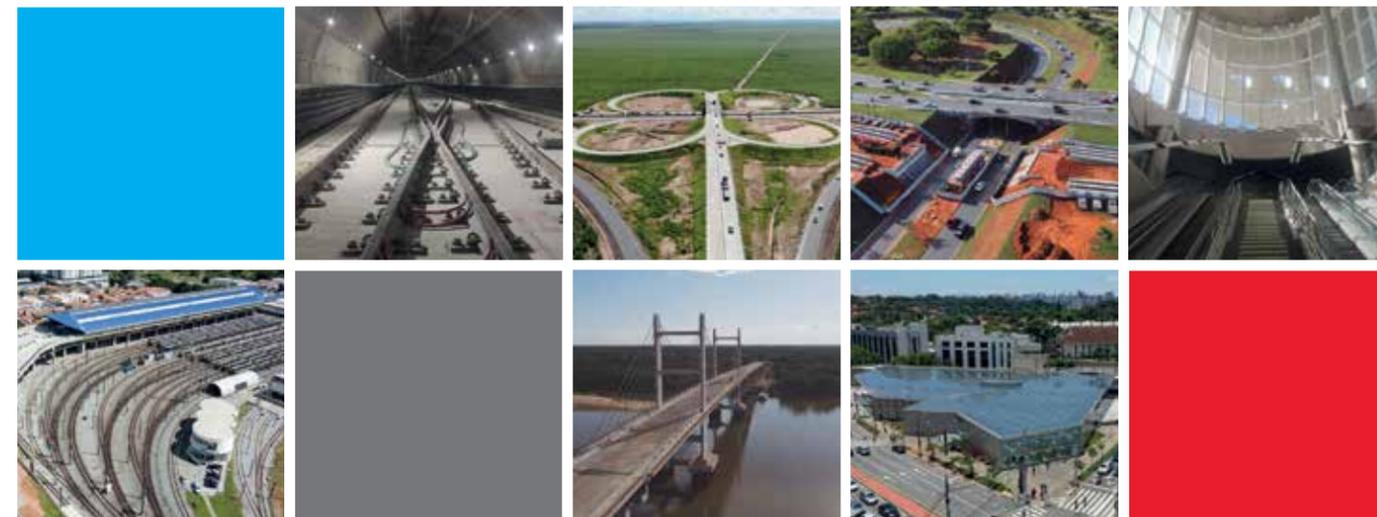
Complementarmente, a divulgação prévia feita pela Companhia do Metropolitano, aos poucos foi entregando informações adicionais aos futuros passageiros do metrô, hábil e estrategicamente calcadas nos avanços que o modal traria em sua operação, com a aplicação de tecnologias ainda inexistentes nos transportes públicos brasileiros, como, por exemplo, trens automáticos, bilhetagem eletrônica e as escadas rolantes – antes só havia uma na cidade –, que acabara por cristalizar na opinião pública a proposta de modernidade, por meio de uma política com significado essencial:

a introdução de um novo conceito de transporte público na cidade de São Paulo e no Brasil.

Isso tudo, sem esquecer de somar a esse arsenal de benefícios outras vantagens do sistema, que também serviram para o convencimento da população de que o metrô era uma solução de transporte, além de inovadora, ideal para a metrópole paulista. Em primeiro lugar, a questão da segurança, uma vez que a qualidade da manutenção – corretiva, preventiva e preditiva – seria levada a ferro e a fogo, sendo depois certificada pela ISO 9001, que garantiu a conservação do modal, com baixo índice de falhas em todos os sistemas e equipamentos, até hoje.

“Paralelamente, o anúncio da política de atendimento e de atenção ao usuário foi outro dos pontos fortes e diferenciais previa-

### A COMSA parabeniza o Metrô de São Paulo pelo seu 50º aniversário



## Experiência centenária a serviço das infraestruturas do Brasil

Extensão da Linha 4 do Metro de São Paulo | BRT Metropolitano de Belém  
BRT de Brasília | Ponte sobre o Rio Araguaia na BR-080 | Duplicação BR-101

**COMSA**

Construímos um futuro sustentável

[www.comsa.com](http://www.comsa.com)

mente preconizados pelo Metrô de São Paulo, que também acabou por reforçar a constatação de tais propostas. Exemplo disso foi – e ainda é – o cuidado de se ouvir os usuários por meio de sua “Caixa de Sugestões”, bem como o atendimento personalizado durante a viagem com informações, orientações, o pronto atendimento em caso de mal súbito ou de acidentes e o uso constante de um sistema de audição pública nas estações e no interior dos trens. “O Metrô de São Paulo, introduziu o ‘Ouvir’ e o ‘Falar’ com o usuário no transporte público. E essa relação não se esgotou por aí, mas também cuidou de trazer para dentro das estações a cultura, na forma de artes, teatro e música”, pontua Branco.

Assim, com toda essa argumentação a seu favor, o novo conceito de transporte público superou as inquietações e passou a atender às expectativas iniciais da população 50 anos atrás. “Universalizar esse modelo foi o propósito do Engenheiro **Plínio Oswaldo Asmann**, então presidente do Metrô, que em 1977 criou e presidiu a Associação Nacional de Transportes Públicos, entidade que, há 46 anos, tem por missão abrir espaço de discussão para a defesa desse tão bem-sucedido modelo de transporte público, que é motivo de orgulho para toda a população de São Paulo”, sublinha o atual superintendente da ANTP.

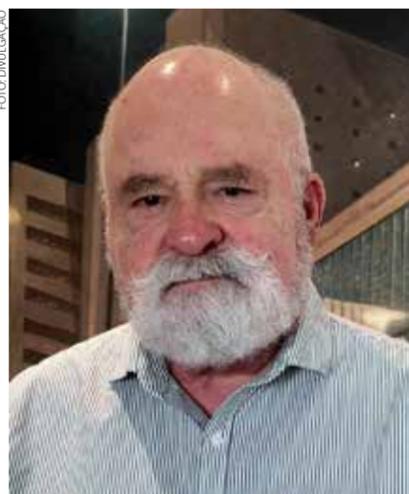
#### OS PRIMEIROS PASSOS

Voltando ao início da masterização do projeto do Metrô de São Paulo, o primeiro passo decisivo dado pelo GEM foi a contratação de um consórcio formado por duas empresas alemãs – a Hochtief e Deconsult –, associadas à brasileira Montreal, para formar uma nova empresa, a HMD. Na divisão de tarefas delas estabeleceu-se

que a Hochtief seria a construtora contratada, enquanto a Deconsult seria a responsável pelo detalhamento dos projetos, o gerenciamento da compra de sistemas, e ainda pela implantação da operação. Assim, à época, isso deixava claro que o interesse das empresas alemãs era manter um projeto reproduzindo os metrô alemães e sua tecnologia, tanto de construção quanto de operação.

“Nada de especial ou ‘maquiavélico’ nisso, o que era normal nesses tipos de contratos internacionais, até porque, anos mais tarde, os franceses, por meio da consultoria da Sofretu, subsidiária da RATP do metrô de Paris, faria a mesma coisa no metrô do Rio de Janeiro”, explica o engenheiro **Cláudio de Senna Frederico**, responsável pelas operações do Metrô na ocasião, e que depois ocupou diversos cargos públicos e secretariados relacionados à mobilidade, sendo muito próximo do ex-governador Mario Covas, atuando hoje como consultor.

Porém, Senna faz questão de registrar que, naqueles tempos, a situação técnica dos metrô clássicos ocidentais era de estagnação técnica e de investimentos desde o início da retomada no Pós-2ª Guerra, ou seja, não muito diferentes da nossa. Na Alemanha, o único metrô moderno estava ainda em construção em Munique, uma cidade muito menor que São Paulo, e a experiência real dos metrô de Hamburgo e Berlim era muito atrasada. “E a situação de Paris e



Cláudio de Senna Frederico, engenheiro consultor

Londres não era muito melhor. Curiosamente, era em São Francisco, sem experiência própria de metrô, e não em Nova York, ambas na América do Norte, que avançava a única grande obra de fato inovadora no mundo ocidental, o *Bay Area Rapid Transit* (BART)”, con-

temporiza Senna (NE: *Confirma mais algumas instigantes impressões de Cláudio de Senna Frederico na seção “Ciência & Talento” desta edição da Revista BRASIL ENGENHARIA*).

#### ORIGEM E DESTINO

Entre outras atribuições, o HMD também foi responsável pela primeira “Pesquisa Origem e Destino”, realizada no ano de 1967, cujo objetivo era mapear as viagens então realizadas por transporte público na cidade, apontando as linhas básicas de metrô na capital, o que permitiu planejar a primeira rede básica de transporte metroviário de São Paulo. E foi a partir desse levantamento pioneiro que foram elaborados os primeiros estudos econômicos e o pré-projeto de Engenharia, que, no ano seguinte acabaram por levar à criação da Companhia. Na época, esse grupo era coordenado por **Francisco de Paula Quintanilha Ribeiro**, que foi também o primeiro presidente do Metrô, e hoje dá nome à rua onde está localizado o Pátio Jabaquara.

E o tempo de preparação para dar-se o *start* das obras foi curto: poucos meses depois, mais precisamente no dia 14 de dezem-

bro de 1968, elas começaram a se tornar realidade na Av. Jabaquara, para dar lugar à então denominada Linha Norte-Sul, hoje, Linha 1-Azul. O numeral, aliás, já deixa claro que ela foi a primeira linha de serviço metropolitano construída no Brasil –, cuja estação atualmente conecta o bairro de mesmo nome daquela importante via da Zona Sul da cidade ao do Tucuruvi, na Zona Norte, cumprindo um trajeto de mais de 20 quilômetros de extensão, ao longo de 23 estações, que operam no transporte diário de mais de 500.000 passageiros, passando em sua rota pelo Centro da metrópole, e permitindo ainda o acesso a diversos bairros importantes de São Paulo, como, por exemplo, a Vila Mariana, Paraíso e Liberdade, e a diversos pontos estratégicos dessas regiões.

Outra data marcante foi o dia

25 de maio de 1972, quando começou a implantação dos primeiros trilhos a partir da Estação Jabaquara, que antes mesmo disso já haviam sido instalados na linha do Pátio Jabaquara. Até que em 6 de setembro do mesmo ano, um trem com apenas dois carros e sem passageiros – a chamada “Unidade-protótipo” – rodou por cerca de 500 metros entre o referido pátio e a Estação Jabaquara. Apesar da distância ser pequena, a viagem representou um salto tecnológico marcante para a época, tendo sido acompanhada pelo então presidente da República, Emilio Garrastazu Médici, como parte da parte da programação de eventos que comemoravam os Sesquicentenário da Independência do Brasil na capital paulista.

Quem lembra de tudo o que aconteceu naquele dia é o mesmo

Cláudio de Senna Frederico. “Esse foi um episódio recheado por momentos tensos. Recebemos o protótipo praticamente duas semanas antes dessa viagem inaugural. E como era completamente novo para nós, a chance de dar problema era grande. Ainda mais que a equipe era totalmente nova também. Até os operadores do trem haviam acabado de entrar na CMSP. Mas, aquele dia nos deu a sensação de orgulho, e de que nosso esforço tinha valido a pena, e que tudo iria dar certo a partir daí”, relembra ele, com um misto de emoção e dever cumprido.

Ainda segundo ele, o período, especialmente entre 1970 e 1974, além de ser marcado por eventos importantes na seara da evolução tecnológica, também foi palco de vários acontecimentos turbulentos na área política do Brasil



Parabéns Metrô de São Paulo.  
Somos orgulhosos de fazer  
parte dessa história de sucesso.



e no mundo. Entre os principais, ele lista os “Anos de Chumbo” do governo Médici (1969-1974) – com o subsequente início do governo Geisel –, a saída dos Estados Unidos do Vietnã, o assassinato de Salvador Allende no Chile, a “Crise do Petróleo da OPEP” (1973), e a Revolução dos Cravos em Portugal (1974).

Assim, tendo tudo isso como pano de fundo, instalou-se uma situação que, apesar de mesclar boas novidades e instigantes dinâmicas de inovação na área da tecnologia, acabou, de certa forma, por ocasionar impactos, e, particularmente, transformaram os desafios de tocar a obra adiante ainda maiores. “Por tais razões, a política de como implantar o Metrô de São Paulo teve que se alinhar não só àquela época de desenvolvimento industrial acelerado, como também à aspiração dos técnicos de tomar o controle sobre os projetos nacionais e a tecnologia que seria desenvolvida”, registra o consultor. Entretanto, nem mesmo esse cenário de contingências adversas, como se sabe, não impediu que a gigantesca obra fosse concluída com sucesso e invejável excelência.

## REINVENÇÃO DA ENGENHARIA

Diante do tamanho do empreendimento, a amálgama desses fatos acabou por gerar consequências extremamente benéficas no campo da educação “engenhairística”, como observa o conteúdo de um artigo encaminhado para nossa edição Especial sobre o Metrô-SP, com o título “*O Metrô e a Educação em Engenharia: O que eles têm em comum?*”, de autoria de **José Roberto Cardoso**, mestre, doutor e livre docente em Engenharia Elétrica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP), sendo diretor dela no período 2010 a 2014, e que hoje é professor titular da mesma entidade de ensino, além de ocupar o cargo de coordenador do Laboratório de Eletromagnetismo Aplicado (LMAG), que também acompanhou de perto toda a dinâmica de implantação do Metrô de São Paulo.

Segundo ele, na mesma época em que se criou a Companhia do Metropolitano de São Paulo no final da década de 1960, como forma de atender aos anseios dos paulistas para um transporte público de qualidade, teve início

FOTO: DIVULGAÇÃO



*José Roberto Cardoso, é livre docente em Engenharia Elétrica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP),*

também um movimento para introduzir na Ciência da Engenharia novos conteúdos teóricos impostos pelo retorno dos primeiros PhDs do exterior. “E essa nova Engenharia impregnou-se na Companhia do Metropolitano de São Paulo, de modo que todo o projeto foi concebido sob a égide dessa nova proposta, sob a liderança de Plínio Assmann e seus colaboradores. Assim, todos os projetos do Metrô foram enquadrados nesta nova filosofia, que foi introduzida nos Estados Unidos e emulada na sequência no Brasil, pelos europeus Timoshenko, von Karman e Westergard e outros, que imigraram para os Estados Unidos e introduziram abordagens europeias, voltadas para Ciência no ensino de Engenharia”, destaca no texto.

E é fácil explicar o porquê essa nova estrutura de trabalho acabou por desencadear, como reação natural, uma nova propositura de atuação voltada à adequação e ao aperfeiçoamento tanto da categoria profissional quanto da academia, materializada sob a forma dessa inédita postura na concepção dos projetos de Engenharia: tudo, agora, precisava ser demonstrado à luz da Ciência,

e não apenas a partir do uso de fórmulas empíricas clássicas dos livros das décadas de 1940 e 1950.

Assim, passou a ser comum a presença de artigos científicos nas mesas dos engenheiros, que apresentavam os mais recentes desenvolvimentos em suas áreas. E, nesse rol, se enquadrou a produção de conhecimento sobre mecânica dos sólidos, mecânica dos fluídos, termodinâmica, transferência de calor e massa, teoria eletromagnética, natureza e propriedades dos materiais, passaram a ser exigência comum nas decisões e projetos.

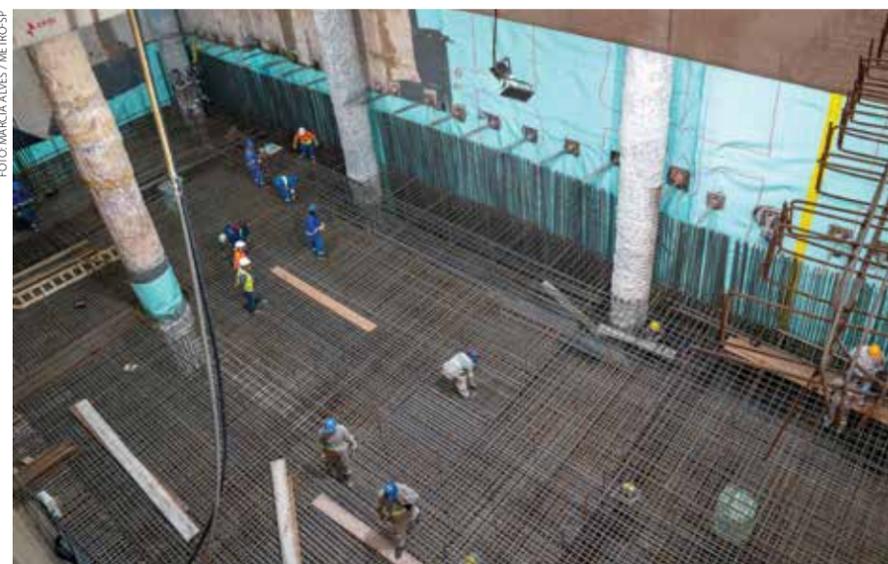
“Na sequência, a segunda mudança significativa foi a introdução das simulações nos estudos, pois, atento às evoluções tecnológicas, o Metrô identificou a potencialidade das novas *workstations* que surgiram nos anos 1980, nas representações das distribuições

de esforços em túneis e obras de arte, bem como visualizações de distribuição e campos eletromagnéticos em aterramentos e outros equipamentos”, pontua Cardoso na matéria.

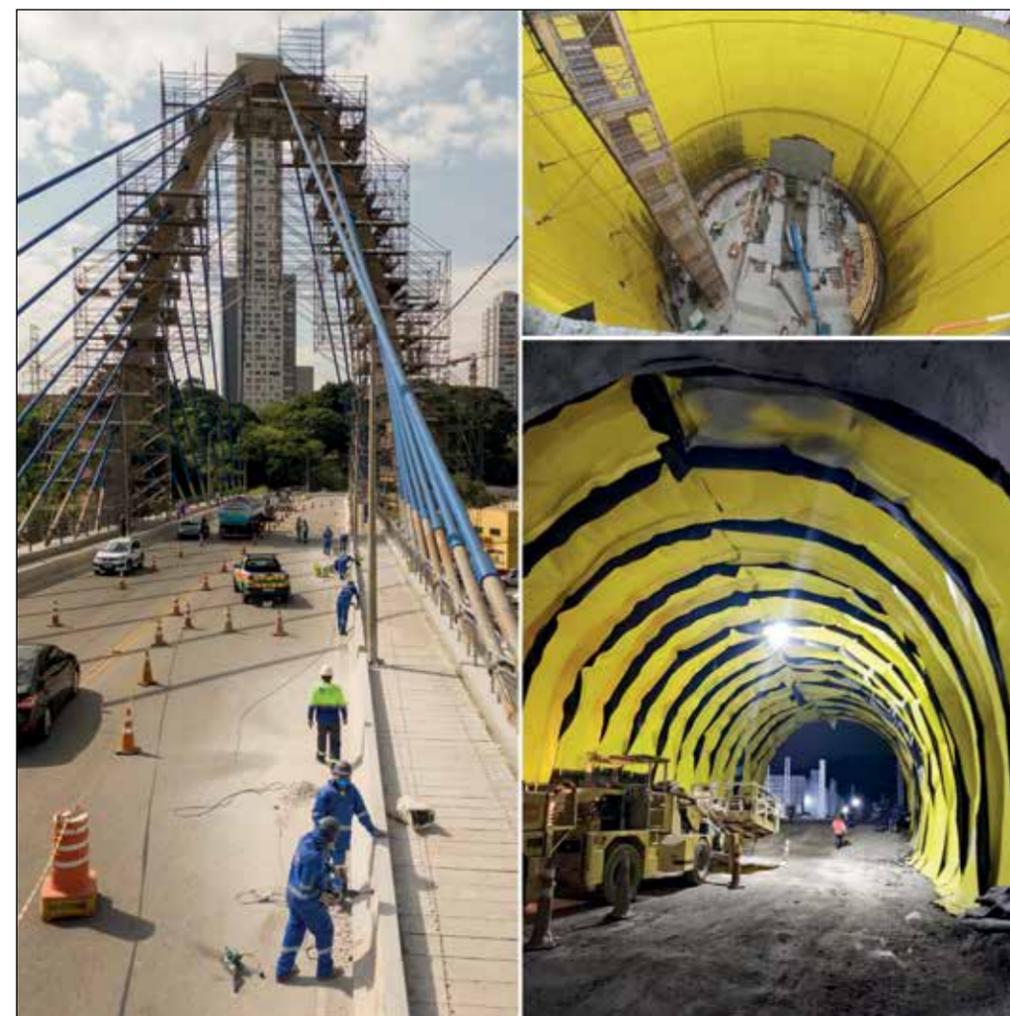
Como não poderia ser diferente, esse movimento foi muito rico nas escolas de Engenharia, pois estas passaram a se concentrar nos desenvolvimentos de modelos matemáticos, como o Método dos Elementos Finitos, Métodos Integrais e outros. E isso redundou em vários projetos de parceria do Metrô com as universidades públicas paulistas, mostrando que estas instituições caminhavam juntas no enfrentamento do mesmo desafio. E as simulações evoluíram a níveis impressionantes com a chegada do BIM, e de outras ferramentas, que permitiram uma visão virtual do projeto concluído, levando a

apresentar níveis de detalhes surpreendentes.

Complementarmente, Tecnologia da Informação e Comunicação (TI&C) agregaram elevado grau de segurança na operação, na manutenção e na gestão do sistema. Nesse âmbito, as técnicas do Big Data, da ‘raspagem’ de dados, e das visualizações computacionais, associadas às mais avançadas tecnologias de automação – que dispensa a ação humana na condução das composições – colocaram o Metrô de São Paulo entre os mais eficientes sistemas de transporte público do planeta, atualizados sempre por meio de diversos *benchmarks*, aos quais eles são submetidos periodicamente. E, agora, é a vez da Inteligência Artificial, já utilizada em larga escala no sistema, dar contribuições adicionais, para melhorar, ainda mais, a quali-



Anália Franco, expansão Linha 2-Verde



VOS | Obras e Serviços

Parabéns ao  
Metrô de São Paulo  
pelos 50 anos.

www.vosobras.com.br  
E-mail: comercial@vosobras.com.br  
Tel.: (11) 5035-5050



Obras Anália Franco, Linha 2-Verde

dade de vida do usuário e das escolas de Engenharia, que continuam parceiras da Companhia nesses novos desenvolvimentos”, destaca ainda José Roberto Cardoso, delineando a sua visão de futuro.

#### RETROSPECTIVA HISTÓRICA

No ano de 1972 as obras do Metrô prosseguiram a todo vapor. Depois de meses de treinamentos e testes, uma composição-protótipo de trem realizou a primeira viagem do Metrô entre as estações Jabaquara e Saúde. Até que, no dia 6 de julho de 1973, foi realizada a primeira viagem de teste de trens da empresa, entre as estações Jabaquara e Liberdade. E esse ensaio foi de vital importância para o futuro das operações, e aconteceu com seis carros conectados percorrendo os 11 quilômetros de via carregando sacos cheios de areia, para simular o peso dos passageiros da composição.

“Na ocasião, além do sistema ATO (sigla em inglês para *Automatic Train Operariton* – “Operação Automática de Trens”) –, a situação da via permanente (ou seja, os trilhos) e dos sistemas elétricos foram todos avaliados, para, em caso

de falhas, resolver os problemas, e tornar a operação do metrô ainda mais segura”, explica o engenheiro **Peter Ludwig Alouche**, um dos mil primeiros funcionários da empresa, que ingressou na Companhia do Metropolitano em 1972, sendo responsável por comandar uma equipe de 50 outros profissionais de Engenharia, de forma diurna, cumprindo até 16 horas por dia de expediente, para concluir os trabalhos.

Já no início de 1974, o Metrô deu o *start* a um programa de treinamento com seus futuros usuários. O objetivo era transmitir e habituar o público a utilizar corretamente o então desconhecido e novo meio de transporte, conscientizando a população sobre o valor de sua colaboração na conservação das instalações e dos equipamentos. Até que o dia 14 de setembro daquele ano marcou a história e será lembrado como a data em que o Metrô mudou a vida na cidade de São Paulo. Foi nele que o primeiro metrô do Brasil iniciou a sua operação comercial, entre o trecho Jabaquara e Vila Mariana, funcionando de segunda a sexta-feira, das 9h00

às 13h00, permanecendo fechado ao público nos fins de semana. Na época, a média diária de passageiros era de apenas 2.858 pessoas.

Na sequência, no dia 1º de março de 1975, foi realizado o primeiro percurso entre as estações Jabaquara e Liberdade, levando o Metrô até o Centro da cidade de São Paulo. Fato emblemático relacionado a isso, foi que o trecho entre as estações Liberdade e Luz foi construído pela Tuneladora *Shield*, logo apelidada pelos paulistanos como “Tatuzão”. A opção pelo método construtivo se deu em função do adensamento de grandes prédios na região, em que fica localizado o ponto mais profundo do sistema operado pela CMSP, em uma área que reveste a Estação São Bento, a cerca de 45 metros abaixo da Rua Boa Vista.

Enquanto isso, no Vale do Anhangabaú, eram iniciadas as obras da Linha 3-Vermelha, então chamada de Leste-Oeste. Ato contínuo, em 26 de setembro de 1975 a então Linha Norte-Sul, com 16,7 quilômetros de extensão, de Jabaquara a Santana, começou a funcionar, operando comercialmente das 6h00 às 20h30. E, no dia 17

de fevereiro de 1978, a Estação Sé foi inaugurada, sendo, até hoje, a maior do sistema metroviário.

#### SEM TEMPO A PERDER

De imediato, o Metrô de São Paulo passou a integrar o cotidiano e a conquistar o coração dos paulistanos. E isso deu um novo impulso para a Companhia do Metropolitano se arrojar a dar novos e importantes passos. Assim, já no dia 10 de março de 1979, o primeiro trecho da Linha 3-Vermelha (Sé – Brás) passou a entrar em operação comercial, com os trens circulando todos os dias, das 6h00 às 20h00, atendendo de saída a uma demanda diária de 17.000 passageiros. Um ano e meio depois, o atendimento ao público dessa linha foi ampliado para o período das 5h00 à meia-noite, e com as inaugu-

rações das estações Pedro II e Bresser, quando sua demanda diária saltou para 35.000 passageiros/dia.

Dois anos depois, as obras de expansão da Linha 3-Vermelha passaram a ser tocadas celeremente, até que, em 1986, já operava entre as estações Santa Cecília e Penha, sendo que seu trajeto atualmente percorre o eixo entre as estações Corinthians-Itaquera e Palmeiras-Barra Funda.

No ano seguinte, foi realizado um ato solene em um terreno localizado entre a Av. Paulista e a Rua da Consolação, que marcou o início das obras de mais uma linha metroviária, a Linha 2-Verde, marcando a chegada do Metrô ao centro financeiro e cultural de São Paulo. Finalmente, em 1988, as obras da Linha 3-Vermelha foram concluídas, passando a ope-

rar entre as estações Barra Funda e Itaquera, ao longo de seus 22 quilômetros.

Sem tempo a perder, em 1990, foi realizada a viagem inaugural no trecho Paulista da Linha 2-Verde, entre as estações Paraíso e Triangon-Masp, ampliado em 25 de janeiro do ano seguinte – no dia de aniversário de São Paulo –, quando teve início a operação comercial do primeiro trecho da linha, com 3 quilômetros de extensão e três novas estações: Brigadeiro, Triangon-Masp e Consolação, além da Estação Paraíso, que foi reformada no período. E antes do final da década, em 1998, ao mesmo tempo em que entregou mais uma parte da expansão da Linha 1-Azul – integrando ao sistema as estações Jardim São Paulo, Parada Inglesa e Tucuruvi, sendo que esta última é o ponto final de seu trajeto atual.

## Simulação CFD em Cenários de Incêndio

Integrando Tecnologia e Segurança em Estações de Trem

A ENGYS, desenvolvedora do software CFD HELYX, atuou como parceira responsável pelas simulações CFD de consórcios para as estações do Metrô-SP.



Dispersão de fumaça



Mapas de Visibilidade



Análise de evacuação



Adequação à norma IT-45

engys.com

info@engys.com

+55 (51) 4560-6040



Obras Guilherme Giorgi, Linha 2-Verde

### ENTRANDO NO NOVO SÉCULO

Ciente da crescente demanda e do aumento das necessidades de transporte público da capital paulista, em 2002, o Metrô entregou o trecho inicial da Linha 5-Lilás, entre as estações Capão Redondo e Largo Treze, sendo que seu trajeto atual foi expandido do Capão Redondo para a Chácara Klabin. Em 2018, ela foi repassada à concessionária ViaMobilidade. As obras de construção e expansão deste ramal foram concluídas somente em 2019, e, atualmente a linha opera entre as estações Capão Redondo e Chácara Klabin.

A expansão continuou em 2004, inclusive na Zona Sul, com o início das obras de prolongamento da Linha 2-Verde em direção ao bairro do Ipiranga, sistema este robustecido posteriormente com a inauguração das estações Santos-Imigrantes, Chácara Klabin, Alto do Ipiranga, Sacomã, Tamanduateí e Vila Prudente, sendo esta última o destino final que, na outra ponta, a liga hoje em dia à Estação Vila Madalena.

Por sua vez, construída pela Companhia do Metropolitano de

São Paulo e operada pela empresa concessionária ViaQuatro, a Linha 4-Amarela teve o primeiro trecho, entre as estações Faria Lima e Paulista, inaugurado em maio de 2010. Ato contínuo, em 2011, ela ganhou as estações Butantã e Pinheiros, e, quatro meses depois, as estações República e Luz também foram entregues ao público, até que, em 2014, ela foi ampliada com a entrega da Estação Fradique Coutinho. Hoje, a linha tem 12,8 quilômetros de extensão em operação e 11 estações, ligando a região Luz, no Centro de São Paulo, ao bairro de Vila Sônia, na Zona Oeste.

No mesmo ano, o Metrô deu início à operação da Linha 15-Prata do monotrilho. Na época o trecho era de apenas 2,3 km entre as estações Vila Prudente e Oratório. Hoje essa linha opera entre as estações Vila Prudente e Jardim Colonial. E quando totalmente pronta, contará com 26,6 quilômetros de extensão, ao longo de 18 estações, ligando os distritos do Ipiranga e Cidade Tiradentes, através dos bairros de Vila Prudente, Parque São Lucas, Sapopemba, São Mateus, Iguatemi, entre outros.

### FUTURO AUSPICIOSO

E quando o assunto é o crescimento da abrangência do sistema do Metropolitano de São Paulo, muita coisa ainda vem por aí. Para começar, com investimentos já autorizados e em execução, a Linha 2-Verde está com sua expansão em implantação em direção à Penha em uma primeira etapa, e até Guarulhos em uma segunda etapa. Por sua vez, a Linha 17-Ouro tem implantação prevista entre o Aeroporto de Congonhas e a Marginal do Rio Pinheiros.

Já a Linha 15-Prata está atualmente em expansão até a Estação Jacu-Pêssego para Leste e Ipiranga para Oeste. Aliás, novidade quentíssima relacionada a ela foi a recente recepção dada pelos técnicos do Metrô de São Paulo a uma comitiva do consórcio CEML (Alstom e CRRC), vinda de Whu, na China, dando conta que o primeiro dos 19 trens que serão utilizados para servi-la já está chegando. Responsável pela construção das vias, fabricação de trens e implantação de sistemas, essa nova composição, que vai reforçar a frota e ajudar na expansão da linha, embarca

com destino ao Brasil no próximo mês de outubro, chegando repleto de tecnologia: com vagões conectados, maior automação, iluminação LED, câmeras de monitoramento e muito mais.

Enquanto isso, as obras de expansão da Linha 6-Laranja já estão em fase de planejamento pela LinhaUni. Em construção desde 2013, ela tem promessa de início de operação em 2026. As novas seis estações do ramal deverão ser construídas em 60 meses a partir de agora, com custo de mais de 10 bilhões de reais, para o atendimento de uma população estimada em quase 280.000 pessoas. O projeto de extensão contemplará o prolongamento do trecho Brasilândia-São Joaquim em 6,68 quilômetros, sendo que deverão ser construídas duas estações no trecho norte e quatro no trecho sul. E, como curiosidade, a Estação Higienópolis-Mackenzie, da Linha 6-Laranja, será a mais profunda da América Latina, com nada menos do que 69 metros abaixo da superfície.

Complementarmente, segundo o Metrô de São Paulo, estão sendo simultaneamente desenvolvidos estudos e projetos para as Linhas

16-Violeta, 19-Celeste (essa já com os projetos básicos concluídos), a 20-Rosa, a 22-Marrom, e a extensão Cerro Corá da Linha 2-Verde. É importante destacar que, em paralelo, o Metrô de São Paulo vem desenvolvendo diversos outros estudos de rede para todos os trechos do modal que não estão sob concessão. Sem dúvida, uma excelente notícia para os usuários das linhas da CMSP, que perfazem 104,4 quilômetros de extensão, ao longo de 91 estações, por onde passam aproximadamente 3 milhões de passageiros todos os dias.

### E A EVOLUÇÃO NÃO PARA

Fazer uma síntese do momento atual da dinâmica de aperfeiçoamento e expansão do Metrô de São Paulo é uma tarefa bastante extensa e trabalhosa, uma vez que há muita coisa acontecendo ao mesmo tempo. E todas essas ações simultâneas têm como elemento comum o uso das mais avançadas tecnologias aplicadas ao transporte, não só no Brasil, como também em âmbito planetário.

Fazendo uma rápida lista de algumas das principais atualizações realizadas nos últimos tempos, pode-se começar falando, por

exemplo, das Linhas 1-Azul, 2-Verde e 3-Vermelha, que receberam modernizações importantes em seus Sistemas de Sinalização de Telecomunicações. Entre as principais se encontram as implantações da sinalização com a tecnologia CBTC (*Communication Based Train Control*); a do Sistema de Transmissão Digital, utilizando fibras ópticas; a do Sistema de Transmissão em Tempo Real de imagens das câmeras internas do trem para o CCO e das estações para o trem; e a de Painéis Multimídia para informar as horas e as mensagens operacionais e institucionais. E todas, apresentando múltiplos benefícios, entre os quais podem-se destacar a inserção de mais trens nas três linhas, de forma a reduzir o intervalo entre eles, a fim de proporcionar mais conforto aos usuários e aumentar a oferta de lugares, aumentar a velocidade média dos trens nas linhas, reduzindo o tempo de viagem, a redução da energia consumida pelos trens em função de controle mais efetivo de sua movimentação. Já os sistemas de telecomunicações estão viabilizando comunicações audiovisuais precisas em tempo real, de forma que qualquer anomalia, emergên-



A TEKHNITES e toda a sua equipe parabenizam a  
COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO pelos  
50 anos de sucesso na operação comercial.

**TEKHNITES**  
consultores associados

[www.tekhnites.com.br](http://www.tekhnites.com.br)

Projetos de Instalação  
Gerenciamento e Supervisão  
Inspeção de Equipamentos  
Apoio Técnico e Análise de Projetos

#### ENDEREÇO

Rua Cincinato Braga, 340 conjunto 152  
Bela Vista - São Paulo - SP  
CEP 01333-010

#### CONTATOS

+55 (11) 3023-4436/3024-4436  
tekhnites@tekhnites.com.br  
comercial@tekhnites.com.br

cia ou avisos institucionais poderão ser difundidos imediatamente aos usuários e funcionários, além de maior eficiência e segurança nas comunicações de dados para todos os sistemas. Outra melhoria nessas três linhas, bem como na Linha 15-Prata, está sendo proporcionada pela implantação das Portas de Plataforma, PSDs.

Válida de menção também é a ampliação da Estação São Joaquim, da Linha 1-Azul. Implantada em 1975 sob a Av. Liberdade, junto à R. São Joaquim, por meio do método em vala a céu aberto, com plataformas laterais, mezanino de distribuição e acessos em ambos os lados da avenida, ela está localizada próxima a prédios residenciais, hospital e diversas escolas e universidades, que a tornam bastante carregada em períodos escolares. O número médio de entradas nessa estação, que em 1980 era de 19.600 passageiros por dia, atualmente atinge 51.600. A Linha 1-Azul fará, por meio da Estação São Joaquim, integração com a Linha 6-Laranja, que foi projetada para fazer a ligação da região norte da cidade de São Paulo à região central. E, com a futura integração com a Linha 6-Laranja, a previsão de demanda para a Estação São Joaquim deverá quadruplicar, atingindo a média de 203.180 passageiros por dia.

No mesmo rol de adequações absolutamente necessárias, se encaixa também a ampliação da Estação Vila Prudente. Projetada inicialmente como intermediária, com apenas um pequeno terminal de ônibus integrado, com a definição da extensão da Linha 2-Verde até a Estação Penha da Linha 3-Vermelha e, posteriormente, até a cidade de Guarulhos, ela mudou de configuração para ser uma estação de maior importância, com a implementação de um terminal de



Marco Antonio Assalve, Secretário dos Transportes Metropolitanos de São Paulo (STM)

ônibus urbano e de sua integração ocasionada com a inauguração do sistema de monotrilho da Linha 15-Prata, uma série de empreendimentos comerciais, educacionais e imobiliários foram desenvolvidos em seu entorno, refletindo no aumento da demanda de passageiros, que antes considerada média passou a ser elevada. Com isso, a Estação Vila Prudente tornou-se um complexo empreendimento de integração de transporte público. Assim, as obras de adequação e ampliação das estações Vila Prudente das Linhas 2-Verde e 15-Prata permitirão a melhoria das condições operacionais da estação, da segurança e do conforto para os passageiros durante suas transferências e movimentações.

Por sua vez, está em andamento também a construção do trecho Vila Prudente-Penha. A implantação atende aos bairros entre Vila Invernada, Jardim Anália Franco, Vila Formosa, Vila Carrão, Vila Manchester, Aricanduva e Penha, e tem o objetivo de distribuir a concentração de passageiros das Linhas 3-Vermelha do Metrô e 11-Coral da CPTM. O trecho contará com estruturas de integração

entre os vários tipos de transporte. Essa iniciativa visa a facilitar o uso de diferentes modais. Por exemplo, o novo trecho proporcionará uma rota mais rápida e com menos transferências para os passageiros que vão da Zona Leste de São Paulo para a região Central, bem como para as regiões Oeste e Sul da cidade. Adicionalmente, esse novo caminho irá diminuir o fluxo de passageiros das linhas 1-Azul e 3-Vermelha, principalmente nas estações Luz, Sé e Paraíso. Entre os aperfeiçoamentos estruturais e tecnológicos aplicados destacam-se a aquisição de novos trens com operação automatizada destes, a implantação do sistema de sinalização e controle tipo CBTC, portas de plataforma que se abrirão somente no embarque e desembarque, aumentando a segurança dos passageiros, amortecedores dos trens para atenuar as vibrações e ruídos, e, ainda, trens equipados com câmeras em seu interior, sistema de gravação de imagens e ar refrigerado.

E, ainda contemplando a Estação Vila Prudente, está em construção o trecho que irá ligá-la ao Jardim Colonial. A implantação possibilitará a conexão de bairros populosos, como São Mateus à região Central da cidade de São Paulo, por meio das novas integrações. Vale lembrar, que o sistema monotrilho reduz as desapropriações por estar em via elevada com suas vigas nos canteiros de avenidas, com necessidade de uma área menor para os acessos às estações. Além disso, o sistema é amigável ao meio ambiente, possui estruturas leves e delgadas, não emite gases por utilizar tração elétrica e ainda emite baixo nível de ruído por utilizar pneus.

Digno de nota também é o túnel de conexão complementar

de acesso entre as estações Consolação (Linha 2-Verde) e Paulista (Linha 4-Amarela), com extensão de aproximadamente 90 metros, em fase de implantação. O contrato de execução das obras civis e implantação de sistemas foi assinado em 29/11/2022 com o Consórcio Conexão Paulista/Consolação CTS.

E depois de vários atrasos e paralisações de obras ocasionados principalmente em função de rupturas de contratos com os consórcios habilitados, a Linha 17-Ouro do Metrô de São Paulo parece ter finalmente “desencantado”. Com obras retomadas, ela tem, agora, previsão de entrada em operação em 2026, embora em trecho menor do que o projeto original. A implantação dele ligará o Aeroporto de Congonhas às linhas 4-Amarela da ViaQuatro, e a 5-Lilás da ViaMobilidade, ligando, em sua primeira fase, a Estação Morumbi, da Linha 9-Esmeralda à Estação Aeroporto de Congonhas, atendendo também à comunidade de Paraisópolis no futuro. Entre seus principais benefícios se alinham a redução do transporte individual e oferta de uma rota mais rápida e de um caminho alternativo entre essas

localidades. O método construtivo utilizará a tecnologia “Metrô Leve”, um sistema de monotrilho, e a previsão de demanda de passageiros indica uma linha não pendular, ou seja, o fluxo de passageiros será constante nos dois sentidos.

### RECONHECIMENTO ABSOLUTO

Muita água rolou – ou melhor, muitos trens circularam pelos trilhos do Metrô de São Paulo – ao longo dessas cinco décadas que separam os dias atuais daquele dia 14 de setembro de 1974, data em que ele foi finalmente aberto ao público, marcando o início de suas operações comerciais.

Desde então, ela presta relevantes serviços à população da cidade de São Paulo, de forma ininterrupta, oferecendo e garantindo qualidade, regularidade, pontualidade, conforto e segurança a quem se utiliza de seus trens para o trabalho, lazer e estudos. Seus abnegados e qualificados funcionários, incluindo sua Diretoria, proporcionam excelência na gestão, acompanhada de resultados usualmente positivos. E os governos do Município e do Estado de São Paulo, assim

como seus órgãos correlatos, se empenham a fundo para que a empresa concretize o necessário crescimento, para o qual ela foi desenhada, provendo suporte às suas operações.

Exemplo disso é o reconhecimento a Companhia pela conquista desse aniversário dado pelo executivo-chefe da Secretaria dos Transportes Metropolitanos de São Paulo (STM), **Marco Antonio Assalve**. “Há 50 anos, o Metrô de São Paulo é um reconhecido símbolo de eficiência, pioneirismo e progresso, conectando pessoas, encurtando distâncias e impulsionando nossa mobilidade urbana e o desenvolvimento da cidade. Atualmente com 91 estações, São Paulo mais do que dobrou a malha metroviária em 20 anos, e segue em plena expansão para melhor atender aos cidadãos, com obras atualmente em andamento na nova Linha 17-Ouro e na ampliação das linhas 2-Verde e 15-Prata. O Metrô tem o claro compromisso de melhorar a cada dia a prestação de serviço aos passageiros”, destaca ele, no cumprimento mais do que especial registrado em nota enviada à Redação da Revista **BRASIL ENGENHARIA**.



SACYR

Metrô de São Paulo  
50 anos de  
Desafios Cumpridos

www.sacyr.com

FOTO: DIVULGAÇÃO



Vicente Abate, presidente da Associação Brasileira da Indústria Ferroviária (Abifer)

E quem também faz questão de render homenagens à Companhia do Metropolitano de São Paulo pela conquista desse marco histórico de maneira muito carinhosa, é o presidente da Associação Brasileira da Indústria Ferroviária (Abifer), **Vicente Abate**: “Não se pode imaginar o que seria de nossa cidade se não tivéssemos o Metrô, uma rede integrada aos trens de superfície e ônibus, que possui atualmente 104,4 km de extensão. Sem ele, muito provavelmente,

vivenciaríamos o caos no já atribulado transporte da Região Metropolitana de São Paulo. E a boa notícia é que ele caminha para importantes e decisivas expansões. Por exemplo, há previsão de expansões em praticamente todas as linhas, além de novas construções, já em andamento. Serão cerca de 40 km adicionais, representados pelos prolongamentos das linhas 2-Verde, 4-Amarela, 5-Lilás e 15-Prata e pela construção das linhas 6-Laranja e 17-Ouro. Há também projetos correntes para a construção de três novas linhas: a 19-Celeste, a 20-Rosa e a 22-Marrom, que agregariam mais de 70 quilômetros à rede”, pontua em seu comentário.

Outro aspecto que Abate faz questão de enaltecer, é também a eficiência energética gerada pela CMSP que, segundo matéria divulgada em 22 de abril, em comemoração ao “Dia da Terra”, deixou de emitir 648.000 toneladas de CO2 na atmosfera, em 2023, além de proporcionar ganhos sociais de 12,99 bilhões de reais. “Por tudo isso, a indústria ferroviária brasileira se orgulha de ser fornecedora de trens e materiais ao Metrô e colabora com a empresa na re-

FOTO: DIVULGAÇÃO



Massimo Giavina, 1º Vice-presidente do Sindicato Interestadual da Indústria de Materiais e Equipamentos Ferroviários e Rodoviários (SIMEFRE)

dução de sua pegada de carbono, através da entrega de trens e materiais sustentáveis e inovadores, projetados e construídos por brasileiras e brasileiros”, salienta, enfatizando o estágio de competência e excelência do modelo de fornecimento dos equipamentos de transporte destinados a esse tipo de modal metroferroviário.

E o mesmo sentimento é compartilhado por **Massimo Giavina**, 1º Vice-presidente do Sindicato Interestadual da Indústria de Materiais e Equipamentos Ferroviários e Rodoviários (SIMEFRE), entidade cuja missão é a de incentivar o transporte sobre trilhos, quer seja de passageiros, quer de carga.

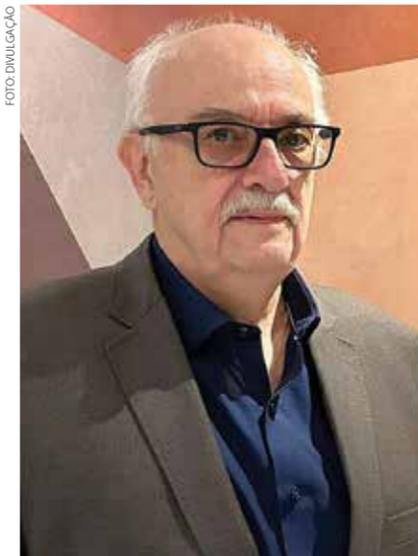
“É inegável a excelência desse meio de transporte, reconhecido, inclusive, pela The International Association of Public Transport (UITP), da qual sou representante no Brasil, como um dos melhores metrô do mundo, que ao longo dos anos manteve a qualidade no atendimento e vem conseguindo chegar às regiões mais periféricas, garantindo qualidade de vida para os cidadãos menos pri-

vilegiados. E, ao longo desses 50 anos, as empresas associadas ao SIMEFRE sempre atuaram como parceiras do Metrô de São Paulo, ofertando equipamentos e tecnologia de ponta. Como entidade que luta pelo desenvolvimento do transporte sobre trilhos, nós do SIMEFRE desejamos os melhores caminhos para o Metrô de São Paulo. Logo, é com enorme alegria que parabenizamos o Metrô de São Paulo pelos seus 50 anos, com a consciência de que estamos lutando juntos pelo desenvolvimento do transporte sobre trilhos”, registra o executivo.

#### PALAVRA DO FORNECEDOR

Quem também faz questão de prestar homenagens ao Metrô de São Paulo pelas suas cinco décadas de operação comercial é o Eng. **Carlos Antonio Navas Viani**, diretor de Engenharia da Sener Setepla, uma das empresas que mais vem se destacando no fornecimento de tais soluções para o Metrô de São Paulo ao longo de toda a sua trajetória, não só no âmbito da elaboração de projetos, como também no das atividades de supervisão e gerenciamento da implantação de suas obras.

FOTO: DIVULGAÇÃO



Carlos Viani, diretor de Engenharia da Sener Setepla

“Durante todo esse tempo, estive envolvido em atividades de planejamento de transportes que contribuíram para a formulação de seus vários estudos para a elaboração da rede metroviária atual. Nossa atuação engloba tanto as linhas já implantadas e em operação, como também as em expansão, sendo estas as linhas 1-Azul, 2-Verde, 3-Vermelha, 4-Amarela, 5-Lilás, 6-Laranja, 15-Prata e 17-Ouro”, afirma.

Na área de projetos, em espe-

cial, a Sener Setepla é uma das poucas empresas com participação não só na área de projetos civis e de arquitetura, como na de sistemas, com atividade estendida, inclusive, aos equipamentos componentes de todo o sistema metroviário, pátios de manutenção e terminais de ônibus integrados às diversas linhas, por meio de soluções completas e totalmente integradas, facilitando a otimização por meio da elaboração em BIM.

Os projetos de arquitetura e civis da empresa englobam todas as estações, poços, estruturas e túneis em seus mais variados métodos construtivos. Na área de sistemas temos desenvolvido projetos de sistemas auxiliares, alimentação elétrica, telecomunicações, sinalização e centro de controle operacional, destacando-se os subsistemas de instalações elétricas e hidráulicas, ventilação, tração, portas de plataforma, terceiro trilho e rede aérea, bem como toda a infraestrutura para a implantação dos referidos sistemas, assim como a coordenação dos espaços para tal. E, no que tange à via permanente, a Sener Setepla foi pioneira em diversas ocasiões, como no advento da implantação dos sistemas

FOTO: MÂRCIA ALVES / METRÔ-SP



Obras Pátio Ragueb Chohfi, Linha 15-Prata

Projetos de Engenharia e Arquitetura

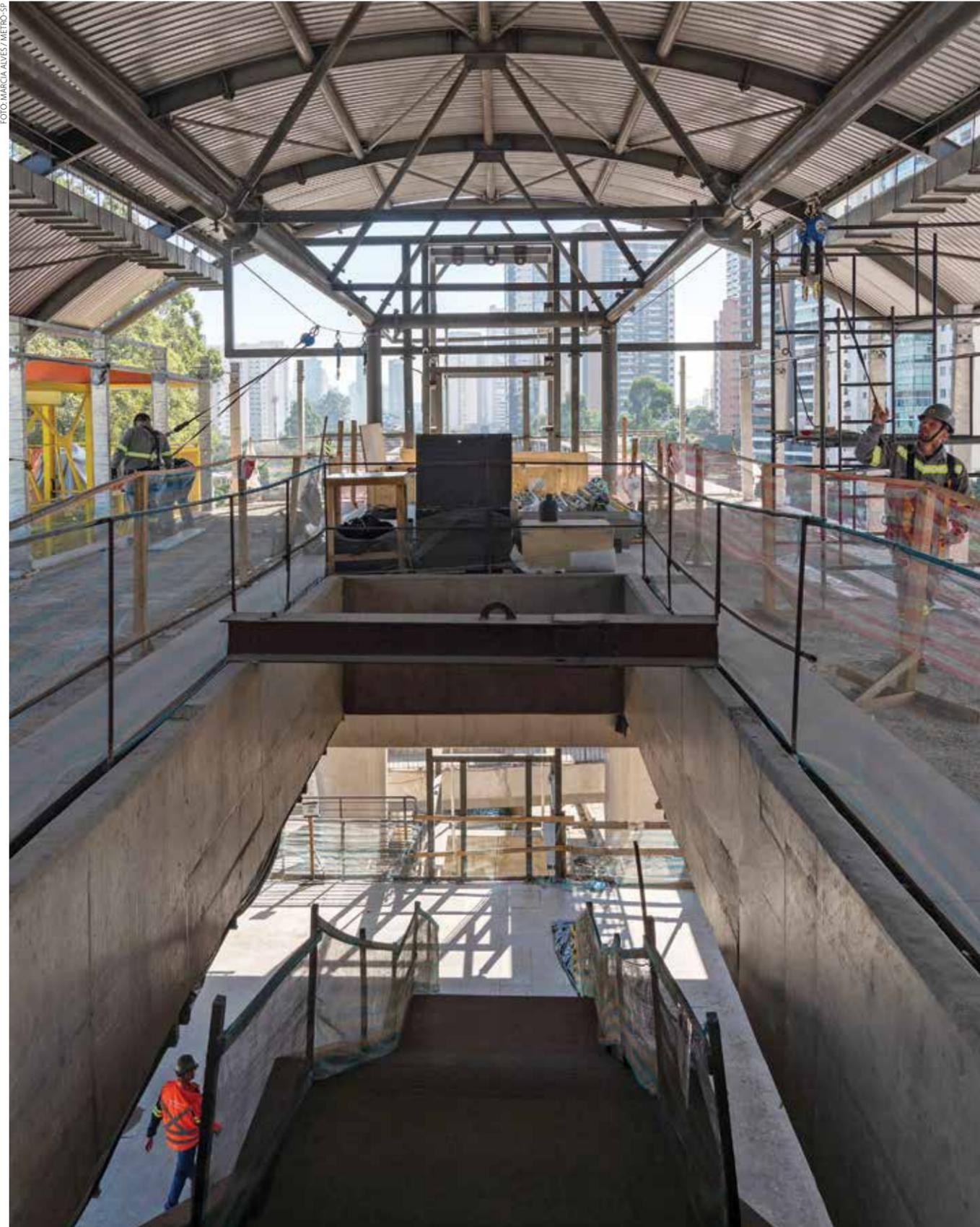
Gerenciamento e Fiscalização

Estudos de Engenharia

Meio Ambiente

multiBIM multiTEC

multiplano  
engenharia



Obras Estação Vereador José Diniz, Linha 17-Ouro

atenuantes de ruídos e vibrações, buscando parcerias internacionais quando do início da implantação desse tipo de tecnologia, sendo que sua participação em tais projetos se estende também aos dois mon trilhos e às linhas já concessionadas do Metrô de São Paulo.

Cabe salientar também a participação da empresa, nos anos 1980 e 1990, nos estudos e na implantação do corredor de trólebus São Mateus-Jabaquara, precursor do BRT no Brasil, por meio do desenvolvimento dos projetos funcionais, básicos e executivos, e o gerenciamento e supervisão de toda a sua implantação, compreendendo os projetos de desvios de tráfego e sinalização para a implantação das obras e a operacionalização do tráfego durante o período de obras.

“Adicionalmente, ao longo de muitos anos, vimos também nos destacando por nossa colaboração nos estudos de planejamento da Rede Metropolitana de Transportes, inicialmente com a participação nas ‘Pesquisas de Origem e Destino, de 1987 e 2007, e nos planos diretores, por meio de associação com empresas e consultores estrangeiros, momento em que foram desenvolvidas ferramentas de planejamento de transporte e uso do solo para a formulação e atualização de tais planos, tais como



Túnel de ligação Aeroporto de Congonhas, Linha 17-Ouro

o Plano Integrado de Transporte Urbano (PITU). Dessa forma, a participação da Sener Seteplao ao longo desses anos nos empreendimentos metroviários tem procurado acompanhar os padrões exigidos pela CMSP, empresa de referência técnica mundial, quer seja pelo aprimoramento de soluções brasileiras, quer seja agregando soluções decorrentes de sua experiência internacional em vários países”, registra Viani.

E ele fala com autoridade, porque o Grupo Sener, presente no mundo todo, tem participado dos mais variados projetos metroviários, incluindo tecnologias inovadoras, tais como o

ACROT, ferramenta que possibilita a assessoria de controle de riscos de operação de tuneladoras, já aplicado, inclusive, no Brasil, e o RESPIRA, Inteligência Artificial para controlar e melhorar os sistemas de ventilação, já operando em alguns países. “Somos testemunhas da brilhante trajetória do Metrô de São Paulo, notoriamente conhecido pelo padrão de referência e aprimoramento técnico ao longo do tempo. Sentimo-nos orgulhosos em colaborar em suas mais variadas atividades e empreendimentos ao longo desses 50 anos, e esperamos continuar fazendo parte dessa história de sucesso”, faz questão de enfatizar.

- Supervisão e Controle Centralizado de Processos
- Sinalização Metroferroviária CBTC
- Telecomunicações
- Sistemas Elétricos
- Portas de Plataforma
- Bilhetagem Eletrônica
- Sistemas Eletromecânicos Auxiliares
- Material Rodante
- Segurança em Transporte
- Auditoria Técnica
- Supervisão e Fiscalização de Empreendimentos
- Especificações e Projeto
- Integração de Sistemas



**Engenharia de Sistemas em Transportes**

[www.smz.com.br](http://www.smz.com.br)

Rua Fidalga, 146 - Conj.21 - Pinheiros - São Paulo - SP  
 Telefone (11) 3095-6144 - Email: [info@smz.com.br](mailto:info@smz.com.br)

## TRANSPORTE PÚBLICO NO BRASIL: UMA REFLEXÃO IMPORTANTE

Sem dúvida, o momento da comemoração dos “50 Anos do Metrô de São Paulo” é motivo de orgulho e alegria. Mas também enseja novas discussões sobre os caminhos que o transporte público no Brasil terá que trilhar rumo ao seu aperfeiçoamento, e ao estabelecimento de um estágio superlativo e ideal.

Os problemas a ele relacionados nem de longe são novos, e vêm sendo debatidos há anos. E não são apenas as grandes capitais, como São Paulo e Rio de Janeiro, as afetadas. No geral, o Brasil passa por um momento muito delicado relacionado a essa questão, com implicações para os usuários de ônibus, trens e metrô.

“Talvez o impacto mais significativo tenha sido durante a pandemia da COVID-19, que gerou graves sequelas para esse setor, sobretudo no âmbito financeiro. Com todas as medidas impostas para preservar a saúde e a segurança da população, que contribuíram para o decréscimo no número de passageiros, houve significativa redução na receita das empresas, afetando manutenção, operação e investimentos necessários para manter a qualidade dos serviços”, explica o advogado, consultor em Direito Público e Relações Institucionais, e mestre em Direito pela Universidade de Fortaleza (Unifor), Matheus Teodoro.

E ele vai além, argumentando que a situação pode ser ainda mais grave do que aparenta ser. De acordo com uma pesquisa feita em 2023 pela Confederação Nacional de Municípios (CNM), 53% das cidades que possuem transporte público instituído não são capazes de subsidiar esse sistema completamente, muitas vezes dependendo de recursos externos para tal. Como consequência, 28 milhões de pessoas moram em áreas que podem ver o transporte coletivo deixar de existir devido à impossibilidade de mantê-lo. Inclusive, 89% dos municípios que responderam ao levantamento da CNM apontaram que necessitam de uma política federal de transferência permanente de recursos para custeio operacional. Ainda de acordo com os dados coletados, para evitar a paralisação do transporte público, muitas das cidades têm subsidiado a diferença entre a tarifa social e a técnica, porém essa solução não é sustentável a longo prazo, tendo em vista, especialmente, a reserva do possível.

**CARÁTER HUMANÍSTICO** - O que pode ser feito, então, para tentar reverter a situação? A resposta, obviamente, não é simples, mas algumas ponderações podem ser feitas para colocarmos algumas opções na “mesa”. É Matheus Teodoro que começa a delinear a resposta. “Em primeiro lugar, existe a necessidade de se enxergar o caráter social e humanístico do transporte público, pois não se trata, tão só, de meios de transporte, mas de verdadeiro assegurador de direitos – desde um deslocamento até uma instituição de saúde ou de ensino, passando por idas a postos de atendimento em busca de confecção de documentos. A partir do momento que conseguimos nos apropriar desse ‘papel’ passamos a olhar o transporte público de outra forma, como algo essencial”, afirma.



Matheus Teodoro, consultor em Direito Público e Relações Institucionais

Além disso, ainda segundo ele, os gestores do setor têm que entender o que leva as pessoas a se locomoverem de um ponto a outro e qual a razão de escolher o transporte público em si. A depender dos motivos desses deslocamentos da população, é possível entender melhor qual modal melhor atende àquele grupo ou aquela localidade, por exemplo.

“E quando entendemos o que leva a população a optar por meios de locomoção públicos conseguimos enxergar o que é mais importante para os usuários – se é o tempo da viagem, se é o valor da passagem, se é a qualidade ou conforto do meio de transporte escolhido. Isso ajuda o Poder Público a pensar e desenhar soluções que vão para além do diálogo com as concessionárias e permissionárias que prestam os serviços de transporte público, bem como discussões que foquem tão só em tarifas, e foque, também, em infraestrutura, novos modais, melhor integração entre os meios já existentes,

além de outras necessidades”, contextualiza.

Pensando em algo mais concreto e em sintonia com o cenário atual em que vivemos, no qual há um olhar cada vez mais atencioso e necessário para práticas de sustentabilidade e acessibilidade, principalmente soluções ESG (sigla em inglês para Environmental, Social, and Governance – Governança Ambiental, Social e Corporativa), se pensar em formatos alternativos parece obviamente lógico. São medidas que não só podem propiciar mais benefícios e comodidade para a população, como são de bom grado para as próprias empresas e cooperativas de transportes, haja vista que poderão focar muito mais em trajetos e itinerários eficientes, ofertando um serviço de maior qualidade, tendo até mesmo redução de frotas e custos, e se alcançando tarifas mais justas e que não só remunerem os serviços prestados como, naturalmente, deem o lucro necessário (e esperado).

“Tudo isso passa, naturalmente, não só por entender as necessidades dos usuários, de um diálogo com os operadores dos sistemas, mas, também, por melhorias em infraestrutura e em outras áreas ligadas diretamente ao uso de vias públicas, como, por exemplo, segurança pública”, pondera Teodoro.

Vale lembrar ainda que, acerca do tema do transporte no Brasil, está em tramitação no Congresso Nacional uma minuta do novo Marco Legal do Transporte Público Coletivo, criado pelo Ministério das Cidades, tem como objetivo aprimorar a Política Nacional de Mobilidade Urbana (PL 3278/2021), e criar uma rede de transporte público coletivo mais eficiente. O projeto visa a uma reestruturação do modelo de prestação de serviços de transporte público coletivo, a fim de integrar diferentes modos de transporte e serviços complementares e oferecer uma rede única de transporte acessível e universalizada.

“O Marco foi elaborado com a participação ativa da população e com o apoio do Banco Interamericano de Desenvolvimento, BID. Depois de receber mais de 800 contribuições por meio de consulta pública, o texto passou por revisões que consideraram as sugestões da consulta e do Fórum Consultivo de Mobilidade Urbana, além de ajustes jurídicos, visando a atender às demandas regulatórias e críticas identificadas. Então, agora, é hora de pensar o que pode advir da aprovação dele, e, talvez – o que é muito recomendável –, começar a agir proativamente”, finaliza o consultor.

### PRIVATIZAÇÃO NA MIRA?

Em maio, um pronunciamento dado pelo governador **Tarcísio de Freitas**, durante a conferência promovida em Nova York (EUA) pelo grupo Itaú BBA Latin América chamou muita atenção entre os analistas econômicos de plantão. Na ocasião, ele explicou as medidas administrativas que o Estado de São Paulo tem adotado para garantir a eficiência da gestão e priorizar a atração de recursos e oportunidades.

“Um Estado que tem 330 bilhões de reais de orçamento precisa ter fôlego para investimentos. Por isso, estamos fazendo um grande exercício para reduzir despesas e custeio, renegociar dívidas e rever benefícios tributários que não se traduzem mais em Capex – investimentos em bens de capital – ou empregos para o estado. Com isso, es-



Tarcísio de Freitas, governador do Estado de São Paulo

tamos construindo um Estado com maior capacidade de investimento”, afirmou à interessada plateia.

E muita gente não pôde deixar de ligar o discurso do líder do Executivo paulista a uma manifestação

dada por ele no final de agosto do ano passado, dando conta da contratação de uma consultoria – a International Finance Corporation (IFC), ligada ao Banco Mundial, a mesma que foi contratada por seu governo estadual para apreciar o modelo de privatização da Sabesp –, com o objetivo de estruturar uma eventual concessão/ privatização das linhas da Companhia ainda em 2025, por meio de um leilão.

Assim, embora não exista muita informação sobre a dita “modelagem”, o objetivo da possível ação permanece claro: aumentar o investimento e reduzir custos, melhorar a situação financeira, quer sob a forma de uma concessão, quer de uma privatização, que vai determinar o que vai acontecer com o Metrô após a tabulação final desses dados. E a impressão que fica é que o futuro dirá. 🚇

## Segurança, conforto e economia andam juntos



Rua MMDC, 450 - 2º andar, Butantã,  
São Paulo - SP - CEP 05510-020.  
Telefones: (11) 3816-8166 / 5643-1414  
E-mail: [contato@iemebrasil.com.br](mailto:contato@iemebrasil.com.br)  
Site: <https://iemebrasil.com.br>



Av. Pirajussara, 5203 - Instituto de Previdência,  
São Paulo - SP - CEP 05534-000.  
Telefone: (11) 3751-4653.  
E-mail: [contato@laede.com.br](mailto:contato@laede.com.br)  
Site: <https://laede.com.br>

### Nossos serviços:

- Instrumentação de via permanente
- Monitoramento de vibrações e ruídos
- Ensaios para a área metroferroviária
- Análise experimental de componentes
- Projetos de superestrutura de via permanente
- Modelos numéricos
- Projetos de sistemas amortecedores de vibrações e barreiras acústicas
- Homologação de estruturas
- Inspeção acreditada de projetos e obras de engenharia (OIA - INMETRO)

Ensaio  
ABNT NBR  
ISO/IEC 17025



Inspeção Acreditada  
NBR ISO/IEC  
17020





# Sistema digital de monitoramento e gerenciamento do consumo e qualidade de energia no Metrô

VITOR MAZZEI\* / RUAN STREITENBERGER GUEDES\*\* / ALECIO HIRANO\*\*\* / CARLOS ALBERTO DE SOUSA\*\*\*\* / GABRIEL OTTA RUI\*\*\*\*\*

## INTRODUÇÃO

O acompanhamento mensal do consumo de energia de cada uma das subestações de energia do Metrô-SP é realizado, atualmente, por meio de leitura presencial periódica efetuada pelos funcionários operativos de cada estação.

Com objetivo de trazer inovação tecnológica e modernizar a métrica de energia praticada, o Metrô-SP optou pela implantação e substituição de seus dispositivos de medição eletromecânicos, existentes nas linhas 1-Azul, 2-Verde e 3-Vermelha, por dispositivos analisadores digitais de qualidade de energia, para permitir a perfeita compreensão da distribuição e fluxo de energia nos principais pontos consumidores do sistema metroviário, de forma remota em tempo real.

O sistema de monitoramento de energia é uma iniciativa integrada ao Sistema de Monitoramento de Ativos-SMA,

que faz parte do Plano de Negócios da Companhia e uma das principais necessidades do grupo denominado Comitê de Energia, que estuda, gerencia e planeja ações para o aumento da eficiência energética na Companhia. O sistema uma vez implementado, possibilitará a análise e gestão remota deste insumo tão importante para o funcionamento do sistema metroferroviário.

## CONTEXTO E DIAGNÓSTICO

Sistema de alimentação elétrica do Metrô-SP

O Metrô-SP é um grande consumidor de energia elétrica e este insumo representa o segundo maior custo operacional para a Companhia. Em 2023, o sistema metroviário da Cidade de São Paulo consumiu 431GWh de energia elétrica, sendo 302GWh dedicados para suprir o sistema de tração dos trens. Em termos de custo, esse montante representou 189 milhões de reais (METRÔ-SP, 2023).

Mas a importância da energia não diz respeito somente ao seu grande impacto no custeio, mas também à importância de sua aplicação para o sistema metroviário para garantir o funcionamento dos trens, estações e demais cargas do sistema.

O Metrô-SP contrata energia da Concessionária no nível de tensão de 88kV nas subestações primárias, onde a tensão é rebaixada e distribuída em uma rede interna em média tensão no nível de tensão de 22kV interligando todas as estações.

Nas estações, aproximadamente 70% da energia consumida alimenta a subestação retificadora, onde a tensão de 22kV é retificada para o nível de 750V corrente contínua para alimentar os trens, e os demais 30% é rebaixada para níveis de baixa tensão pela subestação auxiliar e utilizada para alimentar equipamentos como escadas rolantes, elevadores, bombas, iluminação e demais equipamentos denominados auxiliares nas estações.

A figura 1 ilustra um sistema típico de alimentação elétrica do sistema metroviário.

## SITUAÇÃO ATUAL E OBJETIVO DO MONITORAMENTO DE ENERGIA

A figura 2 detalha o estado da arte atual (esquerda), quando se vê os medidores antigos eletromecânicos, especificamente de uma Subestação Retificadora BBC (Brown Boveri) da Linha 1-Azul e, na imagem central e à direita, uma mo-

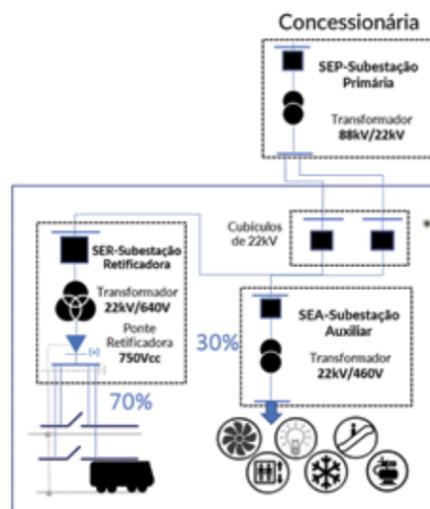


Figura 1 - Sistema típico de alimentação elétrica metroviária



Figura 2 - Projeto de Monitoramento de Energia e os ganhos junto ao Sistema Monitoramento de Ativos (SMA) interligando os Multimeditores de Energia

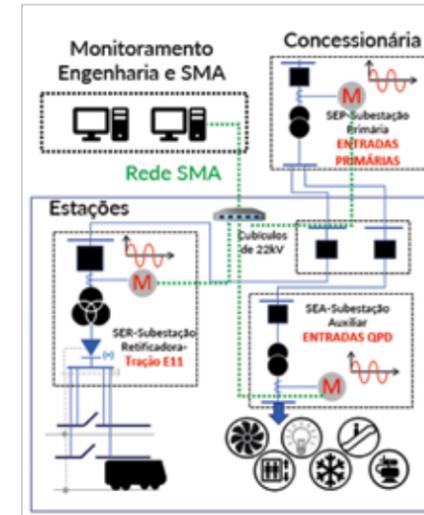


Figura 3 - Pontos de medição e interligação ao SMA

dernização pontual, com analisadores digitais de qualidade de energia elétrica (QEE), com comunicação e gerenciamento remoto.

Em cada uma das subestações das linhas 1-Azul, 2-Verde e 3-Vermelha, mensalmente é realizada uma rotina de leitura efetuada pelos funcionários operativos. Isso traz, não só o inconveniente de estar sempre deslocando um funcionário para efetuar as medições de todos os pontos necessários, mas também imprecisão nas medições e quantificações do consumo de energia elétrica dentro de cada instalação.

Além disso, os dados posteriormente ainda precisam ser trabalhados para se chegar em consolidações estimativas com as leituras realizadas em campo.

Diante dos fatos citados, fica clara a importância de se monitorar a energia elétrica de um sistema complexo como o Metrô-SP.

Para estudar assuntos relacionados ao consumo de energia na empresa, o Metrô constituiu um grupo multidisciplinar formado por especialistas de diversas áreas, denominado Comitê de Energia, que tem por objetivo gerenciar, estudar e implementar ações e projetos voltados ao uso mais eficiente da energia na empresa.

Dentre algumas das ações em estudo por esse grupo, pode-se citar:

- Entender o perfil de consumo dos sistemas e equipamentos;
- Realizar o Gerenciamento de demanda;
- Estabelecer métricas em ações de eficiência energética;



Figura 4 - Gráfico de demanda da subestação retificadora

- Estabelecer o SGE - Sistema de Gestão de Energia conforme a ISO 50001.

Em outras palavras, o projeto sistema digital de monitoramento e gerenciamento do consumo e qualidade de energia no Metrô-SP, tem como objetivo rastrear de forma precisa como a energia elétrica é consumida nos diversos sistemas, além de subsidiar o grupo do Comitê de Energia em todas as ações citadas.

## ESCOPO E IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA

O escopo do sistema de monitoramento de energia no Metrô-SP, prevê a instalação dos dispositivos analisadores de energia, nos principais pontos de consumo do sistema metroviário.

Conforme apresentação do sistema elétrico feita anteriormente, o escopo

da implantação prevê a instalação de 237 dispositivos distribuídos nas subestações, primárias para monitoramento das entradas de energia da Concessionária, nas entradas das subestações retificadoras para monitoramento da alimentação dos trens, e nas entradas das subestações auxiliares para monitoramento da energia consumida pelos equipamentos auxiliares.

A distribuição quantitativa desses pontos fica:

- Analisador/ Multimetador TIPO I - 16 dispositivos (subestações PRIMÁRIAS);
- Analisador/ Multimetador TIPO II - 86 dispositivos (subestações RETIFICADORAS);
- Analisador/ Multimetador TIPO III - 135 dispositivos (subestações AUXILIARES).

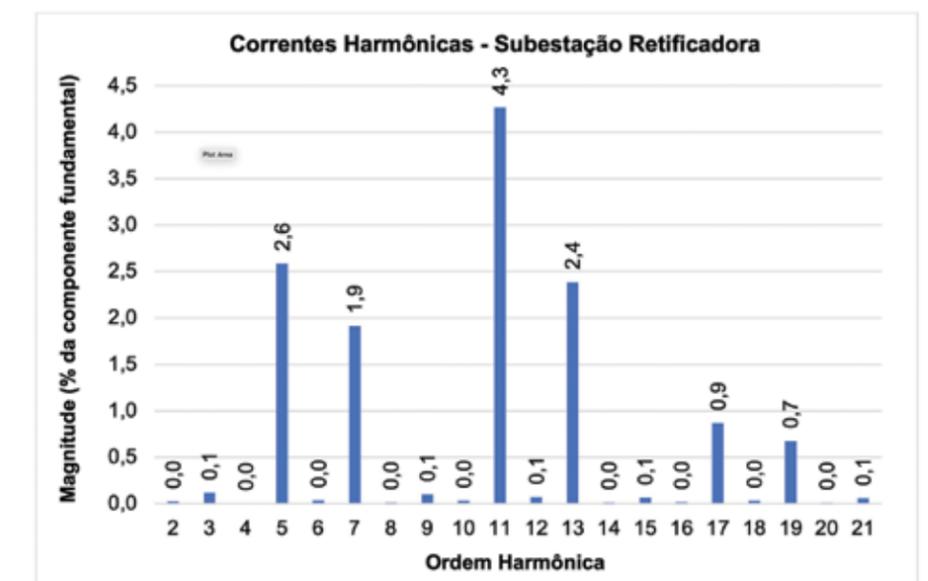


Figura 5 - Correntes Harmônicas de uma subestação retificadora

Para cada nível nos pontos de medição relacionados foi considerado um “tipo” de equipamento, com diferentes especificações técnicas determinadas de acordo com o nível de criticidade, e necessidade de detalhamento dos parâmetros de análise e qualidade de energia elétrica.

Cada dispositivo terá seu próprio endereço de rede e estará conectado via rede de comunicação Ethernet ao Sistema de Monitoramento de Ativos-SMA, conforme ilustrado na figura 3.

O escopo do projeto prevê também, o fornecimento de softwares de manutenção e gerenciamento via web, para permitir a integração dos dispositivos em campo de forma online e remota, serviços de revisão da documentação existente, treinamento do corpo técnico do Metrô-SP, parametrização e programação de todos os dispositivos em rede.

A conclusão da implantação do sistema está prevista para o final do ano de 2024.

#### EXEMPLOS DE APLICAÇÃO

Estudos de caso

Para exemplificar as aplicações práticas do sistema serão apresentados dois estudos de casos, já utilizando os dispositivos com a implantação concluída e integrados à rede de monitoramento.

#### Monitoramento de carga de uma subestação retificadora

Esse estudo de caso apresenta a análise de demanda dos grupos retificadores de tração de uma subestação retificadora da Linha 1-Azul.

Como pode ser observado na figura 4 retirado do software de gerenciamento GridVis Energy Web da Janitza (JANITZA, 2024), o monitoramento online da subestação permite verificar a demanda de potência trifásica em tempo real, o histórico de demanda e ainda comparar o perfil para diferentes subestações.

Exemplos como este são muito utilizados para definição e documentação da linha de base da instalação, conforme citado anteriormente, de acordo com a ISO 50001 e para fazer a comparação após implementações de ações de eficiência energética nas instalações.

#### Avaliação do espectro harmônico de corrente – Subestação retificadora

Esse estudo de caso apresenta a análise das correntes harmônicas de uma

subestação retificadora, que alimenta os trens na Linha 1-Azul do Metrô-SP. O objetivo dessa avaliação foi calcular na prática o fator K utilizado para dimensionamento e estudo do aquecimento em transformadores, que representa as correntes harmônicas geradas por cargas não lineares e indica que o calor gerado devido à corrente distorcida é K vezes maior do que seria gerado para o mesmo valor eficaz de uma corrente sinusoidal pura – somente a fundamental – (LACERDA, 2017).

O fator K pode ser calculado conforme a equação (IEEE Std C57.110™, 2018):

$$K = \sum_{h=2}^{hmax} h^2 \cdot Ih^2$$

Onde:

**h** – índice de ordem da harmônica

**Ih** – fração da corrente total da corrente da ordem harmônica número h.

A figura 5 apresenta uma amostra das correntes harmônicas registradas para uma subestação retificadora da Linha 1-Azul do Metrô-SP.

Os resultados evidenciam as harmônicas de 5ª / 7ª ordem e principalmente as de 11ª / 13ª ordem que são características do tipo de ligação da subestação retificadora em dupla ponte de Graetz, com o transformador de potência trifásico com duplo enrolamento secundário, um em delta e o outro em estrela, conectados às pontes retificadoras a diodos. Essa ligação promove uma defasagem de 30° entre as fases o que gera uma forma de onda na saída com 12 pulsos na saída do retificador (QUEIROZ FILHO, 2018).

Calculando o Fator K por meio da aplicação da equação (1) com os valores obtidos conforme figura 5, é obtido o resultado de **1,032**.

#### CONCLUSÃO

Este artigo apresentou o projeto do sistema digital de monitoramento e gerenciamento do consumo e qualidade de energia no Metrô-SP.

Foi apresentado o escopo e contexto enfatizando as dificuldades atuais enfrentadas, assim como destacado a importância do monitoramento de energia para empresa.

Por fim, foi apresentado dois exemplos de aplicação com estudos práticos realizados pela engenharia, já explorando as capacidades e informações coletadas pelos dis-

positivos, exibidas por meio dos softwares de gestão que fazem parte do projeto.

O projeto trará inúmeros benefícios para a empresa, destacando o poder de análise e a gestão precisa da utilização da energia nos principais pontos consumidores do sistema ferroviário, o que trará uma outra visão e maior transparência nos processos relacionados ao insumo energia elétrica.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] **IEEE STD C57.110™**. (2018). IEEE Recommended Practice for Establishing Liquid-Immersed and Dry-Type Power and Distribution Transformer Capability When Supplying Nonsinusoidal Load Currents.

[2] **JANITZA**. (2024). Fonte: <https://www.janitza.com/>.

[3] **METRÔ-SP**. (2023). Fonte: <https://www.metro.sp.gov.br/https://ri.metrosp.com.br/wp-content/uploads/2024/03/Relatorio-integrado-2023.pdf>.

[4] **LACERDA, G. S.** (2017). Análise da influência de cargas não-lineares em dispositivos de medição de grandezas elétricas. Fonte: <http://www.monografias.ufop.br/handle/35400000/435>.

[5] **QUEIROZ FILHO, H. T.** (2018). Descrição do sistema de tração elétrica aplicado ao Metrô de Fortaleza (METROFOR). Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará: 83f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica).

\* **Vitor Mazzei** é Engenheiro Eletricista, Coordenador no Metrô-SP

E-mail: [vmazzei@metrosp.com.br](mailto:vmazzei@metrosp.com.br)

\*\* **Ruan Streitenberger Guedes** é Engenheiro Eletricista, Engenheiro Especializado no Metrô-SP

E-mail: [rsguedes@metrosp.com.br](mailto:rsguedes@metrosp.com.br)

\*\*\* **Alecio Hirano** é Engenheiro Eletricista com ênfase em eletrônica, Técnico Especializado no Metrô-SP

E-mail: [alecio\\_hirano@metrosp.com.br](mailto:alecio_hirano@metrosp.com.br)

\*\*\*\* **Carlos Alberto de Sousa** é Engenheiro Eletricista, Supervisor de Manutenção no Metrô-SP

E-mail: [carlosousa@metrosp.com.br](mailto:carlosousa@metrosp.com.br)

\*\*\*\*\* **Gabriel Otta Rui** é Engenheiro Eletricista, Engenheiro no Metrô-SP

E-mail: [gorui@metrosp.com.br](mailto:gorui@metrosp.com.br)

# O gerenciamento de áreas contaminadas na expansão do Metrô de São Paulo

LUIZ AUGUSTO S. TAQUEDA\* / VITOR CARNEIRO FERRÃO\*\*

O Metrô não é apenas responsável pela operação de um sistema de transporte seguro e eficiente. Também é de responsabilidade da Companhia do Metropolitan de São Paulo – Metrô planejar o crescimento da rede, e gerenciar a maior parte das obras de expansão que acontecem atualmente na metrópole.

E é justamente nas fases de planejamento e implantação que o Metrô também exerce um papel essencial na preservação do meio ambiente e na proteção da saúde e segurança das pessoas: “Zelar pela qualidade dos solos e da água subterrânea dos locais que serão ocupados por suas estruturas. Sejam elas túneis, estações, poços de ventilação, pátios de manutenção, elevados etc.”

Evitar danos ambientais decorrentes de contaminações em subsuperfície é uma preocupação das empresas que executam obras de grande impacto no meio ambiente subterrâneo, sobretudo porque dar causa a poluição de qualquer natureza, em níveis que afetem a saúde e o meio ambiente, é considerado crime ambiental previsto na Lei Federal nº 9.605 de 12 de fevereiro de 1998. No Estado de São Paulo o tema passou a ser regulamentado a partir de julho de 2009 com a publicação da Lei Estadual nº 13.577 de 08 de julho daquele ano. Ela define área contaminada como:

“Área, terreno, local, instalação, edificação ou benfeitoria que contenha quantidades ou concentrações de matéria em condições que causem ou possam causar danos à saúde humana, ao meio ambiente ou a outro bem a proteger.” (LEI Nº 13.577, DE 08 DE JULHO DE 2009).

Desde então, regramentos vigentes que já haviam sido desenvolvidos pelo órgão ambiental estadual foram aprimorados e as diretrizes para o gerenciamento de áreas contaminadas ganhou nova dimensão, pensando-se, sobretudo, em se padronizar os procedimentos adota-

dos pelos empreendedores. Com isso, as técnicas e tecnologias de diagnóstico e tratamento deste tipo de passivo ambiental seguiram em franca evolução, e têm uma ligação estreita com o licenciamento das atividades potencialmente

poluidoras. O Metrô elaborou, em 2010, diretriz interna acerca do tema para seus empreendimentos. O documento está em constante processo de atualização, tendo sido atualizado em 2015 e mais recentemente em 2021 pela Gerência de

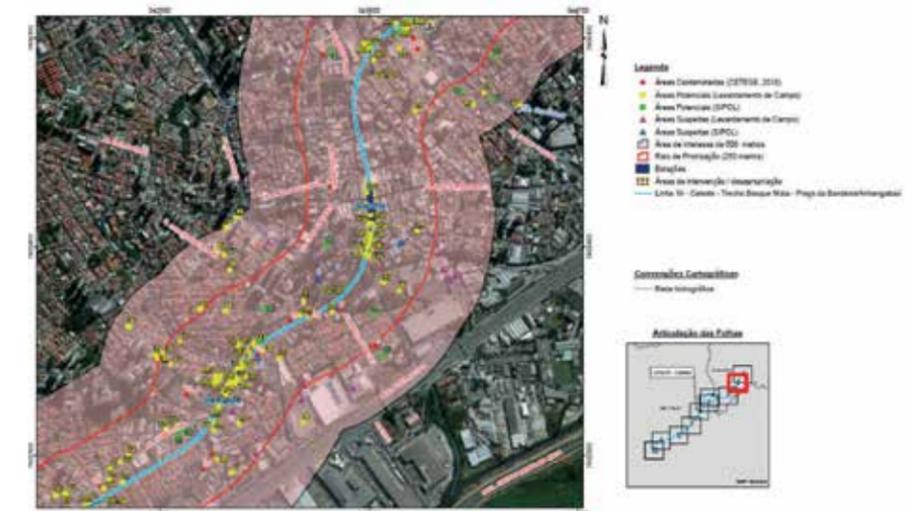


Figura 1 - Exemplo de Mapa das Áreas com potencial, suspeitas e contaminadas – Definição da Região de Interesse, Identificação de Áreas com Potencial de Contaminação e Avaliação Preliminar da Linha 19-Celeste – Trecho Bosque Maia – Praça da Bandeira / Anhangabaú. Consórcio Walm Analítico Aragon/2019

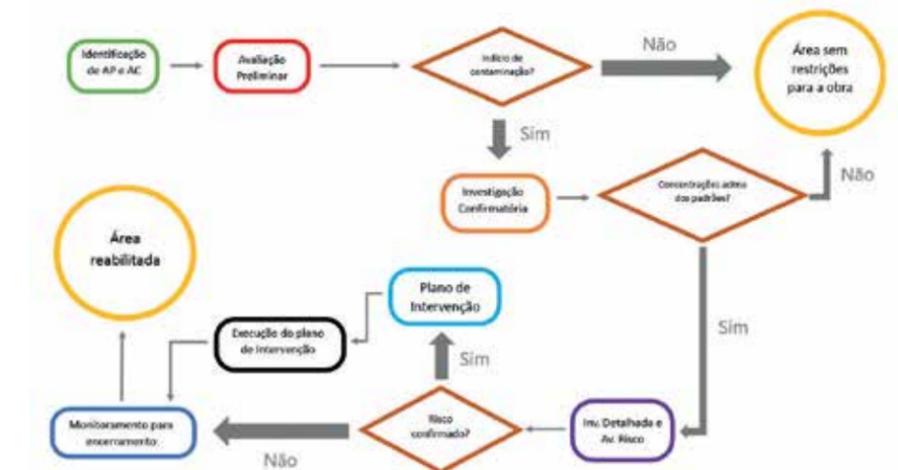


Figura 2 - Fluxograma de Avaliações Ambientais Preliminares

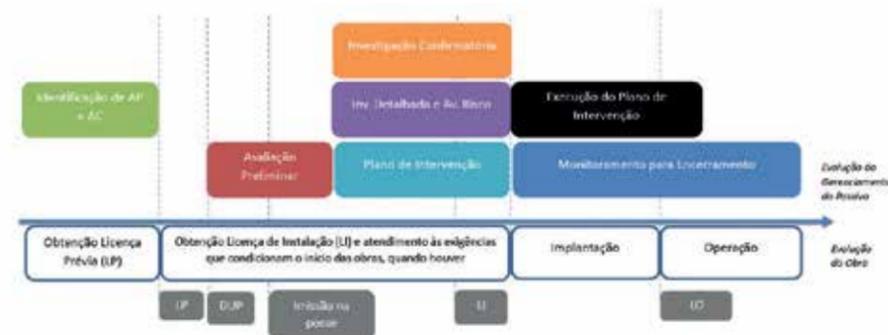


Figura 3 - Etapas do gerenciamento das áreas contaminadas

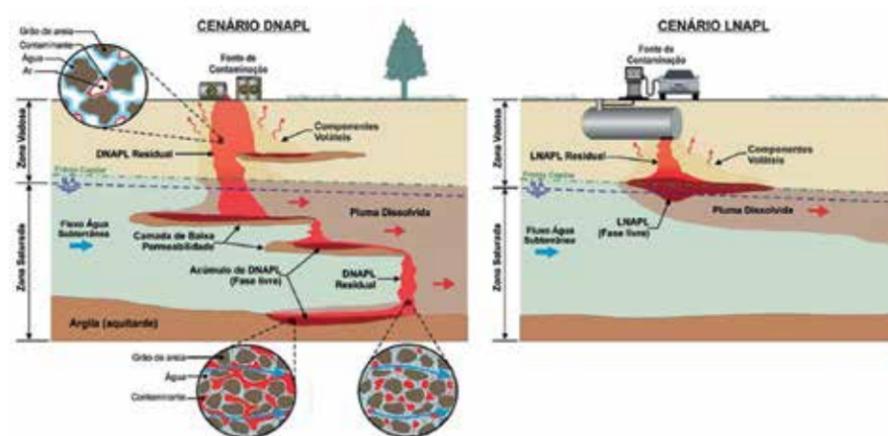


Figura 4 - Agentes contaminantes (Fonte: <https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/conceitos-sobre-transporte-de-substancias-nas-zonas-nao-saturada-e-saturada/>)



Figura 5 - Remoção de tanque de combustível subterrâneo no Pátio Itaquera da Linha 3-Vermelha (arquivo Metrô)

Planejamento e Meio Ambiente da Companhia com a colaboração das Gerências de empreendimentos. Na medida em que ocorrem atualizações legais e normativas para o Gerenciamento de Áreas Contaminadas, o grupo de trabalho é reunido com a finalidade de promover sua revisão.

Os empreendimentos do Metrô são submetidos a um rigoroso processo de licenciamento, no qual são realizados diagnósticos dos meios físico, biótico e socioeconômicos e propostos programas ambientais, que visam controlar os impactos causados nas fases de planejamento, implantação e operação. Atualmente cabe à Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – Cetesb, conceder as licenças prévia, de instalação e de operação das linhas de metrô. E a própria Cetesb, como agência responsável por licenciar, monitorar e fiscalizar as atividades poluidoras no Estado, também é criadora de procedimentos publicados na forma de Decisões de Diretoria e Instruções Técnicas, que orientam as empresas sobre como planejar e executar os programas ambientais de seus empreendimentos.

O estudo de identificação das áreas com potencial de contaminação e declaradamente contaminadas ao longo do traçado, ocorre antes da elaboração do Anteprojeto de Engenharia e se constitui como uma das principais atividades no diagnóstico do meio físico das áreas de influência do empreendimento (figura 1).

A etapa de identificação destas áreas tem o intuito de criar uma relação de estabelecimentos, para os quais o tipo de uso atual ou pretérito são potencialmente poluidores. A partir desta relação, são realizadas Avaliações Ambientais Preliminares das áreas nas quais são feitos levantamentos de informações em campo e de documentação existente sobre a área, consultas a processos abertos na Agência Ambiental da Cetesb, informações espaciais etc., identificando possíveis fontes primárias de contaminação e traçando-se um plano de Investigação Confirmatória se necessário. A etapa de Investigação Confirmatória já pressupõe a necessidade de realização varredura de campo de coletas de amostras de material em subsuperfície para análise (solo, água subterrânea e vapores). A partir dos resultados obtidos, o gerenciamento pode evoluir para novas etapas com a elaboração de Investigação Detalhada (delimitação da contaminação), Avaliação

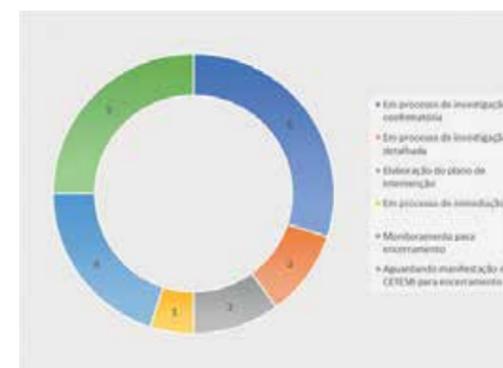


Figura 6 - Gráfico por fase de gerenciamento

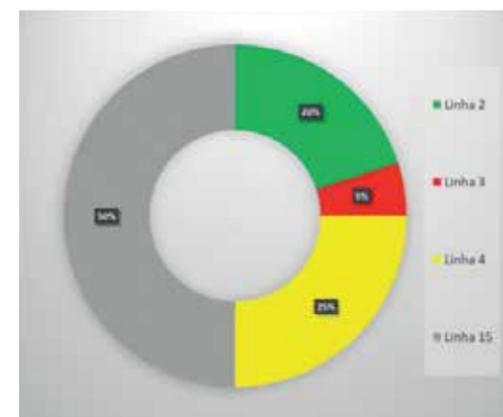


Figura 7 - Gráfico por empreendimento

ção de Risco à Saúde Humana, elaboração de um Plano de Intervenção e campanhas de monitoramento.

Em linhas gerais, as etapas subsequentes ocorrem de acordo com o fluxograma apresentado na figura 2.

Em suma, o fato de uma eventual contaminação colocar em risco a saúde dos

trabalhadores ou frequentadores das áreas é determinante para direcionar o gerenciamento, trazendo consigo a necessidade de intervenção e adoção de medidas de controle institucional que podem ser simplesmente o monitoramento da evolução das concentrações até a descontaminação da área até índices aceitáveis e que não caracterizam mais risco para cenários reais (inalação de voláteis, ingestão de água contaminada, contato dérmico etc.).

O diagrama da figura 3 posiciona as etapas do gerenciamento das áreas contaminadas em função da fase do empreendimento desde a obtenção da Licença Prévia até sua entrada em operação.

Mas como se caracterizam os riscos intrínsecos à contaminação?

Antes de apresentar um exemplo prático de contaminação que foi gerenciada no Metrô, é importante exemplificar as principais atividades com potencial de causar contaminação, detalhar as matrizes que podem ser impactadas por categoria de contaminação, as vias de acesso e mecanismos de transporte dos contaminantes no

subsolo bem como os riscos associados aos diferentes cenários de utilização ou ocupação.

Em 8 de fevereiro de 2017 a Secretaria Estadual de Meio Ambiente – SMA publicou a Resolução SMA nº 10 contendo uma lista de 36 atividades potencialmente geradoras de áreas contaminadas aos Códigos



Figura 9 - Interior da VCA Conde de Itu (Foto: Luiz Taqueda, 19/08/2015)

existentes na Classificação Nacional de Atividades Econômicas – CNAE, dentre as quais estão atividades industriais de uma forma geral, armazenamento de resíduos e materiais perigosos, comércio de combustíveis, oficina mecânica, manutenção de máquinas e equipamentos etc. Estabelecimentos que comportem ou tenham comportado alguma das atividades listadas nesta Resolução, estão passíveis de serem submetidos a investigação confirmatória, por serem classificados como áreas potenciais de contaminação ao subterrâneo.

O subterrâneo é um meio que se caracteriza pela existência de uma fase sólida (partículas minerais e matéria orgânica que constituem os solos e rochas) e os poros (espaços vazios). Os poros podem ser preenchidos por ar, água subterrânea ou por uma fase líquida não aquosa (Non-Aqueous Phase Liquid - NAPL). As contaminações presentes no meio subterrâneo concentram-se predominantemente nas fases sólidas, aquosa ou no ar presente nos poros, mas pode se apresentar como NAPL (fase livre). Comumente distingue-se as matrizes que compõem o meio subterrâneo com solo, água subterrânea e ar do solo. A fase não aquosa se divide de acordo com sua densidade em relação à água, podendo ser mais “leve” ou mais “pesada”:

- Low non-aqueous phase liquid – LNAPL



Figura 8 - Ortofoto da área entre a Avenida Adolfo Pinheiro e as ruas Conde de Itu e Dr. Antônio Bent (Google Earth 2008)

- Dense non-aqueous phase liquid – DNAPL

Como veremos a seguir, diferentes agentes contaminantes podem assumir comportamentos distintos quando inseridos no meio subterrâneo. Durante os estudos de investigação, é fundamental detalhar a matriz na qual ele irá se dispersar, permanecerá retido ou em fase livre, mapeando a extensão da contaminação para determinar os riscos e, eventualmente, as medidas de intervenção (figura 4).

Mas a confirmação de contaminação em subsuperfície não caracteriza, por si só, a existência de risco à saúde humana. A avaliação do risco depende de fatores relacionados às substâncias químicas de interesse detectadas nas investigações, suas concentrações e parâmetros físico-químicos, meio em que a contaminação se encontra, cenários de exposição (agrícola, residencial rural, residencial urbano, industrial, comercial e construção civil), possíveis vias de ingresso aos receptores (quem pode estar exposto ao risco), fatores de atenuação e a tolerância estimada para um indivíduo.

Para a determinação das concentrações máximas aceitáveis – CMA – para cada substância causadora de contaminação adota-se a rotina de cálculo de fatores de risco baseada na metodologia da USEPA

(U.S. Environmental Protection Agency), descrita no documento “Risk Assessment Guidance for Superfund–RAGS”.

Os principais dados de entrada referem-se às características do meio, às vias de ingresso, aos cenários de exposição (que estão relacionados à profundidade das contaminações, características das construções, taxa de infiltração, gradiente e condutividade hidráulica, porosidade efetiva etc.) parâmetros físico-químicos e toxicológicos do meio e as concentrações das substâncias químicas de interesse a depender do tipo de contaminação que foi identificada. Estabelecidos os CMA tem-se, portanto, a referência na orientação das medidas de intervenção necessárias para a mitigação ou até a extinção do risco.

**O GERENCIAMENTO DAS ÁREAS CONTAMINADAS NOS EMPREENDIMENTOS DO METRÔ**

Desde que passou a gerenciar as áreas contaminadas de seus empreendimentos o Metrô já reabilitou 15 áreas contaminadas para o uso declarado. Isso significa dizer que no intervalo decorrido entre a identificação da contaminação e o encerramento do gerenciamento, as concentrações de contaminantes causadores de risco à saúde humana foram abatidas a níveis aceitáveis para o tipo de ocupação. Seja por processos de remediação ou pela degradação natural do contaminante.

São áreas que

foram desapropriadas para a construção de estruturas metroviárias das mais diferentes naturezas, como estações, pátios de manutenção, trechos de via elevada, desemboque e emboque de túneis e áreas de apoio para a fase de obras. Inclusive para linhas que foram posteriormente concedidas, mas cuja implantação foi realizada pelo Metrô (casos das linhas 4-Amarela e 5-Lilás), figura 5.

Os gráficos das figuras 6 e 7 são os retratos atuais da estratificação das áreas contaminadas nos empreendimentos do Metrô por fase do gerenciamento e por empreendimento respectivamente.

Dentre as 15 áreas já reabilitadas pelo Metrô, destaca-se uma área desapropriada entre a Avenida Adolfo Pinheiro e as ruas Conde de Itu e Dr. Antônio Bento, em Santo Amaro, que teve papel estratégico para a implantação da Linha 5-Lilás (figura 8).

A área que atualmente dá lugar a uma Subestação Retificadora que serve à operação da Linha 5-Lilás, foi um dos mais importantes canteiros de obras daquele empreendimento. Sua desapropriação viabilizou a partida das duas Tuneladoras que escavaram os túneis singelos do trecho entre a Estação Adolfo Pinheiro e a saída de emergência Bandeirantes, localizada às margens da Avenida dos Bandeirantes, próxima à Estação Eucaliptos e era conhecida como “VCA Conde de Itu” (figura 9).

Ainda na fase de Avaliação Ambiental Preliminar do trecho entre as estações Largo Treze e Adolfo Pinheiro, o terreno foi classificado como área potencial de acordo com levantamento feito pela BTX Geologia e Meio Ambiente em junho de 2008. Naque-

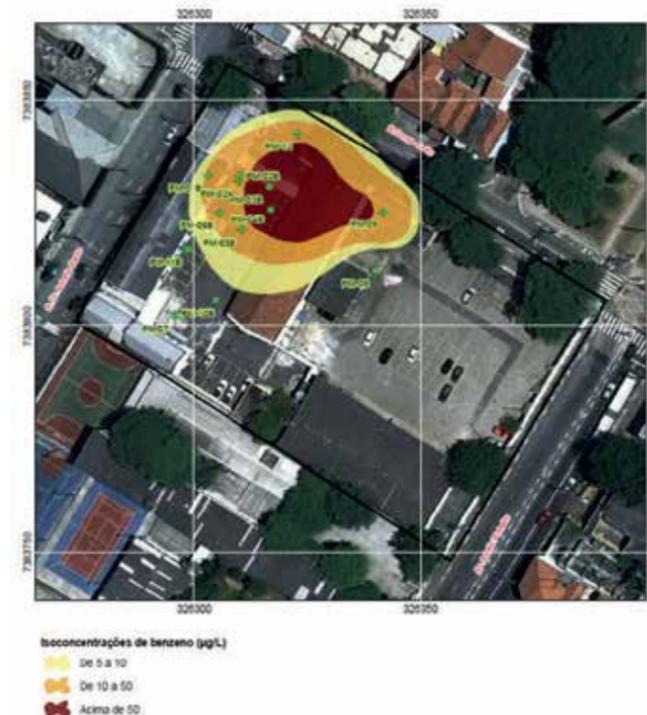


Figura 10 - Pluma de contaminação de Benzeno no nível raso - INVESTIGAÇÃO DETALHADA E AVALIAÇÃO DE RISCO DA AP-05”, WALM 2011

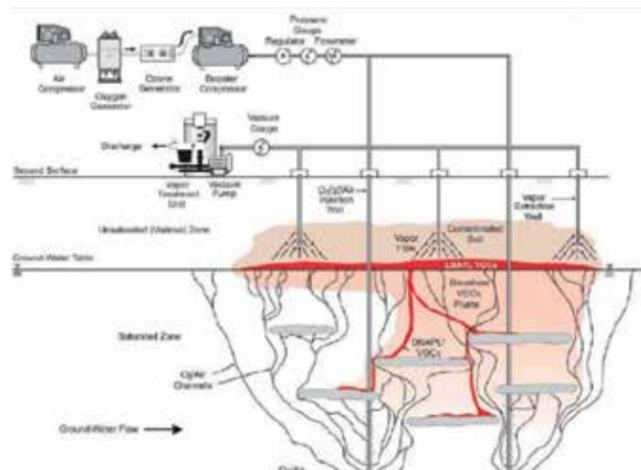


Figura 11 - Representação esquemática de um sistema de Ozone Sparging combinado com o SVE (HULING et al, 2006)

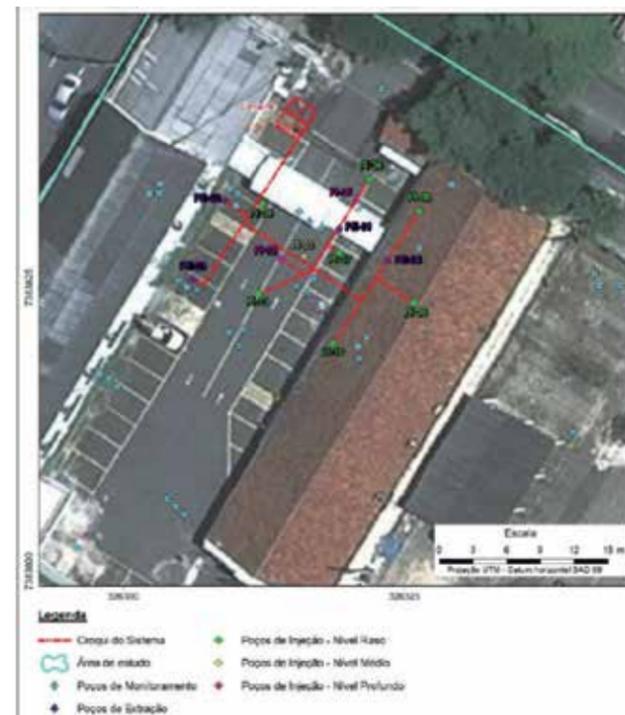


Figura 12 - Croqui do Sistema de Remediação (fonte: “CONCEPÇÃO DO SISTEMA DE REMEDIAÇÃO PARA A ÁREA AP-05”, WALM 2011)

a ocasião apurou-se que a área pertenceu à “The São Paulo Tramway, Light and Power Company Ltd” (em registro relativo ao ano de 1942), nessa área funcionou uma estação

de Investigação Confirmatória na área para solo e água subterrânea.

Após ter a contaminação confirmada em investigação realizada em novembro

da linha de bonde São Paulo - Santo Amaro. Em 1976 a área passou a ser de propriedade da Light Serviços de Eletricidade S/A.

No levantamento *in situ* realizado no primeiro semestre de 2008 a área era ocupada pela Igreja Renascer em Cristo na porção sudeste e por uma agência da AES Eletropaulo na porção noroeste. Em entrevistas realizadas no local, apurou-se que a área da igreja abrigou, anteriormente, pátio da frota de veículos da Eletropaulo. Desta forma, estavam identificadas possíveis fontes de contaminação e a Avaliação Preliminar recomendou reali-

zação de Investigação Confirmatória na área para solo e água subterrânea. Após ter a contaminação confirmada em investigação realizada em novembro de 2009, a área passou por diversas etapas de Investigações Detalhadas que identificaram a existência de contaminação em fase livre (combustível degradado sobre o nível d’água), que foi imediatamente extraída, do grupo BTXE (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos), e metais em fase dissolvida (água subterrânea), e xilenos em fase retida (solo), todos acima dos limites estabelecidos, sendo o benzeno no nível raso o composto crítico da contaminação (figura 10).

Trata-se de substância tipicamente encontrada em áreas ocupadas por poços de combustíveis. O cenário configurava risco que demandou a necessidade da instalação de um sistema de remediação.

A técnica de remediação mais adequada para enfrentar a situação foi a injeção de ozônio (ozone sparging) combinada com um sistema de extração de vapores (SVE), figura 11.

Este tipo de remediação utiliza o princípio de que a alta reatividade do ozônio e o gradiente de pressão causado pelo SVA aceleram a degradação dos contaminantes promovendo o abatimento das concentrações em fase retida e dissolvida (figura 12).

O sistema operou por aproximadamente 1 ano entre meados de abril de 2012 e abril de 2013, quando precisou ser



Figura 13 - Montagem da tuneladora “Tarsila” no emboque da Via 1 no sentido Alto da Boa Vista (foto: Luiz Taqueda, 04/10/2013)



Figura 14 - Polígono de restrição de uso de água subterrânea - Revisão 2 do Estudo de Delimitação das Plumas e Atualização da Avaliação de Risco à Saúde Humana, WALM 2016

desmobilizado para a partida das tuneladoras, uma vez que o transbordo do material escavado ocorreu na região em que o sistema havia sido instalado. Naquele momento as campanhas de monitoramento da eficiência e eficácia do sistema já indicavam uma grande redução nas concentrações dos contaminantes alvo (benzeno no nível raso e xilenos em fase retida), figura 13.

Naquela ocasião, embora não estivesse descartada a necessidade de reinstalação do sistema de remediação, adotou-se como estratégia o monitoramento das concentrações por meio de instalação de "poços sentinela" (poços de monitoramento de água subterrânea que possuem a função de detectar o transporte de contaminante na direção e sentido do maior para o menor potencial hidráulico), durante o período em que houve rebai-

xamento do lençol freático, além da elaboração de uma Modelagem Hidrogeológica e Simulação Numérica de Fluxo e Transporte de Poluentes.

Finalmente, uma Avaliação de Risco à Saúde Humana realizada em janeiro de 2016 indicou a inexistência de risco para cenários reais (risco de inalação em ambientes abertos e em edificações), e definiu como medidas de controle institucional a criação de um polígono de restrição de uso de água subterrânea e a realização de campanhas periódicas de monitoramento da qualidade das águas subterrâneas (figura 14).

Após a realização de 6 campanhas de monitoramento entre junho de 2016 e outubro de 2021 as concentrações se mantiveram abaixo das máximas aceitáveis e em 28 de junho de 2023 a área foi considerada reabilitada para uso declarado pela Cetesb. 

\* **Luiz Augusto S. Taqueda** é Engenheiro Civil formado pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo em 2004, ingressou no Metrô de São Paulo em maio de 2011 e desde então participou do controle Ambiental de diversas obras de metrô. Atua como Coordenador de Controle Ambiental no Departamento de Meio Ambiente da Gerência de Planejamento e Meio Ambiente do Metrô-SP. E-Mail: [lastaqueda@metrosp.com.br](mailto:lastaqueda@metrosp.com.br)

\*\* **Vitor Carneiro Ferrão** é Engenheiro Ambiental formado pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo em 2013, ingressou no Metrô de São Paulo em julho de 2014 onde participou da elaboração de estudos para o licenciamento ambiental de todo o ciclo de vida de diversos empreendimentos. Atua como engenheiro ambiental na Coordenadoria de Licenciamento Ambiental no Departamento de Meio Ambiente da Gerência de Planejamento e Meio Ambiente do Metrô-SP. E-Mail: [vcferrao@metrosp.com.br](mailto:vcferrao@metrosp.com.br)

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] LEI ESTADUAL Nº 13.577, DE 8 DE JULHO DE 2009 (SP). Dispõe sobre diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento de áreas contaminadas, e dá outras providências correlatas.

[2] DECRETO ESTADUAL Nº 59.263, DE 05 DE JUNHO DE 2013 (SP). Regulamenta a Lei nº 13.577, de 08 de julho de 2009, que dispõe sobre diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento de áreas contaminadas, e dá outras providências correlatas.

[3] CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Decisão de Diretoria Nº 256/2016/E. Dispõe sobre a aprovação dos Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo. São Paulo, 2016.

[4] CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Decisão de Diretoria nº 038/2017/C, de 07 fevereiro de 2017. Dispõe sobre a aprovação do "Procedimento para a Proteção da Qualidade do Solo e das Águas Subterrâneas", da revisão do "Procedimento para o Gerenciamento de Áreas Contaminadas" e estabelece "Diretrizes para Gerenciamento de Áreas Contaminadas no Âmbito do Licenciamento Ambiental", em função da publicação da Lei Estadual nº 13.577/2009 e seu Regulamento, aprovado por meio do Decreto nº 59.263/2013, e dá outras providências. São Paulo, 2017.

[5] USEPA – UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Risk Assessment Guidance for Superfund (RAGS). USA, 1991.

[6] CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Qualidade das águas subterrâneas no Estado de São Paulo 2016-2018. São Paulo, 2019.

[7] CONSÓRCIO WALM – ANALÍTICO – ARAGON. Definição da Região de Interesse, Identificação de Áreas com Potencial de Contaminação e Avaliação Preliminar da Linha 19-Celeste – Trecho Bosque Maia – Praça da Bandeira / Anhangabaú. São Paulo, 2019.

[8] METRÔ – COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO. Diretrizes para o Gerenciamento de Obra em Áreas Contaminadas. São Paulo, 2021.

[9] BTX GEOLOGIA E MEIO AMBIENTE. "Relatório de

Avaliação Ambiental Preliminar – Trecho Prolongamento Adolfo Pinheiro". São Paulo, 2008.

[10] CONSTRUCAP-CONSTRAN. Relatório de Avaliação Ambiental Preliminar Complementar e Investigação Confirmatória de Passivo Ambiental (Fase I e II) da área de influência da obra da Linha 5-Lilás do Metrô. São Paulo, 2009.

[11] METRÔ – COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO. Relatório ambiental – Gerenciamento ambiental – Áreas contaminadas – Trecho Largo Treze Adolfo Pinheiro. Departamento de Sistema de Gestão e Monitoramento Ambiental. São Paulo, 2009.

[12] CONSTRUCAP-CONSTRAN E KL ENGENHARIA E CONSULTORIA AMBIENTAL LTDA. Relatório de investigação detalhada e análise de riscos das áreas AP5 e Poço Delmiro Sampaio. São Paulo, 2010.

[13] REC PROJETOS EM GEOLOGIA LTDA. Diretrizes para o Gerenciamento de Áreas Contaminadas - Implantação da Linha 5-Lilás com Pátio Guido Caloi. São Paulo, 2010.

[14] WALM ENGENHARIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL. Concepção do Sistema de Remediação para a Área AP-05. São Paulo, 2011.

[15] WALM ENGENHARIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL. Investigação Detalhada para Remediação da AP-05 – Linha 5-Lilás do Metrô. São Paulo, 2012.

[16] WALM ENGENHARIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL. 4º Relatório de Monitoramento do Teste Piloto para Remediação da AP-05 – Linha 5-Lilás. São Paulo, 2012.

[17] WALM ENGENHARIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL. 1º Relatório de Monitoramento da Operação do Sistema de Remediação da AP-05 – Linha 5-Lilás. São Paulo, 2012.

[18] WALM ENGENHARIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL. 2º Relatório de Monitoramento da Operação do Sistema de Remediação da AP-05 – Linha 5-Lilás. São Paulo, 2012.

[19] WALM ENGENHARIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL. 3º Relatório de Monitoramento da Operação do Sistema de Remediação da AP-05 – Linha 5-Lilás. São Paulo, 2012.

[20] WALM ENGENHARIA E TECNOLOGIA AMBIEN-

TAL. 4º Relatório de Monitoramento da Operação do Sistema de Remediação da AP-05 – Linha 5-Lilás. São Paulo, 2012.

[21] WALM ENGENHARIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL. 5º Relatório de Monitoramento da Operação do Sistema de Remediação da AP-05 – Linha 5-Lilás. São Paulo, 2013.

[22] WALM ENGENHARIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL. 6º Relatório de Monitoramento da Operação do Sistema de Remediação da AP-05 – Linha 5-Lilás. São Paulo, 2013.

[23] WALM ENGENHARIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL. Relatório de Delimitação das Plumas de Contaminação e Atualização da Avaliação de Risco à Saúde Humana da AP-05. São Paulo, 2015.

[24] WALM ENGENHARIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL. Relatórios Mensais de Monitoramento dos Poços Sentinelas da AP-05 – Conde de Itu, 218 – Santo Amaro/SP – junho de 2013 a abril de 2016. São Paulo, 2016.

[25] WALM ENGENHARIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL. 1º Monitoramento para Encerramento do Gerenciamento Ambiental da AP-05 – Conde de Itu, 218 – Santo Amaro/SP. São Paulo, 2016.

[26] WALM ENGENHARIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL. 2º Monitoramento para Encerramento do Gerenciamento Ambiental da AP-05 – Conde de Itu, 218 – Santo Amaro/SP. São Paulo, 2016.

[27] WALM ENGENHARIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL. 3º Monitoramento para Encerramento do Gerenciamento Ambiental da AP-05 – Conde de Itu, 218 – Santo Amaro/SP. São Paulo, 2017.

[28] WALM ENGENHARIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL. 4º Monitoramento para Encerramento do Gerenciamento Ambiental da AP-05 – Conde de Itu, 218 – Santo Amaro/SP. São Paulo, 2019.

[29] WALM ENGENHARIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL. 5º Monitoramento para Encerramento do Gerenciamento Ambiental da AP-05 – Conde de Itu, 218 – Santo Amaro/SP. São Paulo, 2020.

[30] REGEE GEOLOGIA, ENGENHARIA E ESTUDOS AMBIENTAIS. 6º Monitoramento para Encerramento do Gerenciamento Ambiental da AP-05 – Conde de Itu, 218 – Santo Amaro/SP. São Paulo, 2021.



## SERVIÇOS

- Gerenciamento de empreendimentos
- Engenharia do Proprietário
- Projetos básicos e executivos
- Consultoria de engenharia



OE500

## ÁREAS

- Saneamento
- Transportes
- Infraestrutura
- Meio Ambiente
- Energia
- Óleo e Gás

# Como o Metrô tem avaliado os benefícios de seus empreendimentos considerando a abordagem da substituição modal?

SORAIA SCHULTZ M. CARVALHO\* / CACILDA BASTOS PEREIRA DA SILVA\*\*

## INTRODUÇÃO

As grandes cidades como São Paulo, o transporte de passageiros sobre trilhos reforça sua importância para a promoção da mobilidade sustentável no futuro, através da operação e da expansão da rede metroviária, que promove a substituição modal. A contribuição do Metrô está atrelada a uma visão de longo prazo em relação às dimensões do desenvolvimento das cidades, associadas à urbanização, ao dinamismo econômico e ao meio ambiente.

O Metrô tem um papel essencial na transformação da vida nas cidades em função dos impactos e benefícios que promove. Através de uma rede integrada a outros modos de transporte, coletivo ou ativo, cria condições favoráveis para a conexão de pessoas aos polos de emprego, estudo, lazer, compras e equipamentos de saúde, que se traduzem em maior qualidade de vida e bem-estar da população.

Com diretrizes para promover a mobilidade sustentável internalizadas desde as fases de planejamento e concepção, os impactos positivos da rede metroviária se refletem em ganhos para a sociedade. O tempo economizado pelos passageiros é o principal benefício do Metrô, que vai se refletir também no tempo dos usuários de outros modos de transporte – ônibus e automóvel –, com a redução de veículos nas ruas. Com a diminuição dos congestionamentos e do consumo de combustíveis, são evitados os problemas para a saúde da população, com a redução dos acidentes de trânsito e da poluição do ar.

A promoção da qualidade de vida e de ganhos para a sociedade no presente e no futuro está na essência da missão do Metrô: “Conectar pessoas e lugares por meio de uma rede de mobilidade sustentável gerando qualidade de vida”. Além disso, está alinhada à agenda de compromissos do governo do Estado de São Paulo para o desen-

volvimento sustentável, no que se refere a sua contribuição para cenários de baixo carbono.

Em 2023, a Companhia transportou em média 2,86 milhões de passageiros por dia (MDU) e gerou 12,99 bilhões de reais em Benefícios Sociais. Eles representam as externalidades positivas para a qualidade de vida da Região Metropolitana de São Paulo-RMSP, promovidas pela substituição modal com a operação das linhas 1-Azul, 2-Verde, 3-Vermelha e 15-Prata.

Atualmente, os Benefícios Sociais compõem o rol de indicadores estratégicos e ESG do Metrô. Eles são atualizados anualmente e retratam o papel da rede metroviária dentro do contexto de funcionamento do sistema de transporte como um todo e são considerados importantes indexadores nos processos de financiamento para a expansão.

## A ABORDAGEM DA SUBSTITUIÇÃO MODAL COMO DIRETRIZ PARA A EXPANSÃO DA REDE METROVIÁRIA

A substituição modal é essencialmente “the shifting of travel modes that humans go through based on a range of variables; both external and internal influences that impact the way we move” (Holland, 2021).

Segundo Rodrigue (2024), a substituição modal ocorre quando um modo oferece vantagens comparativas em relação a outro modo, em um mercado semelhante. Entre elas, destacam-se as relacionadas aos seguintes fatores: custos, tempo, flexibilidade ou confiabilidade. As preferências para estabelecer a importância entre os fatores variam conforme as características do indivíduo tomador de decisão.

Se o novo modo oferece melhorias em relação ao tempo despendido no trajeto, e este for o fator essencial na sua decisão pela transferência modal, haverá preferência pelo modo mais rápido. Para outros indivíduos, a preferência pode estar relacionada ao custo e este será o fator decisivo para sua escolha. Além disso, a transferência modal é fortemente influenciada pelas alterações na oferta de transportes no ter-

ritório urbano (RODRIGUE, 2024),

As Pesquisas Origem e Destino - Pesquisa OD, realizadas pelo Metrô mostram, entre seus resultados, a evolução da divisão modal das viagens na RMSP. Em 2017, do total de viagens motorizadas realizadas, 54% eram de modo coletivo<sup>1</sup> e 46% de modo individual<sup>2</sup>. Em 2007, do total de viagens motorizadas, 12% tinham como modo principal os modos sobre trilhos, metrô e trem. Já em 2017, com a expansão observada da rede, este percentual passou para 16,4% das viagens motorizadas.

A realização das viagens através de modos sobre trilhos, tal como expresso nos resultados das Pesquisas OD, é possível em função do alinhamento da atuação do Metrô às ações previstas para o setor de transportes, com metas de redução de emissões no Plano de Ação Climática e Desenvolvimento Sustentável do Estado de São Paulo-PAC 2050, p.42, que visam, “por um lado, substituir combustíveis fósseis por alternativas que apresentem balanços líquidos neutros (ou mesmo negativos) de emissões”.

Em 2023, o balanço de carbono do Metrô foi de 648.000 toneladas em CO<sub>2</sub> e de emissões evitadas líquidas. Esse resultado foi obtido ao considerar que foram evitadas 664.000 toneladas, com a existência e operação da rede do Metrô, e emitidas 16.000 toneladas em decorrência do consumo de energia elétrica para operação. Isto significa que, para cada tonelada de CO<sub>2</sub> emitida pela operação dos trens do Metrô, foi evitada a emissão de 42 tCO<sub>2</sub>e. Neste contexto, o planejamento da expansão da rede metroviária está alinhado à ação que objetiva a mudança modal para o transporte metroviário e ferroviário no PAC 2050.

Como um transporte sustentável, com alta capacidade de transporte de passageiros, o sistema metroviário é capaz de substituir outros meios de transporte que utilizam combustível fóssil, como os automóveis e ônibus, que geram congestionamentos e maior emissões atmosféricas.

Assim, para promover a expansão do siste-

ma metroviário, desde as fases iniciais de planejamento e concepção dos empreendimentos metroviários, estão presentes diretrizes que norteiam o desenho de linhas futuras e objetivam promover os benefícios da substituição modal, proporcionada pelo transporte de passageiros sobre trilhos. Entre elas, estão:

- Priorizar a implantação da rede de transporte sobre trilhos, de maneira integrada a outros modos, como forma de estimular a transferência de viagens do transporte individual para o coletivo, e promover os Benefícios Sociais;

- Potencializar os ganhos operacionais e ambientais decorrentes da racionalização do transporte metropolitano, articulando-se aos sistemas municipais;

- Definir soluções de inserção urbana, considerando diretrizes estabelecidas por políticas e planos de mobilidade e ordenamento urbano;

- Implementar diretrizes de sustentabilidade na definição de soluções de projeto, visando reduzir impactos em todas as fases do ciclo de vida dos empreendimentos, especialmente os relacionados às mudanças climáticas.

## BENEFÍCIOS DA SUBSTITUIÇÃO MODAL PARA O FUTURO DA MOBILIDADE: POUPA O TEMPO DAS PESSOAS, PROMOVE QUALIDADE DE VIDA E PROTEGE O MEIO AMBIENTE

Segundo Holland (2021), a substituição modal impacta três esferas em macro e micro escalas: 1) meio ambiente; 2) saúde; 3) tempo e dinheiro. No planejamento da expansão da rede do Metrô de São Paulo, os impactos positivos promovidos pela substituição modal nessas três esferas são avaliados através dos Benefícios Sociais.

Os Benefícios Sociais são as externalidades positivas geradas para a qualidade de vida da metrópole, em função da substituição modal proporcionada pela operação da rede sob responsabilidade da Companhia. Eles são calculados anualmente em função da redução do congestionamento nas ruas, da melhoria da qualidade ambiental e da redução dos tempos de viagens. Quando monetizados, representam o quanto a operação da rede do Metrô propicia: em 2023, eles totalizaram 12,99 bilhões de reais.

Destacam-se neste conjunto de benefícios as reduções das emissões atmosféricas (poluentes e gases de efeito estufa), do consumo de combustíveis utilizados pelos outros modos, dos custos operacionais de ônibus, automóveis e motocicletas, dos custos de manutenção e operação de vias, de acidentes e dos tempos de viagens.

Se a rede atual do Metrô não existisse, a mobilidade das pessoas na RMSP seria modificada, na medida em que seus passageiros

teriam que se deslocar por outros meios de transporte. Parte de sua demanda migraria para o ônibus, outras utilizariam o automóvel ou a motocicleta. Com base nesta hipótese, são calculados os Benefícios Sociais. Haveria aumento da frequência dos ônibus e do número de automóveis e motocicletas em circulação para atender os passageiros transferidos do Metrô. Aumentariam também os congestionamentos e os tempos de viagem, o consumo de combustíveis, os custos operacionais adicionais dos veículos em circulação e de operação e manutenção de vias. Além disso, aumentariam o número de acidentes de trânsito e as emissões atmosféricas com seus consequentes impactos à saúde da população e à qualidade de vida da metrópole.

## PLANEJAMENTO E CONCEPÇÃO DE PROJETOS: QUAL A IMPORTÂNCIA DE SE AVALIAR OS IMPACTOS E OS BENEFÍCIOS DOS PROJETOS

Os Benefícios Sociais são calculados para medir os impactos positivos da implantação e operação do sistema metroviário. No ciclo de vida do planejamento e concepção dos projetos, eles são parte de variadas fases: na Rede Futura, no Projeto Diretriz, no Anteprojeto de Engenharia e no EIA/RIMA.

Para o desenho da rede futura, eles mostram o impacto futuro de uma rede de metrô quando estiver em operação. São ainda um importante indicador na definição de trechos e linhas prioritários dentro desse contexto futuro.

Já nos processos para definição de alternativa de traçado de linha, seja na fase de Projeto Diretriz ou de Anteprojeto de Engenharia, eles também são avaliados para mensurar os impactos futuros de sua implantação, especialmente nas análises multicritério realizadas. Para isso, eles são calculados em um contexto de rede e mostram o impacto da inserção daquela nova linha/ trecho na rede futura considerada.

Como uma nova linha/ trecho de metrô provoca rearranjos na rede metroferroviária, abrem-se possibilidades de novos trajetos e transferências. Os passageiros do sistema de transporte podem optar pela nova linha e não mais pelo modo anteriormente utilizado, individual ou coletivo sobre pneus.



Gráfico 1 - Benefícios Sociais da rede em operação pelo Metrô-SP, em 2023 [Fonte: COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO - METRÔ, Relatório Integrado (2023), p. 18]

Essas alterações nas preferências em função dos benefícios proporcionados pelos novos modo e trajeto, se refletem nos indicadores de simulação de demanda que são a base para o cálculo dos benefícios no futuro.

Eles são utilizados em dois cenários futuros: com e sem a nova linha/ trecho de linha e atribui-se à nova linha/ trecho, os benefícios obtidos através da diferença entre os dois resultados de redes no futuro: com e sem a linha.

## BENEFÍCIOS SOCIAIS DA REDE EM OPERAÇÃO EM FUNÇÃO DA SUBSTITUIÇÃO MODAL

Os resultados dos Benefícios Sociais obtidos em 2023 reforçam o papel estratégico que a operação da rede metroviária e a substituição modal que ela proporciona tem para a RMSP.

Do total de 12,99 bilhões de reais em benefícios proporcionados, 7,9 bilhões de reais correspondem à monetização dos ganhos com a redução dos tempos de viagem. Esse é o principal benefício que os passageiros do Metrô têm ao trocar modos mais lentos por um modo que circula rapidamente em vias segregadas e supera as barreiras dos congestionamentos nas ruas, ao contrário dos automóveis e ônibus.

As reduções dos custos operacionais de outros modos (automóveis, ônibus e motocicletas) são outro importante benefício dentro deste conjunto. Isto porque a quilometragem percorrida pelos modos é reduzida com a rede do Metrô em operação e isso se reflete na redução de custos. Eles corresponderam, em 2023, a pouco mais de 23% dos benefícios.

Os benefícios que refletem a melhoria da qualidade de vida, da saúde e a contribuição do Metrô para o meio ambiente pouco mais de 15% do total (gráfico 1).

Esses resultados traduzem os ganhos para a sociedade e a efetividade dos investimentos na expansão e operação da rede metroviária e, por esta razão, os Benefícios Sociais são um indicador estratégico para avaliar o impacto da atuação do Metrô como um agente estruturador e promotor da mobilidade na RMSP.

### BENEFÍCIOS SOCIAIS COMO INDICADOR ESTRATÉGICO E ESG DA ESTRATÉGIA CORPORATIVA

Em sua estratégia corporativa, o Metrô busca a constante melhoria da qualidade do serviço prestado, com a adoção das melhores práticas trabalhistas e de governança, a ampliação dos Benefícios Sociais para a cidade, a promoção da inclusão social e de oportunidades para as comunidades, como resultado da expansão da rede metroviária na RMSP. Somase também o compromisso com a redução de emissões de gases de efeito estufa e a gestão eficiente do uso de energia elétrica.

Desde 2021, o Metrô incluiu no seu Mapa Estratégico a meta de ampliar os Benefícios Sociais e, então, hoje eles compõem o rol de indicadores estratégicos da Companhia, na Estratégia Corporativa, na "Perspectiva Sustentabilidade Financeira, Social e Ambiental". Para a definição das metas do indicador, tomou-se como base o Plano de Expansão de Longo Prazo da Companhia.

Os Benefícios Sociais são também um dos indicadores *Environmental, Social and Governance* - ESG da Companhia, no fator social, e, desde o mesmo ano, compõem o guia ESG elaborado pelo Metrô, com intuito de demonstrar o seu compromisso com as questões ambientais, sociais e de governança. Nesse guia, estão as definições e as orientações sobre os fatores ESG relacionados às atividades do Metrô.

O acompanhamento dos Benefícios Sociais como um indicador em sua estratégia reforça o compromisso da gestão do negócio aos fatores ESG, adotados pelo setor financeiro para avaliar riscos e ativos em sustentabilidade das empresas.

### BENEFÍCIOS SOCIAIS E A AVALIAÇÃO DE IMPACTOS NOS PROCESSOS DE FINANCIAMENTO

A expansão da rede metroviária exige investimentos vultosos em função da complexidade para sua execução, especialmente nos grandes centros densamente urbanizados, e que impõe compatibilizações, sejam elas construtivas, ambientais ou urbanas, com o território onde será inserido o novo empreendimento.

A longa experiência do Metrô na promoção da substituição modal, através da expansão do transporte metropolitano, é pautada para que os investimentos na expansão da rede metroviária efetivem o seu papel para a mobilidade sustentável e o alcance da metrópole do futuro. E, ainda, que possa alterar a mobilidade na região em que atua e as preferências dos passageiros, de modo a prevalecer o uso do transporte coletivo sobre trilhos em detrimento do transporte individual.

Por essa razão, é necessário comprovar os benefícios que serão proporcionados pela expansão da rede metroviária, através de uma nova linha ou trecho de linha. Para mensurar os impactos positivos de novos empreendimentos metroviários no contexto futuro, os Benefícios Sociais têm sido utilizados nos processos de financiamento para a expansão. Isto porque eles são considerados indexadores positivos de um transporte sustentável na avaliação de agentes econômicos e financeiros para obtenção de recursos para investimentos na expansão da rede, garantindo também a perenidade do negócio.

Especialmente aqueles relacionados às reduções de tempos de viagem, de emissões atmosféricas (poluentes e gases de efeito estufa) e de consumo de combustíveis, porque traduzem os principais benefícios relacionados à substituição modal promovida pela expansão da rede: as vantagens comparativas em relação ao fator tempo, quando o metrô é comparado a outros modos mais lentos, e à promoção de um transporte que colabora para a saúde da população e para cenários futuros de baixo carbono.

### CONCLUSÃO

Para cumprir a sua missão de conectar pessoas e lugares por meio de uma rede de mobilidade sustentável gerando qualidade de vida, o Metrô tem aprimorado todas as suas boas práticas, desde as fases iniciais de planejamento e concepção de projetos e avaliado os benefícios que promove para a RMSP.

Adotando a abordagem da substituição modal como principal diretriz para a expansão da rede, o Metrô tem o objetivo de ampliar os benefícios, maximizando os impactos positivos promovidos pela operação da rede metroviária para toda sociedade e reforçando a importância dos seus investimentos para promover uma metrópole cada vez mais conectada.

Os aprimoramentos desde as fases planejamento e concepção das novas linhas da rede futura se refletem nos Benefícios Sociais que são medidos para avaliar a economia gerada em função da transferência de passageiros de outros modos motorizados (automóveis, motocicletas e ônibus) para o metrô, com a expansão e operação da rede metroviária.

Os resultados obtidos através dos Benefícios Sociais comprovam não só a eficiência da gestão da Companhia que é referência no planejamento, implantação e operação de transporte público, mas também que promove a mobilidade e a acessibilidade da população, em consonância com as transformações socioeconômicas, urbanas e ambientais para o alcance da metrópole do futuro. 🚇

### Notas

<sup>1</sup>Coletivo: metrô, trem, ônibus, transporte fretado e transporte escolar. Fonte: Pesquisa OD 2017.

<sup>2</sup>Individual: automóvel, táxi, motocicleta e outros. Fonte: Pesquisa OD 2017.

*\* Soraia Schultz Martins Carvalho é Economista, com especialização em Economia Urbana e Gestão Pública e atua como coordenadora de Estudos de Viabilidade, Sustentabilidade e Mudanças Climáticas no Departamento de Meio Ambiente da Gerência de Planejamento e Meio Ambiente do Metrô de São Paulo*  
E-mail: [ssmcarvalho@metrosp.com.br](mailto:ssmcarvalho@metrosp.com.br)

*\*\* Cacilda Bastos Pereira da Silva é Psicóloga, mestre em Gestão Ambiental, pós graduada em Gestão de Negócios e atua como especialista na Coordenadoria Estudos de Viabilidade, Sustentabilidade e Mudanças Climáticas no Departamento de Meio Ambiente da Gerência de Planejamento e Meio Ambiente do Metrô de São Paulo*  
E-mail: [cacilda.bastos@metrosp.com.br](mailto:cacilda.bastos@metrosp.com.br)

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1]COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO - METRÔ. Guia ASGI. (2021) Disponível em: <https://governancacorporativa.metrosp.com.br/Documentos%20Compartilhados/GuiaASGI.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2024.

[2]COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO - METRÔ. Pesquisa Origem e Destino (2007). Tabulações especiais.

[3]COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO - METRÔ. Pesquisa Origem e Destino (2017). Tabulações especiais.

[4]COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO - METRÔ. Relatório Integrado (2021). Disponível em: <https://www.metro.sp.gov.br/wp-content/uploads/2023/05/relatorio-integrado-2021.pdf>. Acesso em: 16 abr. 2024.

[5]COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO - METRÔ. Relatório Integrado (2022). Disponível em: <https://www.metro.sp.gov.br/wp-content/uploads/2023/05/relatorio-integrado-2022.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2024.

[6]COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO - METRÔ. Relatório Integrado (2023). Disponível em: <https://ri.metrosp.com.br/wp-content/uploads/2024/03/Relatorio-integrado-2023.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2024.

[7]GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Plano de Ação Climática e Desenvolvimento Sustentável do Estado de São Paulo - PAC 2050. (2022). Disponível em: [https://smastr16.blob.core.windows.net/home/2022/11/pac-sp-2050-\\_coorrigidoformato\\_23\\_1\\_12.pdf](https://smastr16.blob.core.windows.net/home/2022/11/pac-sp-2050-_coorrigidoformato_23_1_12.pdf). Acesso em: 10 abr. 2024.

[8]HOLLAND, C. - What is Modal Shift and How Can it Change the Way We Travel? (2021). Disponível em: <https://www.liftango.com/resources/what-is-modal-shift-and-how-can-it-change-the-way-we-travel#:~:text=Modal%20Shift%20can%20be%20deemed,sustainable%20transport%20to%20benefit%20society>. Acesso em: 16 abr. 2024.

[9]RODRIGUE, J. P. - The Geography of Transport Systems (2024). Disponível em: <https://transportgeography.org/contents/chapter5/transportation-modes-modal-competition-modal-shift/>. Acesso em: 16 abr. 2024.

[10]SILVA, C. B. P.; SARABIA NETO, R. C.; CARVALHO, S. S. M. - Emissões de carbono no ciclo de vida dos empreendimentos do Metrô de São Paulo. REVISTA BRASIL ENGENHARIA, São Paulo, páginas 165-166, n° 06/2022 - ano 3.

# TECNOLOGIA LIMPA E INOVADORA QUE CONECTA CIDADES, NATUREZA E PESSOAS.



A BYD está sempre em busca de projetos desenvolvidos com tecnologia e inovação, mas acima de tudo, que respeitem o meio ambiente e tragam bem-estar para as pessoas. É assim com o monotrilho da Skyrail Linha 17 - Ouro Metrô de São Paulo e todos os produtos da companhia.

É um projeto que envolve muita dedicação de toda a equipe, tanto na China quanto no Brasil. Temos muito orgulho de tudo que temos desenvolvido e a certeza de que vamos contribuir para a melhoria da mobilidade da maior cidade do país.



BYD do Brasil  
Av. Antonio Buscato, 230  
Campinas / São Paulo  
Brasil - CEP 13069-119



Skyrail São Paulo  
Rua Arizona, 491  
Cidade Monções / São Paulo  
Brasil - CEP 04567-001



[www.byd.com/br](http://www.byd.com/br)



## Um resgate histórico sobre os veteranos do departamento de segurança pública do Metrô

*"A saga dos 18 heróis de preto"*

EDUARDO AGRELLA CARVALHO\* / WILLIAM ROBERTO DA SILVA VIEIRA\*\*

### INTRODUÇÃO

O presente artigo convida o leitor a mergulhar no tempo e no espaço, buscando o resgate histórico dos pioneiros da atividade de segurança pública do Metrô de São Paulo.

Um dos maiores desafios de uma empresa é a valorização de sua história, buscando sua origem, seu desenvolvimento, sua transformação e suas perspectivas. Dessa forma surge em 1974 um grupo composto de 18 profissionais trajando um uniforme preto, que mudariam a história do Metrô.

No início, eram mulheres e homens que na década de 1970 enfrentavam os delitos sem os recursos tecnológicos da atualidade.

Esse grupo desenvolvia a atividade de segurança pública, contando com os recursos do espírito público, da coragem e da camaradagem. Sim, eram heróis!

### O INÍCIO

Em 14 de setembro de 1974, o precursor sistema de Metrô do Brasil iniciou sua operação comercial no trecho entre as estações Jabaquara e Vila Mariana, imprescindível para a cidade de São Paulo e um marco para o país.

Ainda naquele ano, houve a tramitação do Projeto de Lei nº 2.268-B, que em 02 de dezembro de 1974 foi transformado na Lei Federal 6.149/1974, dispositivo legal que dispõe sobre a segurança do transporte metropolitano e estabelece a criação do Corpo de Segurança do Metrô.

Antes disso, no longínquo ano de 1972, um dos valores do Metrô de São Paulo, consistente na qualificação dos seus empregados, já despontava. Foram meses de treinamento, antes mesmo de uma composição de testes realizar a primeira viagem do Metrô entre as estações Jabaquara e Saúde.

Devido a originalidade do sistema e de forma inusitada, os cidadãos também tiveram que passar por um reconhecimento das estações e equipamentos como as escadas rolantes. Muitos paulistanos tiveram receio de embarcar no sistema e viajar no subterrâneo da cidade, sendo que nesse universo desconhecido os empregados tiveram papel fundamental.

São os primórdios da operação, da capa-

citação, da acessibilidade e do atendimento, que hoje faz com que o Metrô de São Paulo seja reconhecido como um dos melhores serviços públicos do Estado.

Foi um período de aprendizagem e inovação, onde os 18 paladinos da segurança, com bravura e destemor, deram início aos processos e procedimentos do Corpo de Segurança, sempre primando pela incolumidade dos passageiros e a preservação do patrimônio.

### DÉCADA DE 1980

O Fortalecimento do Corpo de Segurança!

Na década de 1980 as obras da Linha 3-Vermelha foram concluídas, ligando o Bairro de Itaquera na zona leste à Barra Funda na zona oeste, um grande avanço para a cidade e um incremento exponencial de passageiros no sistema. Naquela época, a cidade de São Paulo tinha uma população de quase 9 milhões de pessoas.

O desafio de prover segurança pública no sistema se tornava cada vez maior, tendo em vista a crescente demanda e a incidência de comportamentos inadequados, assim como de novas condutas delituosas.

Com isso, o Corpo de Segurança já não se resumia mais a quase duas dezenas de desbravadores. Em 1985 o efetivo da segurança era composto por 266 empregados, que já possuíam diretrizes de atuação sedi-

mentadas nas experiências dos veteranos, mas também tiveram que continuar inovando, ainda tendo a coragem como principal ferramenta de trabalho.

Também no ano de 1985, foi estabelecido um convênio entre a Secretaria de Estado dos Negócios da Segurança Pública e a Secretaria de Estado dos Negócios Metropolitanos que deu início ao funcionamento da Delegacia do Metropolitano de São Paulo – DELPOM, unidade policial especializada tendo como circunscrição as dependências do Metrô de São Paulo.

Ainda na década de 1980 ocorreu o primeiro processo seletivo para a função de encarregado de segurança.

### DÉCADA DE 1990

A Origem dos Equipamentos!

A década anterior encerrou com uma reestruturação na gerência de operação que impactou especialmente o Corpo de Segurança. Todavia, o espírito guerreiro dos seus integrantes e a solidez das suas raízes, fizeram com que esse cenário fosse revertido, tornando os anos 1990 uma época de conquistas históricas.

Em 1990, aquilo que hoje se mostra basilar na atividade de segurança pública, chegava pela primeira vez às mãos dos agentes de segurança. Foram implementadas algemas com o objetivo de resguardar

a integridade física dos agentes, do próprio preso e de terceiros. O que antes os antigos realizavam de forma improvisada com os cintos das calças, agora era realizado de forma segura, apropriada e eficiente.

Já em 1991 foi a vez do bastão tonfa. Equipamento ainda pouco empregado no Brasil, naquela oportunidade e que passou a ser utilizado pelos agentes de segurança devidamente treinados em técnica de defesa pessoal e condicionamento físico.

Em 1993 ocorreu mais um importante investimento para a qualificação dos empregados com a formação de um Centro de Treinamento junto a Estação Belém. Logo após, no início de 1994, chegaram os primeiros painéis balísticos, de uso rotativo e que eram distribuídos aos agentes designados a atuar em estratégias como de acompanhamento de torcedores.

O quadro de agentes de segurança em 1995 já era de 528, isto é, praticamente o dobro de dez anos atrás.

Finalizando esse notável período, ocorreu a criação do Departamento de Segurança do Metrô, importante passo na organização e padronização das atividades de segurança pública no Metrô de São Paulo.

Nessa fase, o conhecimento empírico passou a se fundir aos fundamentos metodológicos na análise das ocorrências resultando em uma base científica profícua





aplicada na distribuição das equipes e nas estratégias de prevenção dos delitos.

Foi também no início dessa década que a Linha 2-Verde teve a sua viagem inaugural, percorrendo o trecho entre as estações Paraíso e Trianon-Masp, chegando ao final desse período prestando serviço de Ana Rosa a Vila Madalena.

### ANOS 2000

A Evolução!

A chegada do ano 2000 trouxe uma série de aflições no mundo com a previsão de infortúnios de toda sorte, especialmente o Bug do Milênio, que felizmente não se concretizaram. Em contrapartida, O Metrô de São Paulo continuou com a sua pujante expansão entregando à população mais uma importante linha, a 5-Lilás, com trajeto inicial da Estação Capão Redondo ao Largo Treze.

Para o Corpo de Segurança o período foi de transformação, começando pela modernização das viaturas, que foram substituídas por veículos mais modernos.

Já no início do novo milênio, o colete à prova de balas passou a ser individual, garantindo a todos os agentes de segurança uma proteção maior contra traumas incapacitantes ou até mesmo fatais, tornando-se um EPI (equipamento de proteção individual).

A essa altura, a jornada dos 18 intré-

pidos agentes de segurança já estava naturalmente se encerrando remanescendo o seu legado. Num processo contínuo de renovação, outros tantos jovens agentes iniciavam a sua jornada e o Corpo de Segurança já era composto por mais de 900 integrantes treinados, equipados e acima de tudo, com preceitos bastante arraigados nas tradições concebidas pelos seus precursores.

Logo sucederam mais novidades, como a aquisição de outras viaturas e a blindagem das bilheterias, que veio a extinguir os frequentes roubos junto a esses equipamentos.

Foi também nessa época que um dos maiores avanços para o Departamento de Segurança se concretizou. O Centro de Controle da Segurança foi então inaugurado trazendo mais agilidade no atendimento das demandas e um melhor controle dos processos de segurança pública.

As novidades não pararam por aí. Houve a aquisição de equipamento de Raio X e detector de junção não linear para estratégias com objetos suspeitos, assim como a utilização de patinetes elétricos para agilizar as rondas e melhorar a percepção de segurança.

O esforço das equipes, o desenvolvimento das estratégias de segurança, os investimentos em capacitação, e equipa-

mentos, fizeram com que os indicadores criminais fossem reduzidos a níveis de padrão internacional de segurança.

### ATUALMENTE

A sociedade brasileira evoluiu e o tema segurança pública é cada vez mais presente na vida das pessoas, principalmente nos grandes centros urbanos. A sensação de insegurança e o medo são crescentes, tornando árduo o desafio de manter a ordem, preservar o patrimônio e a incolumidade das pessoas. No entanto, é certo que prover segurança pública requer integração e trabalho colaborativo.

Pensando nisso, em 2011, foi implementado o serviço SMS Denúncia, uma poderosa ferramenta disponibilizada aos passageiros que passaram a ter condições de comunicar imediatamente as anormalidades ao Centro de Controle da Segurança.

A evolução desses canais de comunicação ocorreu em 2017, quando foi lançado o aplicativo "Metrô Conecta Oficial", que facilitou o envio de mensagens, assim como passou a viabilizar uma conversa online, onde o passageiro pode enviar mais detalhes da situação e em alguns casos, imagens.

Outra importante medida de integração, foi a inserção de agentes do Corpo de Segurança do Metrô no Centro de Opera-



ções da Polícia Militar - COPOM e no CICC, Centro Integrado de Comando e Controle.

Assim, em 2015, aquele modesto Corpo de Segurança concebido em 1974, já havia se tornado referência em segurança sobre trilhos e alcançava 1.141 integrantes.

Para manter esse *know how*, os investimentos foram crescentes e contínuos na formação, e nas requalificações, que habilitam os agentes a atuar nas mais diversas situações do cotidiano.

Aquilo que os pioneiros faziam com poucos conhecimentos, mas com muita determinação e arrojo, evoluiu para um portfólio de serviços de qualidade, que auxiliaram o Metrô a ser eleito um dos melhores serviços públicos de São Paulo.

O Corpo de Segurança recebe constantemente instrução de técnicas de imobilização, atendimento a pessoa com deficiência, desmuniamento de arma de fogo, resgate de vítimas, primeiros socorros inclusive com a utilização de desfibrilador automático externo junto ao INCOR, combate a incêndio e uso de máscara autônoma.

Nessa gama de conhecimentos, inclusive, ações de controle de distúrbios civis, operacionalização de drones, viaturas, veículos de locomoção elétrica, câmera de corpo individual (*bodycam*), spray incapacitante e aparelho de raio X.

### O ENCONTRO

Binômio passado e presente juntos!

O ano de 2024 marca os 50 anos de existência do Corpo de Segurança do Metrô de São Paulo e quase como uma dádiva, em janeiro deste ano, um representante de um grupo criado nas redes sociais, composto por agentes veteranos, fez contato com a gestão do Departamento propondo a realização de uma reunião com caráter de confraternização envolvendo os integrantes daquele grupo.

A simples possibilidade da realização do evento foi o bastante para despertar um fris-

son no grupo, e também no Departamento de Segurança, em virtude do seu ineditismo.

No dia 22 de fevereiro de 2024 o esperado encontro ocorreu e contou com a participação de representantes de diversas gerações de agentes de segurança, inclusive da equipe inicial de 1974. Como se estivessem atendendo a um chamado de prioridade via rádio, compareceram ao Centro de Controle oriundos de diversas cidades e até mesmo de outro Estado, com muito entusiasmo.

As boas-vindas foram concretizadas pelo Gerente de Operações, pelo Chefe do Departamento de Segurança, Coordenadores, Supervisores Operacionais, Supervisores de Segurança e Agentes de Segurança.

Foi realizada uma demonstração do Grupamento de Operações Táticas, exposição de equipamentos e visita ao Centro de Controle.

Esse memorável encontro envolvendo o pretérito e o presente resultou num genuíno resgate histórico. As gerações ali representadas se contemplavam como verdadeiros membros de uma mesma família imprimindo uma marca indelével no coração de todos.

Naquele momento, surgiu a seguinte máxima:

*"A maioria dos nossos Veteranos, já na casa dos 70 anos e até mais, vibraram a cada instante em poder estar integrado ao Corpo de Segurança, o qual nunca nos esquecemos e que encontra-se entalhado e fundido em cada coração dos Veteranos."*

O entusiasmo e a relevância desse evento fizeram com que doravante a data de 22 de fevereiro seja por nós comemorada como o "Dia do Veterano do Corpo de Segurança do Metrô de São Paulo".

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

Caminhar pelo desconhecido pode produzir comportamentos antagônicos. Muitos se deixam influenciar pelo receio do obscuro, enquanto outros enfrentam as adversida-

des com aquilo que dispõem.

Tal realidade é comum em situações individualizadas e pessoais, mas quando se trata de um ambiente corporativo, ainda mais da magnitude do Metrô de São Paulo e de seu valioso Corpo de Segurança, é um difícil exercício mental. A percepção comum é de que o praticado hoje foi concebido desde o início. Mas a realidade, como visto, não foi desta forma.

Essa longa trajetória de 50 anos, hoje consagrada e referência inclusive internacional, está sedimentada numa base sólida de honradez, determinação, devoção e propósito. Erros se tornaram oportunidades de melhoria, que conduziram o Corpo de Segurança à assertividade e se fundiram aos casos de sucesso para formatar os procedimentos, sedimentando padronização e profissionalismo.

Vitórias e revezes fizeram parte desse processo evolutivo como em qualquer outra instituição, mas há de se reconhecer quão exitosa se tornou essa jornada graças ao empenho de cada agente de segurança.

Conhecer essa saga heroica e mergulhar nas origens foi muito mais que um sinal de respeito. Significou um fortalecimento cultural, gerou engajamento e senso de pertencimento, valores que toda instituição deve perseguir e não é obtida com retribuições financeiras.

Que os ensinamentos e exemplos dos veteranos conduzam o Corpo de Segurança do Metrô de São Paulo a mais 50 anos de glórias!

Por derradeiro, uma instituição sem memória é como um corpo sem alma.

\* **Eduardo Agrella Carvalho**, Departamento de Segurança Pública do Metrô de São Paulo  
E-mail: eduardo.agrella@metrosp.com.br

\*\* **William Roberto da Silva Vieira**, Coordenadoria de Segurança Operacional das linhas 3-Vermelha e 15-Prata do Metrô de São Paulo  
E-mail: wrvieira@metrosp.com.br





# Metrô de São Paulo: 50 anos na vanguarda do relacionamento com o passageiro

MELISSA BELATO FORTES\* / PAULO ARY TENDER GUIMARÃES\*\* / MARCOS BORGES\*\*\* / ANA MARIA COELHO\*\*\*\* / MARIA LÚCIA BEZERRA PEDROZA\*\*\*\*\* / ANA CLAUDIA VAZ GRIECO\*\*\*\*\*

## INTRODUÇÃO

No próximo dia 14 de setembro de 2024 serão comemorados os 50 anos de Operação do Metrô de São Paulo e, em 24 de abril de 2024, a Companhia do Metropolitano de São Paulo – Metrô, completou 56 anos de fundação. São datas muito significativas para a cidade e para o Metrô, que ao longo desses anos vem oferecendo serviços de excelência no transporte público de passageiros para toda a população.

Desde sua concepção o Metrô tem incorporado os mais avançados conceitos de modernidade e mobilidade urbana tornando-se modelo de Sistema de Transporte de alta capacidade, não-poluente e alinhado com os objetivos sociais que se propôs a alcançar.

Desde os primórdios implementou uma forte política de comunicação, investindo na capacitação constante de seu quadro de funcionários, criando um programa de treinamento e desenvolvimento contínuo. Adotou uma filosofia moderna de administração do serviço público que privilegiava a opinião de seus passageiros, proporcionando-lhes, além de um serviço de excelência, informações sobre os aspectos da operação e segurança pública.

Antes mesmo da criação do Código de Defesa do Consumidor, o Metrô garantia a existência de uma relação equilibrada, baseada na ética e no respeito, praticando uma real interação com seus passageiros, assegurando um nível elevado de comprometimento com a qualidade de vida de toda a metrópole.

A implantação da primeira linha do Metrô, a Linha 1-Azul, na época conhecida como Norte-Sul, introduziu tecnologias inovadoras e inéditas no país, além de premissas de projeto e operação ambiciosas que proporcionaram à cidade um modo de transporte compatível com sua escala e importância econômica.

Premissas tão ambiciosas do pon-

to de vista técnico, se refletiram nas diretrizes para o serviço a ser oferecido, procurando, antes mesmo de sua inauguração, interagir com os futuros passageiros e prepará-los para a chegada de um serviço altamente tecnológico, que alteraria para sempre a feição e a dinâmica da cidade de São Paulo.

## RELACIONAMENTO COM O PASSAGEIRO

O embrião do relacionamento do Metrô com seus passageiros começou muito antes de iniciar sua operação comercial, com o Programa de Treinamento da População, que visitou escolas no entorno das futuras estações, com a finalidade de apresentar o novo meio de transporte, ajudando o público a se familiarizar com os bloqueios automáticos – pouco parecidos com as catracas dos coletivos; escadas rolantes, pouco difundidas e ainda temidas à época, a disciplina de não se aproximar dos trilhos, que diferente dos utilizados nos trens, apresentavam risco muito maior. Do abrir e fechar das portas dos trens à utilização do bilhete magnético, tudo foi feito para garantir o conforto e a segurança ao se utilizar o sistema.

A excelência na qualidade do serviço oferecido ao público sempre foi objeto de preocupação do Metrô, que, desde os primórdios, implementou uma forte política de comunicação.

O Programa de treinamento à População deu lugar ao Programa de Visitas, que existe até hoje, com a finalidade de mostrar aos interessados, não só a tecnologia empregada pelo Metrô, como também o cuidado com seus passageiros e sua responsabilidade como empresa pública.

Desde aquele tempo, as visitas atendem à comunidade técnica, setores acadêmicos, empresas, representantes de governo, instituições, escolas, grupos e o público em geral. O local da visita depende do roteiro escolhido, que pode contemplar várias áreas da empresa, tais como: Pátio de Manutenção, Estações, Centro de Controle Operacional – CCO e outras, selecionadas levando em conta os objetivos da visita (fotos 2, 3 e 4).

Em uma época em que não existia nem Código de Defesa do Consumidor e os SAC's - Serviços de Atendimento ao Cliente eram incipientes, o Metrô já contava com Caixas de Sugestões em todas as estações, com o objetivo de conhecer os anseios dos passagei-

ros, ouvir suas sugestões para melhor atender suas necessidades. As manifestações chegavam escritas nos mais variados tamanhos e tipos de papéis, e todas eram cuidadosamente respondidas pelos técnicos.

Tais premissas por parte do Metrô foram bem recebidas e a resposta se deu em um comportamento exemplar dos passageiros, tanto na conservação da limpeza quanto na preservação das instalações, criando um círculo virtuoso de respeito e apropriação do bem público.

Para ouvir cada vez mais a voz da população e seus passageiros, o Metrô de São Paulo já percorreu um longo caminho e continua evoluindo constantemente. Viu a comunicação sair do papel e das cartas em formulários, adotar o telefone 0800, os meios eletrônicos, as redes sociais até a criação do Metrô Conecta, um aplicativo que permite interações em tempo real com o Console de Segurança no Centro de Controle Operacional.

Acompanhando as mudanças da sociedade, o Metrô identificou a necessidade de ampliar o relacionamento com diferentes públicos. Assim, a partir de 2012 passou a desenvolver outras ações colaborativas com os diversos segmentos da sociedade e passageiros. Isso incluiu a articulação com organizações da sociedade civil, como instituições de atendimento às Pessoas com Deficiência e seus Conselhos, tanto em nível municipal quanto estadual (foto 5).

O Metrô apoia a criação de políticas públicas em diversas áreas e colabora com secretarias de governo e organizações civis, representando a empresa em várias ocasiões em que contribui e sedia eventos de interesse público.

Engajado nessa missão, o Metrô em parceria com a Secretaria Municipal de Direitos Humanos e Cidadania implementou os Postos Avançados de Apoio à Mulher Vítima de Violência nas estações Santa Cecília e Luz, que fazem o acolhimento e o encaminhamento para os serviços da rede de apoio e proteção da cidade.

Além disso, hoje conta com o Programa Mais do Metrô, que leva o Metrô até os diversos stakeholders interessados em conhecer um pouco mais do sistema e da empresa.

Seguindo a trilha do atendimento acolhedor e humanizado monitora os atendimentos em primeiros socorros realizados nas estações, para fins estatísticos e tomada de decisão.

## CANAIS DE RELACIONAMENTO DA OPERAÇÃO DO METRÔ: INOVAÇÃO E REINVENÇÃO PERMANENTES

Na reunião virtual promovida pela ABA (Associação Brasileira de Anunciantes), no dia 04 de abril, sobre o SXSW - South by Southwest, um consagrado festival de inovação, que acontece no Texas, EUA, desde a década de 1980 foi levantado um ponto central da inovação hoje: "a convergência tecnológica e a necessidade de 'reprogramar' a sociedade em um contexto de hiperconectividade".

Neste escopo, o Metrô de São Paulo vem se modernizando, adaptando sua filosofia de comunicação visando a construção de um atendimento *omni-canal* aos seus passageiros que começou com a implantação de uma nova ferramenta de CRM (*Customer Relationship Management*), que, depois de completamente instalada, permitirá uma interação integrada em todos os canais de comunicação com os passageiros.

Trata-se de uma iniciativa importante de integração dos múltiplos canais disponibilizados à população ao longo dos anos, desde o início da Operação Comercial, em 1974.

Vale ressaltar, que desde o seu nascimento, o Metrô de São Paulo preocupou-se em ouvir a população, tratar suas demandas, responder aos contatos e, de forma mais ampla, utilizar essas informações - somadas às pesquisas realizadas - para conhecer seu público e, dessa forma, buscar a melhoria contínua de seus serviços.

Em 2017, por meio de estudo sobre a satisfação dos passageiros, o CoMET (*Community of Metros Benchmarking Group*) fez a recomendação, como boa prática, de utilização conjunta das informações de pesquisas de mercado e canais de relacionamento como subsídio para tomada de decisões estratégicas.

Além da caixa de sugestões e do atendimento pessoal (já disponíveis, desde o início da Operação Comercial), foi criada, em 1976, a Central Telefônica (0800), que ainda hoje é um dos principais canais de atendimento ao passageiro, pela sua vocação de prestação imediata de informações relevantes sobre a viagem, como o *status* da circulação dos trens e itinerários.

Outro assunto muito abordado nas ligações recebidas pelo 0800 é a busca por objetos perdidos no sistema de Achados e Perdidos (serviço criado em



Foto 1 - Notícia "Fatos e Fotos", inauguração do Metrô em Setembro de 1974



Foto 2 - Programa de relacionamento com visitas às instalações do Metrô



Foto 3 - Visitas monitoradas com estudantes (Fonte: Acervo Metrô-SP)



Foto 4 - Visitas monitoradas com a população para ambientação com o novo sistema de transporte (Fonte: Acervo do Metrô-SP)



Foto 5 - Desde cedo o Metrô se preocupa com a acessibilidade do público PCD, promovendo visitas para ambientação (Fonte: Acervo do Metrô-SP)



Foto 7 - Posto de achados e perdidos (Fonte: Acervo Metrô-SP)



Foto 6 - Telefone do usuário, criado para facilitar o contato com a Central de Atendimento do Metrô (Fonte: Acervo Metrô-SP)



1975). Com o tempo, os canais de relacionamento foram evoluindo com a empresa e as mudanças na sociedade, adequando suas ferramentas de acesso, tratamento e resposta, em acordo com as tecnologias existentes e as necessidades dos passageiros (fotos 6 e 7).

Foi assim que em 1996, com a crescente popularização da internet no Brasil, o Metrô disponibilizou seu portal institucional: [www.metro.sp.gov.br](http://www.metro.sp.gov.br).

Logo em seguida, em 1998, passou a atender por meio de endereço eletrônico: [servic@metrosp.com.br](mailto:servic@metrosp.com.br), que ficou disponível até 2016.

Para facilitar a gestão dos contatos dos passageiros foi adotado, em 2010, o Sugar CRM (*Customer Relationship Management*), que representou um grande avanço, permitindo o envio de consulta às áreas técnicas para subsídio da resposta e envio do e-mail ao passageiro, de forma centralizada, por meio de um sistema único.

A partir desse ano foi disponibilizado o canal Fale Conosco, que passou a permitir o registro da manifestação do passageiro diretamente pelo site do Metrô.

A despeito das conquistas obtidas com a nova ferramenta de CRM, nos anos que se seguiram, foram criados canais de relacionamento, em acordo com as novas exigências dos passageiros, que trouxeram desafios adicionais, típicos de uma configuração multicanal de atendimento ao cliente, que prevalece até hoje.

Assim, em 2011, foi criado o atual SMS Segurança, permitindo o envio de torpedos SMS – *Short Message Service* – serviço de mensagens de texto curtas. Este canal, idealizado para tratar assuntos de segurança pública, acabou sendo utilizado de forma diversa, recebendo outros tipos de mensagem, como elogios e pedidos de atuação imediata de outra “natureza”, como a regulagem do ar-condicionado e limpeza.

Os passageiros, a partir de então, passaram a ter com o Metrô um canal direto, assíncrono, para atuações em tempo real, o que foi revolucionário e preparou o terreno para a criação de um aplicativo específico para a comunicação direta com a empresa.

Esse cenário foi corroborado pelo início do monitoramento das redes sociais, a partir de 2013, e pela criação do aplicativo Metrô Conecta, disponível para celulares, a partir de 2017.

Para atender ao curto tempo de res-

posta em mensagens, que demandam pronta atuação, foi necessária uma reconfiguração dos processos internos da empresa, em especial da Operação, para que as demandas trazidas por esses canais fossem tratadas e respondidas de forma cada vez mais célere e eficiente. Foi uma transformação e tanto.

Cada canal disponibilizado ao passageiro trazia desafios e necessidade de adequações internas e, ao mesmo tempo, a possibilidade de maior proximidade e parceria com a população.

Nos últimos anos, foi crescente o uso de canais com essa natureza e vocação, de acordo com o perfil dos nossos passageiros: cada vez mais exigentes por transparência, agilidade e oportunidade de real contribuição na prestação do serviço *in real time*.

Até então, as tratativas dos contatos feitos pelo CRM não tinham o caráter público das redes sociais e tinham um tempo de apuração mais longo, típico dos canais de contato tradicionais, com prazos legais mais estendidos, quando comparados com a necessidade de respostas rápidas, típicas dos internautas atuais.

Hoje, convivemos com todas essas realidades, convergindo canais de contato com apurações mais complexas e detalhadas, que requerem maior tempo de tratamento e resposta, e canais em que a resposta deve ser rápida e imediata, sob demanda, no momento da viagem.

O passageiro deseja o ar-condicionado ligado quando manda o SMS ou a mensagem via aplicativo Metrô Conecta; assim como quer a limpeza ou reparo de algo que vê no caminho e posta nas redes sociais.

Ao mesmo tempo em que nos encaminha pedidos de informação curiosos sobre o serviço que requerem pesquisa e investigação – e sugestões – criteriosamente avaliadas e incorporadas.

Daí, o desenho multicanal de atendimento ao passageiro, vigente até hoje (figura 1).

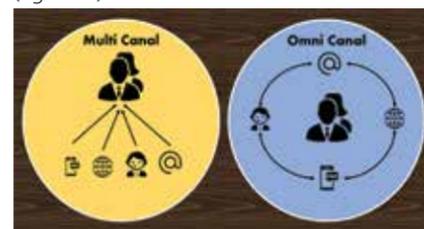


Figura 1 - Multicanal de atendimento (Fonte: [HTTPS://images.app.goo.gl/eTnpzMaJjuPHRLwRA](https://images.app.goo.gl/eTnpzMaJjuPHRLwRA))

O esforço atual da empresa é dar um passo à frente na direção do atendimento *Omnichannel*, por meio da integração dos canais existentes e a incorporação de novas tecnologias, como *chatbot*, proporcionando uma experiência inovadora, disruptiva e adequada ao perfil cada vez mais tecnológico do passageiro.

Em um mundo cada vez mais *phygital*, em que os limites entre o físico e o digital são cada vez mais fluídos, a gestão integrada dos múltiplos canais de relacionamento se torna urgente, para a garantia da manutenção dos níveis de excelência no atendimento, a despeito dos desafios de redução de custos e incorporação de novas tecnologias, ao lado da necessidade de crescente humanização, personificação e proximidade aos passageiros que utilizam o nosso serviço.

A seguir tem-se alguns dos nossos números:

- 6,5 milhões de ligações telefônicas desde 1976;
- 248.000 atendimentos registrados no SugarCRM desde 2010;
- 703.000 contatos pelo SMS Segurança desde 2011;
- 145.000 contatos pelo Metrô Conecta desde 2017.

Breve histórico: ver figura 2.

**PESQUISAS**

A área de pesquisa do Metrô de São Paulo foi criada em 1974. Na época, a Gerência de Operações já considerava o entendimento preciso sobre como deveria ser a qualidade do serviço e do marketing de relacionamento, inclusive sendo criada uma área para estabelecer um canal direto com a população.

Para o Metrô ser reconhecido como um serviço de qualidade, o tripé: empregado, equipamento e passageiro deveria funcionar harmoniosamente. Era essencial conquistar a opinião pública para consolidar o serviço e garantir os recursos do Governo do Estado de São Paulo para a expansão do sistema. Para isso, investiu-se de forma maciça no treinamento dos empregados, na manutenção dos equipamentos e no programa de visitas que preparava os passageiros para o uso do sistema (figura 3).

O Metrô de São Paulo foi pioneiro na criação de uma área de pesquisa de mercado e de atendimento, buscando conhecer a experiência de viagem dos passageiros, suas opiniões, expectativas, sugestões e, sobretudo, suas reclama-

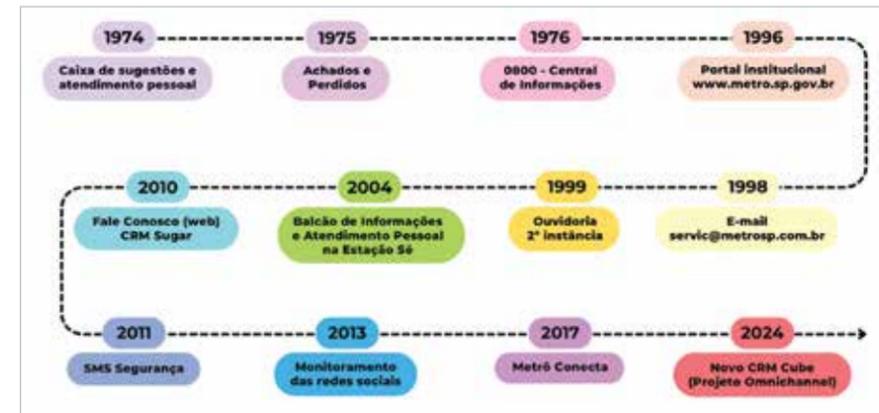


Figura 2 - Breve histórico

ções. A iniciativa levou o segmento de transportes a adotar a prática e a criar suas áreas de pesquisa e relacionamento.

A primeira pesquisa do Metrô foi realizada antes mesmo da inauguração da



Figura 3 - Serviço de qualidade, o tripé: empregado, equipamento e passageiro

operação comercial. O objetivo era investigar e conhecer as ideias da população sobre o Metrô, um transporte novo no Brasil e desconhecido pela maioria das pessoas.

Esta pesquisa apontou que a população imaginava que o Metrô seria:

- Um transporte rápido, com velocidade “supersônica”, seguro, confortável e moderno;
- Teria a função de organizar o trânsito na cidade;
- Esperava-se comodidade na viagem, com controle que evitaria excesso de lotação;
- Haveria poucos empregados, mas cultos e bem-preparados, menos irritadiços que os dos ônibus;
- A integração significava duplicação de gastos; e
- A pouca familiaridade da população com automatismo gerava insegurança.

A pesquisa realizada após o primeiro ano de operação mostrava que a população e os passageiros consideravam o Metrô como: “a grande obra do século, a maior benfeitoria que o governo poderia ter feito pelo povo.” (Pesquisa: O significado do primeiro ano de operação comercial, para a população. Outubro/1975).

Desde a criação da área de relacionamento em 1974, muitas pesquisas foram realizadas. O acervo conta com 990 relatórios, fruto dos levantamentos sistemáticos, como: as Avaliações do Serviço, a Caracterização Socioeconômica e Hábitos de Viagem, o Comportamento do Passageiro e os levantamentos do tipo Origem e Destino.

Outras pesquisas atendem a pedidos de diversas áreas da companhia, sendo as de caráter operacional voltadas para avaliar: impactos ou necessidades de implantação de equipamentos e estratégias; campanhas e comunicação com o passageiro; expansão de novas linhas; a nomenclatura das estações e as de opinião dos empregados sobre temas de interesse de diversas gerências.

As técnicas metodológicas adotadas são as quantitativas e as qualitativas e visam coletar e analisar os resultados com o objetivo de responder a perguntas ou aprofundar o conhecimento sobre o objeto de estudo.

Entre os métodos qualitativos utilizados têm-se os “grupos focais” que reúnem passageiros para uma conversa

Figura 4 - Formulários de pesquisas à época da inauguração



conduzida por um moderador, com o objetivo de captar as opiniões “materializando” as sensações, sentimentos e percepções, a partir da interação do grupo e assim, possibilitam compreender o objeto de estudo e quais são os fatores que influenciam a formação da opinião ou comportamento estudado. Outras técnicas muito empregadas são: as entrevistas individuais e em profundidade; as observações que independem de interação ou vontade do observado e o Cliente Oculto que mede a qualidade do serviço pela experimentação de pesquisadores que se passam por passageiros.

As pesquisas quantitativas pressupõem a mensuração de fatos, opiniões e fenômenos. São aplicados conceitos científicos da estatística e da teoria das probabilidades. Os dados podem ser tratados matematicamente, permitindo, posteriormente, sua generalização, comparação e interpretação.

Nessas pesquisas, o instrumental mais empregado é a entrevista pessoal individual, estruturada e padronizada em um questionário previamente formatado, a ser aplicado a um determinado número de pessoas especificado pelas técnicas de amostragem. O método quantitativo fornece informações de natureza mais objetiva. Seus resultados podem refletir as ocorrências na população como um todo, ou em seus segmentos, de acordo com a amostra que se quer estudar.

No início, as pesquisas eram feitas em formulários em papel e a tabulação das respostas eram manuais. Os relatórios eram datilografados a partir de rascunhos escritos à mão, os gráficos e tabelas eram desenhados usando-se papel milimetrado, compasso e régua (figura 4).

O Metrô acompanhou as tendências de mercado e, em 2013, digitalizou seus processos de elaboração dos questionários. A utilização dos dispositivos eletrônicos eliminou 100% o consumo de papel nas coletas das opiniões dos passageiros. Para o processamento de dados, o Metrô utiliza um *software* estatístico que, aliado à coleta digital, traz ainda mais confiabilidade para os resultados (figura 5).

Em 2020, os técnicos da área de pesquisa participaram ativamente da construção da Jornada do Passageiro, mapeando os pontos de interação do passageiro com o serviço prestado. O objetivo era identificar pontos de aprimo-

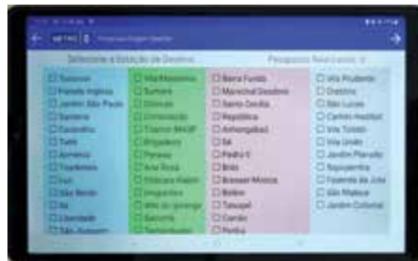


Figura 5 - Em 2013 foi digitalizado o processo de elaboração de questionários de pesquisas

ramento com base nas dores identificadas nas Personas representativas de alguns perfis de passageiros. A técnica utilizada foi o *Design Thinking*. Este trabalho foi realizado no âmbito do Plano de Negócios e foi desenvolvido de forma multidisciplinar, com o patrocínio da gerência de marketing, sendo que em 2022 o Metrô ganhou o prêmio Track.co Experiência do Cliente (figura 6).

Os resultados das pesquisas são utilizados para tomadas de decisão, mudanças nos processos e definições, como por exemplo, a escolha da voz a ser utilizada nas comunicações por alto falantes (PA - Public Address).

Desde sua criação, muitas pessoas passaram pela área da pesquisa contribuindo para a formação de um legado importante de informações e conhecimento. Realizar pesquisas de opinião com os passageiros é essencial para uma gestão eficaz, pois fornece informações valiosas para orientar decisões estratégicas e melhorar continuamente a prestação de serviço. O Metrô de São Paulo, ao criar uma área de Relacionamento e Pesquisa, deu voz ao passageiro e o colocou no centro do serviço.

#### FOCO NO PASSAGEIRO

As pesquisas e os canais de relaciona-



Figura 6 - O Metrô ganhou o prêmio Track.co Experiência do Cliente

mento com o passageiro são ferramentas fundamentais para a gestão, pois permitem:

**Conhecer o passageiro:** compreender suas necessidades, desejos e preferências, contribuindo para sermos assertivos no atendimento às suas expectativas.

**O feedback sobre o serviço:** as pesquisas e os canais de relacionamento são instrumentos de escuta direta dos passageiros para que expressem suas opiniões e sugestões, de forma aberta e espontânea. Ao colocar o passageiro no centro da prestação de serviço, a empresa tem mais oportunidades de melhorar produtos, serviços e processos internos, impulsionando a inovação e a qualidade.

**Identificação de problemas:** ao receber *feedback*, a gestão pode identificar áreas ou processos a serem aprimorados e desenvolver ações corretivas.

**Melhoria contínua:** as informações de pesquisas e canais de relacionamento fornecem *insights* valiosos para melhorar constantemente a qualidade dos serviços oferecidos, bem como a experiência do passageiro.

**Fidelização:** ao demonstrar que valoriza suas opiniões e toma medidas com base nelas, a empresa pode aumentar a satisfação do passageiro e a sua fidelidade. Passageiros satisfeitos são propensos a recomendar o Metrô para outros e a contribuir para a formação de uma imagem positiva do serviço e da marca Metrô de São Paulo.

**Diferenciação competitiva:** utilizar *feedback* de passageiros para aprimorar produtos e serviços pode resultar em uma oferta única e diferenciada no segmento de transporte, o que pode ser uma vantagem competitiva.

**Satisfação do passageiro:** as pesquisas de opinião também são usadas

para avaliar a prestação de serviço e acompanhar a sua evolução ao longo do tempo.

Focar nas necessidades e expectativas dos passageiros torna possível oferecer serviços que o atendam melhor, resultando em sua satisfação, assertividade nas ações e otimização de recursos.

#### CONSIDERAÇÕES FINAIS

O papel do Metrô na cidade de São Paulo sempre foi o de um forte agente promotor de mudanças. Uma linha de metrô não é apenas um meio de transporte de alta capacidade, é também um elemento organizador de seu espaço. O conjunto das linhas, do sistema metroviário, é muito mais que uma rede de transporte rápido, e que colabora com o meio-ambiente, é também, o conjunto de veias e artérias que promove a mobilidade urbana. A presença das estações induz ao adensamento e à renovação das edificações, promove a dinamização dos polos que atende e gera novos núcleos de comércio e serviços nas áreas habitacionais.

O aumento significativo do nível de acessibilidade e da atividade econômica, são, fatos que associam à construção de

uma linha de Metrô oportunidades de empreendimentos, tanto para as atividades econômicas localizadas nas imediações do entorno, como para o mercado imobiliário.

Através de seu notável potencial de indução de mudanças, o Metrô permanece buscando novas estratégias para ampliar e otimizar sua capacidade de atendimento, a fim de continuar proporcionando à metrópole um modo de transporte compatível com sua escala e importância econômica, reduzindo custos e aumentando sua eficiência, corroborando os objetivos de 56 anos atrás. Seja com cerca de 2.800 passageiros ao dia, no início da operação, ou com os quase 5 milhões de passageiros transportados no dia de seu recorde histórico, o relacionamento com essas pessoas leva a Cia. do Metrô de São Paulo a continuar inovando e modernizando continuamente, sempre antecipando tendências e abraçando sua diversidade. 🚇

\* **Melissa Belato Fortes** é Arquiteta e Urbanista, com mestrado e doutorado em Mobilidade Urbana. Atualmente é responsável pelo Departamento de Relacionamento com o Passageiro no Metrô-SP. E-mail: melissa\_belato@metrosp.com.br

\*\* **Paulo Ary Tender Guimarães** é M.Sc. em Comunicação, Gestor da Coordenadoria de Informação e Atendimento ao Passageiro do Departamento de Relacionamento com o Passageiro no Metrô-SP. E-mail: aryntender@metrosp.com.br

\*\*\* **Marcos Leodoro Borges** é Administrador de Empresas, Pós-graduado em Projetos Sociais e Políticas Públicas, especialista em Políticas Públicas e Rendição de Cuentas, é Gestor de Cuidado, Comunicação e Ações Colaborativas com o Passageiro no Departamento de Relacionamento com o Passageiro no Metrô-SP. E-mail: mlborges@metrosp.com.br

\*\*\*\* **Ana Maria Coelho** é graduada em Letras, Supervisora no Departamento de Relacionamento com o Passageiro no Metrô-SP. E-mail: anacoelho@metrosp.com.br

\*\*\*\*\* **Maria Lúcia Bezerra Pedroza** é graduada em Economia, Analista no Departamento de Relacionamento com o Passageiro no Metrô-SP. E-mail: maria\_pedroza@metrosp.com.br

\*\*\*\*\* **Ana Claudia Vaz Grieco** é graduada em Ciências Sociais e Medicina Veterinária, Analista no Departamento de Relacionamento com o Passageiro no Metrô-SP. E-mail: anagrieco@metrosp.com.br

## Meio século de movimento, eficiência e inovação.

A CS Infra parabeniza o Metrô de São Paulo. Afinal, disso nós também entendemos.

Somos uma holding do Grupo Simpar, especializada em gestão para operações em todo o país. Com excelência em prestação de serviços e humanização em nosso DNA, estamos preparados para novos desafios e para continuar melhorando o Brasil e a vida das pessoas. Com negócios sustentáveis, construímos um futuro mais próspero para todos nós.





# Integração de serviços de missão crítica com a tecnologia 5G

FELIPE COPCHE\* / RUBENS NAVAS BORLONI\*\* / ADALBERTO DE PAULA RAMOS\*\*\*

Da mesma forma que são concebidos sistemas de comunicações militares para aeronaves não tripuladas (UAS) ou veículos táticos autônomos de defesa, os sistemas metroviários de missão crítica devem ser seguros, ter alta confiabilidade, disponibilidade e estar protegidos contra eventuais ataques cibernéticos, seja para a supervisão centralizada, comando e controle do sistema de sinalização dos trens ou para a transmissão bidirecional de algumas informações restritas por dados, voz ou vídeo, via frequências de rádio. Para garantir o atendimento de tais requisitos, o setor ferroviário tem adotado redes digitais de comunicação fechadas e segregadas entre sistemas, o que gera uma quantidade maior de elementos eletrônicos e pontos de acesso, ou rádios nos túneis, que irão demandar mais esforços de manutenção. Redes não-integradas costumam gerar ociosidade de banda em alguns serviços, além da necessidade de alocação de diferentes espectros de frequência que não interfiram entre si.

Para metrô, enquanto o sistema de sinalização por controle de trens baseado em comunicação – CBTC (*Communications Based Train Control*) – e o rádio digital por Frequência Ultra Alta – ou UHF – ocupam uma estreita faixa de banda, o Sistema de Comunicação Móvel de Voz e Dados – ou SCMDV – não possui banda suficiente sequer para a transmissão em tempo real de um conjunto de imagens de algumas câmeras embarcadas do salão de passageiros com resolução a desejar, enquanto a necessidade de sensoriamento remoto de subsistemas importantes do trem e a necessidade de oferecer um serviço adequado de internet móvel aos passageiros nos túneis e estações tende a crescer com um maior grau de automatização das linhas metroviárias e novas demandas de serviços. Em resumo, os sistemas de rádio convencionais para missão crítica para o setor ferroviário como o Wi-Fi, TETRA e o GSM-R não conseguirão acompanhar as necessidades crescentes das operadoras metroferroviárias e dos passageiros.

No caso de receitas acessórias advindas da veiculação de infotenimento nos monitores do salão dos trens através de empresas parceiras, é necessário acrescentar outros rádios embarcados e em alguns pontos de acesso na via comercial para atualização remota do conteúdo midiático, mas em um arranjo de transmissão e de espectro que não interfira também na comunicação dos demais sistemas operacionais.

Em paralelo, visando manter a competitividade em qualquer setor da economia, a adoção de novas tecnologias para redes móveis e banda larga tem sido um passo fundamental no processo de transformação digital das empresas e adaptação às novas demandas do mercado. Além de melhorar a experiência dos clientes com os serviços prestados, há ganhos em eficiência e produtividade, além de fomentar a inovação no seu ecossistema.

Uma das etapas do processo da aceleração digital envolve a integração de tecnologias considerando perspectivas variadas do negócio, e englobando desde as operações internas, relacionamentos com os clientes, desenvolvimento de serviços e produtos, até mesmo a cultura organizacional. Além das novas tecnologias para telecomunicação, o sucesso no processo de adaptação à nova realidade pode incluir a implementação de novos sistemas de gerenciamento e análise de dados, a automação de processos, inteligência artificial, o aprendizado de máquina ou *machine learning*, plataformas de armazenamento de dados em nuvem, dentre outras tecnologias emergentes.

De qualquer forma, há um consenso no mercado de tecnologia, que a atual quinta geração da rede de comunicação móvel – ou 5G – permanece como uma espinha dorsal para acelerar o movimento de transformação digital nas empresas, pois oferece conectividade mais rápida e confiável, possui maior largura de banda e menor latência em relação às gerações anteriores, ampliando sua utilização em novas aplicações que demandam grande volume de dados, contribuindo assim com a transição de recursos e ferramentas físicas para ambientes virtuais de produtividade.

A diferença entre a tecnologia 5G com a

geração anterior não se restringe somente em muito mais velocidade para acessar a internet. A nova geração pode operar também em frequências mais altas com ondas milimétricas que oferecem mais estabilidade e menor latência, características muito bem-vindas também na comunicação terra-trem de um sistema de sinalização de metrô, pois o tempo de resposta (latência) é um parâmetro fundamental e crítico entre um comando remoto e sua respectiva execução embarcada.

Enfim, as características de desempenho do 5G possibilitam que a rede móvel atinja um patamar equivalente à banda larga cabeada residencial pela primeira vez na história, em parte pela sua maior densidade espectral, permitindo ser utilizada de forma profissional e absoluta por diversos setores, seja para a infraestrutura de sistemas, ferramentas em tempo real e inteligência de negócio, e não somente para o uso doméstico. Essa tecnologia também é importante para o desenvolvimento de veículos autônomos, cidades inteligentes e outras soluções inovadoras.

## EM QUAL ESTÁGIO ESTÁ A IMPLANTAÇÃO DA TECNOLOGIA 5G NO BRASIL?

Em todas as capitais brasileiras, a tecnologia 5G já se encontra disponível desde novembro de 2021, quando ocorreu o leilão de espectro pela Agência Nacional de Telecomunicações - ou ANATEL -, com direito de exploração das faixas por até 20 anos para o serviço de internet, no âmbito regional e nacional para cada faixa. Foram oferecidas quatro faixas de frequência ao mercado: 700 MHz, 2,3 GHz, 3,5 GHz e 26 GHz.

Em julho de 2022, a operadora de trens de carga Rumo e a Surf Tech firmaram parceria para a implantação de uma rede de fibra ótica com foco em 5G, com potencial para chegar a cobrir os 14 mil quilômetros de trilhos administrados pela concessionária. Tal investimento visa levar conectividade para municípios presentes em nove estados brasileiros cortados pela malha através de uma rede de fibra ótica com capacidade para tráfego de dados de até um

bilhão de Gpbs. Esta robusta rede cabeada instalada ao longo do traçado da malha ferroviária deve ajudar a capilarizar a adoção da tecnologia 5G em áreas populacionais menores e mais distantes dos grandes centros urbanos.

Em julho de 2023, a internet 5G havia completado 1 ano no Brasil, com mais de 8 milhões de usuários em cerca de 30% dos municípios brasileiros, antecipando o cumprimento de metas da ANATEL. Ultimamente, a velocidade do 5G tem crescido no país, porém a disponibilidade do serviço ainda é muito baixa em relação aos EUA ou Coreia do Sul, por exemplo. Como contraponto, a melhoria na rapidez está desacelerando à medida que o tráfego móvel e os congestionamentos na rede se intensificam com os novos usuários que migram para dispositivos compatíveis com a quinta geração, o que deve demandar novos investimentos em regiões onde o serviço já está disponível.

*“O 5G é uma revolução, não apenas uma evolução. Isso porque ele pode substituir outras redes, por uma rede integrada. A tecnologia permite transformação digital de todos os setores produtivos, da agropecuária à indústria, sendo determinante para o futuro do desenvolvimento econômico do país.”*

**Nathalia Souza Lobo, ex-secretária nacional de Telecomunicações do Ministério das Comunicações.**

## E QUANTO AO SETOR DE TRANSPORTE DE PASSAGEIROS SOBRE TRILHOS?

Em virtude do impacto do aquecimento global e urgência da transição energética, o setor ferroviário mundial vem se tornando uma opção mais acertada para viagens de curta distância frente a aviação comercial, o que tem despertado interesse das empresas de tecnologia de comunicação e ecossistemas para o avanço do 5G nesse setor, embora as iniciativas estejam ainda nos primeiros estágios com testes-piloto, porém já com experimentações de novas ferramentas sendo aplicadas na pontualidade dos trens e prevenção de acidentes.

Em relação ao serviço de internet, a alta capacidade do 5G já está transformando as viagens de metrô em algumas cidades internacionais, aumentando a qualidade de vida, e em alguns casos, a produtividade de seus passageiros. Na capital da Coreia do Sul, por exemplo, 5 milhões de pessoas utilizam o metrô de Seul diariamente, sendo que 90% delas possuem *smartphones*. Ainda segundo dados da cidade, um passageiro comum gasta cerca de 36 minutos por dia no metrô, percorrendo uma distância média de quase 14km. Um serviço de internet por 5G de alta velocidade pode também encorajar uma maior utilização

do metrô, reduzindo o congestionamento dos veículos, a poluição e as emissões de gases com efeito de estufa nas cidades coreanas.

A empresa multinacional sul-coreana Samsung tem conduzido pesquisas e desenvolvimento em ondas milimétricas por um longo tempo. Em 2018, implantou suas primeiras soluções comerciais de 5G com Acesso Fixo sem Fio, ou 5G FWA, em operadoras móveis dos EUA, visando substituir parte da infraestrutura de banda larga cabeada. Em 2022, a empresa alcançou a velocidade de download 5G de 8 Gbps utilizando uma combinação de 800 MHz de espectro 5G de 28 GHz e 100 MHz de espectro de banda média, juntamente com a tecnologia Nova Conectividade Dupla de Rádio, ou NR-DC. Uma configuração similar denominada de 5G *mmWave Compact Macro* vem sendo implantada comercialmente em algumas linhas do metrô de Seul com um rendimento esperado da rede entre 3 e 4 Gbps, mas com perspectiva de atingir até 6 Gbps em breve, segundo o Ministério de Ciência e Tecnologia das Comunicações e Informação da Coreia do Sul – MSIT. Este nível de desempenho oferece uma experiência de conectividade aprimorada aos passageiros de metrô, como assistir vídeos em 4K em *smartphones* mesmo com os trens em movimento em uma condição razoável de carregamento do trem, já que pode suportar pelo menos 700 Mbps por carro, algo impossível para uma rede WiFi.

Além do serviço de internet aos passageiros, nos estágios iniciais de convergência da rede, uma configuração em 5G similar ao metrô sul-coreano pode facilitar a implementação de sistemas de monitoramento remoto da frota e a análise de dados em tempo real para manutenção preditiva, permitindo que as equipes de manutenção identifiquem e resolvam problemas antes de afetarem a disponibilidade operacional do serviço (figura 1).

## QUANDO SE DARÁ A INTEGRAÇÃO DOS SERVIÇOS DE MISSÃO CRÍTICA EM NOSSO SETOR?

No serviço metroferroviário de transporte de passageiros, a tecnologia 5G vem ganhando destaque em função da sua capacidade, desempenho e potencial para integrar com segurança informações de diferentes sistemas, ou seja, possibilita realizar a convergência de redes operacionais de comunicação do setor e promover maior inte-



Figura 1 - Serviço de WiFi do Metrô de Seul utilizando tecnologia 5G da Samsung com ondas milimétricas de 28 GHz

operabilidade entre os serviços e sistemas.

Conforme mencionado anteriormente, em alguns países, testes pilotos já se encontram em andamento utilizando redes 5G visando aprimorar a comunicação e automação ferroviária sem fio. A operadora alemã Deutsche Bahn está testando a operação de manobra automatizada de trens como parte de seu Projeto Digital S-Bahn na cidade de Hamburgo, incluindo um desvio de trens vazios em uma área próxima à estação Bergedorf realizado sem operadores embarcados e somente com base na transmissão remota de informações de controle da frota por uma rede móvel 5G. Para uma implementação completa na rede ferroviária, tal aprimoramento pode potencialmente eliminar centenas de quilômetros de cobre e cabo de fibra ótica necessários para a conexão cabeada aos ativos fixos das linhas como intertravamentos e máquinas de chave.

A segurança ferroviária sempre será prioridade e a arquitetura do projeto 5G possui requisitos para fornecer confiabilidade de missão crítica, exigida principalmente pelos sistemas de sinalização CBTC e o Sistema Europeu de Controle Ferroviário, ou ETCS. Uma aplicação nesses sistemas normalmente tolera uma perda de comunicação não mais do que alguns segundos, e espera-se que os sistemas 5G privados atinjam 99,9999% de confiabilidade, o que equivale ao surpreendente número de 86 milissegundos por dia de tempo total de inatividade.

Os serviços operacionais por voz também exigem extrema priorização da rede, pois ajudam a garantir a segurança e fornecem um meio essencial de sustentar as operações dos trens em um modo de condução manual, caso o sistema de sinalização esteja indisponível ou em um cenário degradado. O 5G deve substituir futuramente os serviços altamente confiáveis e seguros da comunicação bidirecional na modalidade



Figura 2 - Escalonamento das camadas de serviços em uma rede 5G

Half-duplex de rádio móvel troncalizado e terrestre – ou Tetra – e poderá adicionar a comunicação por vídeo e outras aplicações que demandam mais largura de banda, incluindo o uso de aplicativos de realidade aumentada como alternativa para fornecer suporte remoto em tempo real ao pessoal de manutenção.

Entende-se que a expansão da rede 5G se dará inicialmente pela massificação do serviço de internet ao cidadão comum. Na sequência, a tecnologia será aplicada na automação de processos fabris como a Indústria 4.0, logística e varejo. Assim que for comprovada que a tecnologia deve garantir uma baixa latência, alguns serviços de missão crítica farão também uso dessa rede. A infraestrutura para veículos autônomos e cirurgias remotas na medicina são alguns exemplos.

A aplicação de missão crítica para o controle de trens do transporte público e massificado pode ser migrada posteriormente em uma rede 5G pública para linhas em superfície, eliminando o custo de construção e manutenção de uma rede de acesso de rádio sob medida, caso a confiabilidade e disponibilidade dessa rede seja atestada, ou até mesmo uma rede privada instalada ao longo dos túneis, no caso de metrô. A figura 2 resume o escalonamento da convergência de serviços por setores econômicos em uma rede 5G.

“Comunicação não é apenas a essência do ser humano, mas também uma propriedade vital.”

John A. Piece

Quanto à escalabilidade, existe uma grande disparidade entre a vida útil de algumas décadas de um trem com o alto nível de obsolescência das tecnologias de comunicação e informação. Graças aos sistemas inteligentes embarcados previstos para as novas gerações, as operadoras de transporte ferroviário podem futuramente misturar e combinar sistemas de rádio e migrar do 5G para o 6G quando chegar o momento. Atualmente

apenas um pequeno número de fornecedores é capaz de atender aos requisitos ferroviários, desta forma limitando a concorrência, com soluções específicas e de alto custo devido à baixa escala de produção. O 5G deve reduzir a

necessidade de equipamentos proprietários.

O Metrô de Tóquio, em parceria com o Instituto de Pesquisa de Tecnologia Ferroviária do Japão, Hitachi, Mitsubishi e a empresa de comunicações NTT, deve começar a testar ainda neste ano a tecnologia 5G para suportar um sistema projetado no Japão de controle de trens baseado em comunicações, com o propósito de testar a eficácia da nova tecnologia em um ambiente ferroviário verdadeiro e em uma condição totalmente funcional de CBTC 5G. Atualmente, a sinalização por CBTC geralmente dispõe de rede dedicada sem fio Wi-Fi padrão, como o IEEE 802.11, utilizando cabos fendidos ou pontos de acesso por rádio para comunicação dos trens com a infraestrutura ao longo da via.

Estão previstos testes para examinar as características de propagação de ondas de rádio das redes 5G públicas e privadas, com equipamentos sem fio dedicados, em espaços subterrâneos e em superfície. Será verificado se a qualidade requerida para as comunicações dos trens com a infraestrutura da via pode ser assegurada em várias condições, além de outros de testes de controle, de transmissão de sensores e imagens utilizando a infraestrutura de comunicações ferroviárias. Segundo a operadora japonesa, os resultados dos testes serão utilizados para criar um conjunto preliminar de requisitos técnicos, para sistemas de comunicação ferroviária que serão padronizados de acordo com especificações internacionais, por exemplo, compatível com o futuro sistema de comunicação móvel para ferrovia – FRMCS (Future Railway Mobile Communication System) – já em desenvolvimento na Europa, o que reduzirá as barreiras à entrada em projetos internacionais, seja para linhas ferroviárias ou metrô.

Em relação aos benefícios da mudança para um sistema de controle de trens baseado em 5G, a empresa espera um investimento de capital menor, ou CAPEX, melhor eficiência operacional e menores requisitos de força de trabalho, particularmente relacionados à manutenção, além dos pré-requisitos

de melhores níveis de segurança e estabilidade do sistema. A empresa de Tóquio também pretende desenvolver a transformação digital para sistemas ferroviários utilizando tecnologia de IA (Inteligência Artificial) e tecnologias sofisticadas de sensoriamento e análise.

Já o FRMCS é um projeto que engloba aspectos técnicos, funcionais e operacionais para criar um padrão de comunicação móvel para sistemas ferroviários que deve gradualmente substituir as redes de comunicação existentes, por exemplo o Sistema Global para Comunicações Móveis Ferroviárias – ou GSM-R – atualmente utilizado em muitas redes ferroviárias em todo o mundo. Dentre as características e objetivos do projeto, encontra o suporte para tecnologias de comunicação móvel mais recentes como o 5G para fornecer uma conectividade mais rápida, confiável e eficiente para as operações metroferroviárias.

Outra importante prioridade é garantir a interoperabilidade entre diferentes sistemas ferroviários, mas também com outros modos de transporte fora dos trilhos, facilitando a comunicação entre trens, infraestrutura e pessoal de operação. Uma questão importante exposta no início deste artigo é que o FRMCS dá foco na segurança e na confiabilidade, garantindo que as comunicações entre trens e infraestrutura sejam protegidas contra ameaças e interrupções, mantendo a robustez da rede, resiliência e confidencialidade dos dados.

O projeto prevê flexibilidade para se adaptar às necessidades e evoluções futuras dos sistemas ferroviários, permitindo escalar novos serviços e funcionalidades. Por último, o projeto contempla a otimização do uso do espectro de frequências disponíveis, garantindo uma utilização eficiente e minimizando interferências.

A norma técnica em desenvolvimento do padrão FRMCS é definida pelo Instituto Europeu de Normas de Telecomunicações – ou ETSI – que é responsável por estabelecer padrões técnicos para comunicações móveis ferroviárias e trabalha em conjunto com outras organizações e partes interessadas no estabelecimento de requisitos e especificações técnicas.

### COMO SERÁ A COBERTURA 5G EM METRÔS COM ESTAÇÕES E TÚNEIS SUBTERRÂNEOS PROFUNDOS?

Uma estação de metrô subterrânea é equivalente a um porão com vários andares, e a cobertura do sinal pode ser facilmente equacionada por meio de soluções tradicionais, para ambientes internos ou através da implantação de um projeto, com novos sistemas de antena distribuídos em cada andar

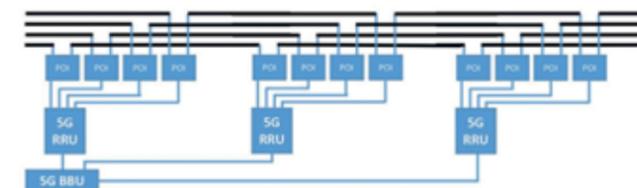


Figura 3 - Comunicação 5G dupla multicanal com 4 cabos fendidos em paralelo nos túneis

pelas operadoras de planos para rede móvel.

Já os túneis de metrô possuem em geral 1.000 metros de extensão entre as estações, acompanhados por curvas e alguns obstáculos. Caso se opte por usar uma antena direcional com um pequeno ângulo de cobertura do sinal, a atenuação será rápida e fácil de ser bloqueada. Para resolver o problema, os sinais de radiofrequência precisam ser irradiados ou captados uniformemente ao longo da extensa direção longitudinal do túnel para obter uma cobertura mais linear, ou seja, bem diferente das soluções de cobertura por pavimentos de uma estação.

Isso requer a distribuição de diversos pontos de acesso por rádio no túnel, com um espaçamento entre eles compatível com o comprimento entre as cabeceiras do trem ou uma antena especial: o cabo coaxial vazado ou fendido, que possui pequenas aberturas uniformemente distribuídas em sua blindagem, permitindo irradiar ou receber sinais com um único cabo compartilhado para o caso da tecnologia de terceira geração – ou 3G – convergindo espectros variados de frequência de diferentes operadoras de rede móvel através de um dispositivo chamado de combinador de interface de ponto – ou POI (Point of Interface). No caso de rede pública 5G, devido a maior capacidade do sistema, a cobertura do túnel precisará da instalação de 4 cabos coaxiais fendidos em paralelo (figura 3).

### COMO O 5G PODERÁ CONTRIBUIR COM UMA SINALIZAÇÃO METROVIÁRIA MAIS INTELIGENTE?

O nível de precisão do CBTC e ETCS em conjunto com o 5G na informação de posicionamento/localização permitirá aprimoramentos na gestão de trens em relação a infraestrutura de via, aumentando a capacidade de transporte da linha. Para sistemas de sinalização mais sofisticados, a comunicação se dará também entre os trens, permitindo um acoplamento virtual, para que dois trens possam se mover juntos como se estivessem fisicamente acoplados. Como um ingrediente vital na evolução da operação autônoma, os trens também poderão conversar com seus arre-

dores, graças às comunicações com a infraestrutura fixa, acelerando a tomada de decisão. A massificação da aplicação de IoT ou Internet das Coisas, com dispositivos habilitados para 5G, proporcionará novas maneiras de monitoramento de ativos indoor e outdoor.

Melhorias nas programações de tráfego e a capacidade de orquestrar a movimentação dos trens em toda a rede eliminará gargalos. O monitoramento do consumo de energia para viagens mais ecológicas será facilitado, ajudando na necessidade crescente de redução da emissão de carbono pelas operadoras de trens, enquanto isso o monitoramento remoto do desgaste de interfaces mecânicas trará mudanças significativas para a manutenção preditiva, permitindo que os trens fiquem prestando serviço por mais tempo do que parados nos pátios para manutenção. O 5G não conecta apenas trens a redes, ele torna os trens parte da rede.

O 5G poderá contribuir também com a materialização de campanhas de marketing personalizadas direcionadas a milhões de clientes, auxiliar na localização indoor de pessoas ou demandas de serviços, além de monitorar filas na bilheteria e ajudar os passageiros a evitar aglomerações em plataformas e trens. A figura 4 resume as principais potencialidades para uma operação metroferroviária mais autônoma.

### ENCERRAMENTO

Em virtude da necessidade de atualização tecnológica para a concepção de projetos de sistemas de sinalização, centro de controle e material rodante para futuras linhas automatizadas de metrô, a empresa vem monitorando algumas iniciativas de aplicação da tecnologia 5G em ferrovias e metrô internacionais mais próximos de fornecedores e centros importantes de desenvolvimento tecnológico, e em conjunto com a equipe técnica interna de Telecom.

Enquanto o mundo ganha maturidade na aplicação do 5G para o setor ferroviário, a empresa vem estudando a tecnologia através de alguns testes exploratórios na rede 5G pública da cidade, por meio de parceiras

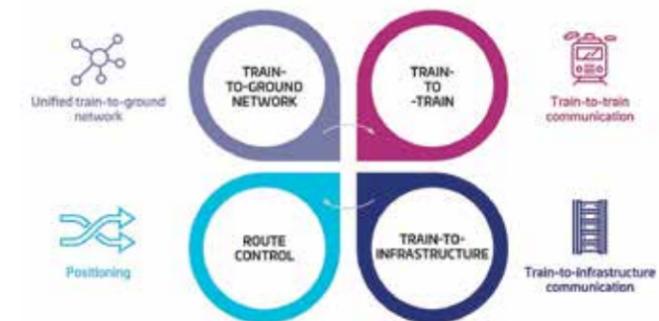


Figura 4 - Opções de utilização dos recursos avançados do 5G em transportes ferroviários autônomos

entre seu Núcleo de Inovação Tecnológica, a Gerência de Projetos da Diretoria de Planejamento e Engenharia do Metrô, e Instituições de ensino como a FEI, onde a Linha 15-Prata do metrô tem sido um bom campo de experimentação para a sinalização metroviária e a sinalização de pessoas.

Além dos anseios internos da sinalização metroferroviária, de dispor futuramente de uma única rede de comunicação sem fio que integra diversos serviços, inclusive comando e controle seguro de trens, simplificando a infraestrutura de sistemas, espera-se que a tecnologia 5G também vá de encontro com outros estudos internos de alternativas de localização dos trens pela sinalização, dispensando em um momento futuro a necessidade de instalação de tacômetros embarcados nos trens e de balizas na via, facilitando a modernização de linhas existentes, trazendo oportunidades de aprimoramento no tempo de implantação de linhas Brownfield, conforme iniciativas de aplicação da tecnologia de rádio de banda ultra larga, ou UWB (UltraWideband) como tecnologia para a localização de trens, estudadas com mais profundidade pelo metrô de Nova Iorque e também em estudos pelo Metrô de São Paulo em parceria com a FEI.

\* **Felipe Copche** é Engenheiro, Supervisor de Projetos de Sistema de Sinalização, Controle Centralizado e Material Rodante pela Gerência de Projetos do Metrô de São Paulo (GPR)  
E-mail: fcopche@metrospp.com.br

\*\* **Rubens Navas Borloni** é Engenheiro, Coordenador de Projetos de Sistema de Sinalização, Controle Centralizado e Material Rodante pela Gerência de Projetos do Metrô de São Paulo (GPR)  
E-mail: rborloni@metrospp.com.br

\*\*\* **Adalberto de Paula Ramos** é Engenheiro, Chefe de Projetos de Sistemas pela Gerência de Projetos do Metrô de São Paulo (GPR)  
E-mail: aramos@metrospp.com.br



# Desafios na concepção de metrôs automatizados sem operadores nos trens

FELIPE COPCHE\* / RUBENS NAVAS BORLONI\*\* / MARIO FUKUMORI\*\*\* / CLAUDIO ROBERTO VALENTIM\*\*\*\* / ADALBERTO DE PAULA RAMOS\*\*\*\*\*

Existe certo fascínio tecnológico e admiração pela engenharia ferroviária, ao se observar uma linha automatizada de metrô prestando um serviço regular e diuturno com qualidade, transportando muitas pessoas de forma efetiva entre dezenas de estações, distribuídas em uma densa região metropolitana e sem ter necessariamente agentes embarcados nos trens. É oportuno lembrar, que tal realização é rigidamente controlada por normas técnicas e processos do setor, que garantem uma operação segura, confiável e com critérios padronizados para cada nível de automação a serem adotados nas etapas iniciais do projeto, conforme a estratégia operacional definida para o funcionamento da linha. Em sistemas metroviários, existem basicamente alguns níveis de automação denominados de GoA, ou *Grade of Automation*, que variam desde um conceito de condução basicamente manual, ou GoA1 - porém sempre acompanhado por outro sistema de proteção automática do trem ou ATP - até um sistema plenamente automático, ou GoA4, quando não há sequer um agente embarcado para supervisionar *in loco* o trem. Este último nível mais alto de automação, também chamado de UTO, ou *Unattended Train Operation*, e que dispensa cabines para a condução manual nas composições, opera as movimentações e paradas precisas dos trens de toda a frota, comanda a abertura e fechamento das portas nas plataformas, e mitiga automaticamente eventuais impactos na operação da linha em cenários de emergência.

Uma das vantagens em viabilizar uma operação metroviária em GoA4 é obter maior flexibilidade operacional, já que a disponibilidade (e localização) dos trens está desvinculada da disponibilidade (e localização) dos operadores ou agentes circulantes, permitindo que o centro de controle operacional, ou CCO, despache e recolha trens remotamente conforme a demanda de passageiros, até mesmo para trechos distintos da linha. Outro ganho é a redução do custo operacional,

pois requer um contingente menor de operadores de trens ou agentes circulantes para sustentar uma boa prestação do serviço, que são pontualmente designados para atuar nos sistemas embarcados em cenários degradados, normalizar o fechamento do laço de portas em horários de pico ou conduzir manualmente o trem. Em uma condição nominal de operação, pode até mesmo dar alguma assistência aos passageiros no salão do trem de forma presencial.

Quanto aos níveis de automação que requer um condutor na cabine do trem em tempo integral, e considerando que o desempenho dos operadores pode ser afetado por fatores pessoais como estresse, fadiga, pouca experiência, baixa motivação, falhas na comunicação, ausência de coordenação, treinamento ineficaz e/ou variações ambientais, dentre outros, o modo de condução em UTO oferece o menor risco de cometer erros em uma condição nominal de operação, devido a intrínseca menor interação entre o sistema e o fator humano.

O quadro da figura 1 mostra quatro níveis básicos previstos pela parte 1 da norma IEC 62290 para trens automatizados. Por exemplo, as linhas 1-Azul, 2-Verde e 3-Vermelha do Metrô-SP operam atualmente com condutores embarcados em GoA2 - incluindo o ATP e a operação automática do trem, ou ATO - com um diferencial extra de comandar automaticamente a abertura e fechamento das portas dos passageiros, daí a atribuição intermediária GoA2 Plus. Já a Linha 15-Prata de mon trilho foi projetada para operar em GoA4, porém a empresa tem mantido preventivamente um agente circu-

lante em cada trem, para estar de prontidão no caso de precisar normalizar uma eventual ocorrência com maior rapidez, principalmente nos horários de pico, quando os atrasos na prestação de serviço são mais críticos para a operação. Outra significativa vantagem para a operação plena de uma linha metroviária em GoA4 é seu menor custo operacional, ou OPEX, que pode ser reduzido em cerca de 10% ao longo do ciclo de vida do empreendimento.

Por outro lado, o investimento inicial, ou CAPEX, de um sistema projetado para operar em GoA4 é maior, ou seja, cerca de 10% a 30% superior aos sistemas projetados em GoA3 ou GoA2. Outro ponto que merece atenção é o maior tempo de resposta para tratar incidentes na automação plena, embora o sistema em GoA4 seja mais confiável do que os demais projetados para níveis de automação menores. Um agente circulante ou operador embarcado pode até normalizar um trem mais rapidamente, mas a flexibilidade operacional é menor, uma vez que a presença deles é mandatória para manter a qualidade na prestação do serviço, conforme exposto anteriormente.

Em termos de garantia da integridade física dos passageiros, salvo algumas poucas linhas internacionais com um contexto sociocultural diferenciado do nosso país, é necessário que não haja risco de quedas ou de acesso inadver-

tido de pessoas, objetos e equipamentos na via durante a operação comercial. Desta forma, a adoção de portas de plataforma em todas as estações, a segregação das vias do pátio e o monitoramento das saídas de emergência ao longo da linha complementam a lista de requisitos para operar em GoA4 com segurança.

Pela percepção dos passageiros, aumentar a automatização de um sistema nem sempre representa reduzir a quantidade de funcionários. Por exemplo, o operador é somente uma voz distante no salão para os passageiros em um sistema em GoA2, pois se encontra isolado em uma cabine. Já em uma configuração GoA3, também chamada de DTO, ou *Driverless Train Operation*, a presença de agente circulante no salão, e que pode eventualmente contribuir no socorro de pessoas, é visível pelos passageiros. Da mesma forma, para um sistema em GoA4, o operador volta a ser uma voz distante no salão, mas desta vez fisicamente alocado em um posto do CCO e interagindo remotamente com toda a frota em circulação, porém demandando uma maior capacitação técnica e treinamento.

**Em termos de sistemas, o que basicamente muda em um upgrade para trens sem operadores?**

No caso das linhas 1-Azul, 2-Verde e 3-Vermelha do Metrô-SP, que atualmente operam em GoA2 Plus e possuem operadores em uma das cabines da composição, basicamente o que muda é não contar mais com um representante da empresa embarcado e de prontidão, para normalizar um trem parado no túnel entre estações devido a alguma ocorrência no salão, por exemplo. Uma vez que a via comercial em GoA4 estará segregada com a instalação das portas de plataforma, não há mais a necessidade de supervisionar a via durante a chegada do trem nas estações, em uma condição nominal de operação, tampouco a necessidade de aplicar o freio de emergência, com os sistemas auxiliares previstos para um trem projetado para operar em modo UTO.

Também não existe mais a possibilidade de um operador na cabine detectar e informar por rádio um princípio de incêndio na via para o CCO. Para mitigar este risco para projetos em GoA3 ou GoA4 de forma automática, é necessário prever também um sistema que utiliza um sensoriamento linear, para detectar variações bruscas de calor por meio de fibras ópticas instaladas na parte superior do túnel, e que informa com precisão métrica um princípio de incêndio para o CCO em tempo real. Este sistema é chamado de DTS, ou sensoriamento de temperatura distribuído, muito utilizado em túneis rodoviários.

Em contrapartida, inevitavelmente surgem

novos riscos para a operadora de transporte de pessoas nessa configuração de automatismo pleno, como por exemplo a possibilidade de um passageiro ficar preso entre a porta de plataforma e a porta do trem durante o embarque ou até mesmo a geração de um transtorno operacional para toda a linha, caso um único passageiro atue em algum manípulo de emergência e consiga abrir a porta do trem em movimento na região entre estações, e sem um funcionário por perto para acompanhar a ocorrência.

Em resumo, tais desafios devem ser tratados com cuidado durante a etapa de concepção de uma nova frota, conforme o contexto operacional, cultural e o grau de automação que os trens estarão inseridos. Além das preocupações para esses cenários de atenção, são avaliadas algumas premissas como confiabilidade, disponibilidade, manutenibilidade e segurança dos subsistemas do trem, juntamente com esforços para redução do custo operacional. Para uma linha plenamente automatizada, a equipe necessita obter uma maior capacitação técnica, e conseqüentemente um volume maior de treinamentos de reciclagem. Quanto ao bem-estar dos passageiros, é necessário prover segurança, conforto, informações audiovisuais aprimoradas e disponibilizar um canal de comunicação com o CCO no salão do trem de fácil acesso.

Este artigo visa expor alguns desses aprimoramentos, que constam na especificação de material rodante para novas frotas ou que permanecem em estudo pela engenharia de projetos. Está dividido em três partes:

- Melhorias que estão previstas para as próximas frotas;
- Potenciais melhorias em análise técnica; e
- Acompanhamento de tecnologias em desenvolvimento poderão ser aplicadas em nosso setor.

## APRIMORAMENTOS PARA AS FUTURAS FROTAS

Quanto aos dois exemplos de novos riscos quando se opera uma linha em modo UTO citados anteriormente, em relação a interface segura do sistema de portas do salão de passageiros, os novos trens terão folhas corrediças externas nas portas, que diminui o vão existente entre as portas do trem com as portas da plataforma, aumentando a segurança deste sistema vital que faz interface com os passageiros. Além disso, essa configuração evita que a sujeira não se acumule mais nos trilhos do batente que existe no sistema convencional, e que pode acarretar falhas ou atrasos na abertura ou fechamento do sistema de portas.

Também está prevista a adoção de motor linear para movimentar as folhas de portas. Por ser mais confiável, robusto e por promover uma mecânica mais simplificada para todo o conjunto, aumenta a confiabilidade, disponibilidade e facilidade de manutenção do sistema, já que cada folha de portas se movimenta de forma independente. O vão máximo de abertura das portas do salão de passageiros permanece em 1.600mm, por ser um limite de abertura mais efetivo para otimizar o tempo de embarque e desembarque de passageiros, sem comprometer a configuração de leiaute do salão que mantém a relação entre passageiros sentados e em pé dentro da norma, ou até mesmo acarretar o comprometimento do sistema com o possível aumento do peso das folhas de portas, maior tempo de abertura e consumo de energia para vãos maiores. Essa ótima relação, obtida para a abertura de portas, também se encontra comprovada na prestação de serviço do Metrô-SP, com diferentes frotas e por estudos do grupo de *benchmark* do CoMET, Comunidade Internacional de Metrôs, na qual a empresa é membro.

Sobre o segundo grande risco de um passageiro abrir a porta do trem na região entre estações, podendo gerar um transtorno operacional na linha para uma operação em UTO, foi criada uma lógica de intertravamento nos manipuladores de emergência, que impedem sua utilização de forma inadequada. Em caso de emergências como descarrilamento, desmembramento do trem, detecção de incêndio no salão com o trem parado ou por solicitação remota do centro de controle operacional, os manipuladores estarão liberados para a abertura das portas para a evacuação segura dos carros na passarela de emergência do túnel. Para as demais ocorrências, e considerando que o tempo nominal de deslocamento entre duas estações é cerca de dois minutos, a plataforma da próxima estação sempre oferece melhores condições do que o túnel para quase todos os atendimentos. Durante o intervalo da viagem ou uma eventual parada do trem no túnel, os intercomunicadores instalados ao lado de cada porta do salão executam um papel crucial em uma operação em UTO, pois é um canal disponível de comunicação entre os passageiros com a empresa na necessidade de informar ocorrências no salão. Em relação a percepção dos passageiros sobre aprimoramentos no sistema de portas, está prevista a aplicação de LED na sinalização interna das guarnições das folhas de portas e externamente nas soleiras, permitindo que se relacione a cor com o estado de cada porta,

Nível de automação	Tipo de operação do trem	Trem em movimento	Parada do trem	Fechamento de portas	Operação em caso de emergência
GoA1	ATP com condutor	Operador	Operador	Operador	Operador
GoA2	ATP e ATO com condutor	Automático	Automático	Operador	Operador
GoA2+	ATP e ATO com condutor	Automático	Automático	Automático	Operador
GoA3	Driverless	Automático	Automático	Operador	Operador
GoA3+	Driverless	Automático	Automático	Automático	Operador
GoA4	UTO	Automático	Automático	Automático	Automático

Figura 1 - Níveis de automação conforme Norma IEC 62290-1 e estratégias operacionais do Metrô-SP



Figura 2 - Espaço demarcado para cadeirantes com intercomunicador nos trens do metrô de Singapura (SMRT)

por exemplo, lado de abertura, porta na iminência de abrir ou fechar, porta isolada etc.

O sistema de detecção e combate automático de incêndio, que aplica água nebulizada no interior do salão de passageiros permanece como um requisito essencial para a operação em modo UTO, onde estão previstos estágios de detecção. Caso dos sensores adjacentes detectarem fumaça, após um intervalo de tempo ajustável, e visando manter o estado mais seguro, o sistema de monitoramento e controle do trem aplicará o combate automaticamente. Independente do estágio de detecção, o posto remoto do CCO dedicado ao material rodante irá receber as imagens do salão mais próximas do local onde a ocorrência foi detectada, cabendo o operador do posto remoto avaliar se suspende, ou não, o combate automático dentro do intervalo de tempo pré-ajustado, além de optar por iniciar o combate desde o primeiro estágio de detecção.

Outro item imprescindível para a operação em modo UTO, mantido para as novas frotas, é a previsão de um sistema de detecção de descarrilamento que atua imediatamente no laço do freio de emergência do trem. Tal sistema a ser instalado nos truques nos carros precisa ser robusto mecanicamente, para suportar as diferentes vibrações do sistema roda-trilho e ser confiável, de forma que não atue desnecessariamente.

Para trens com alimentação elétrica por rede aérea, ou catenária, está previsto 5cm de aumento na altura do salão de passageiros, totalizando 2,15m entre o piso e o teto, trazendo maior conforto para pessoas com altura acima de 1,90m, melhorando a circulação do ar climatizado e o ângulo de visão das câmeras internas para o videomonitoramento remoto na condição de salão lotado.

Para maior conforto visual aos passagerei-

ros, está prevista uma função automática, que permitirá variar dinamicamente a temperatura de cor da iluminação interna do salão de passageiros, conforme o período do dia ou ciclo do sol. Tal recurso pode ser aplicado para atender ao ciclo circadiano ou ritmo biológico do corpo humano, por exemplo, para o perfil predominante dos passageiros da linha com turno de atividades similar.

Em relação a confiabilidade dos sistemas e dos componentes embarcados, também está prevista uma densidade maior de sensores de temperatura e vibração aplicados em subsistemas como rolamentos dos rodéis, motores de tração, compressores da produção de ar e subsistemas do ar-condicionado. Ao monitorar a temperatura em tempo real dos eixos das rodas pela manutenção, por exemplo, será possível retirar o trem da operação comercial antes que venha a ocorrer um travamento. Também por esta razão, está previsto o uso de uma plataforma digital para auxiliar na manutenção preditiva baseada em condição (CBM), para a coleta remota dos parâmetros do trem, processamento analítico de dados e visualização remota das informações pelo CCO.

Em virtude de lições aprendidas em cenários degradados, com a operação das frotas mais antigas do Metrô-SP que possuem o sistema embarcado de ar-condicionado, está prevista a liberação automática para a abertura escamoteável de uma parte da área envidraçada das janelas laterais do salão de passageiros, para mitigar eventuais ocorrências de pânico por parte dos passageiros, caso a permanência do trem na região de túnel for longa ou se ambos os módulos de ar-condicionado de um carro apresentarem falhas. A partir de um período programável ou através de um comando remoto aplicado pelo posto do CCO, o trem irá desenergizar

automaticamente a trava de todas as janelas e uma mensagem pré-gravada de áudio será difundida no salão solicitando a abertura manual pelos passageiros. A abertura das janelas escamoteáveis se dará sempre antes do término da carga das baterias para iluminação e ventilação de emergência, cuja autonomia é cerca de meia hora.

Em áreas específicas do piso no salão de passageiros dos carros de extremidade, está prevista a aplicação permanente de sinalização impressa para demarcar espaços reservados para cadeirantes e para o transporte de bicicletas (figura 2).

Um dos grandes desafios é obter ganhos graduais que reduzam o OPEX na operação de novas linhas metroviárias, sendo a energia elétrica o maior gasto das operadoras depois da folha de pagamentos, onde os trens são os maiores consumidores. Visando aumentar a eficiência energética dos trens, para novas frotas está prevista a utilização de motores de ímã permanente (PMSM) nos sistemas de propulsão e a adoção de semicondutores de Carbetto de Silício (SiC) na eletrônica de potência, que oferecem menores perdas, permitindo diminuir também a superfície de dissipação de calor, consequentemente seu volume e peso.

Outro aprimoramento para o sistema de controle da propulsão dos trens – que indiretamente contribui com a redução do custo operacional do empreendimento de novas linhas – é permitir que os trens vençam rampas de até 5% em vias cobertas ou em túnel ao invés dos tradicionais 4%. Desta forma, viabiliza-se a construção de plataformas de estações menos profundas, reduzindo a quantidade de escadas rolantes, mas também o custo na construção de algumas estações da linha. No caso da necessidade de rebocar um trem em trechos com rampa de 5%, está previsto uma função de reforço no sistema de propulsão, que permite temporariamente dar maior esforço de tração dentro do limite de aderência para vencer a inclinação.

O ar-condicionado do salão é o sistema do trem com o segundo maior consumo de energia. Outra solução a ser incorporada nas próximas frotas é adicionar a variável do peso de cada carro no controle da temperatura do ar-condicionado, de forma a reduzir o consumo de energia desse sistema durante os horários de vale ou em carros mais vazios. Esse sistema também terá a tecnologia inteligente, que faz o controle variável da temperatura do salão utilizando inversor.

Para as novas frotas, o posto do CCO dedicado ao material rodante para a supervisão e controle permitirá também a preparação

remota dos trens, através de comando que realiza alguns testes funcionais de sistemas críticos e verifica o status de cada sistema do trem antes de seu despacho, desta forma evitando que seja liberado para a operação comercial com alguma falha crítica.

Conforme exposto anteriormente, o elo mais fraco para o modo de condução em UTO é o tempo de resposta mais lento no caso de incidentes, pois não há mais a presença de um operador prontamente embarcado para normalizar o trem ou conduzi-lo em um cenário degradado. Outro ponto sensível é o agente circulante estar com o treinamento de reciclagem em dia e apto a conduzir o trem de forma mais precisa.

Uma vez que os trens operam nominalmente de forma autônoma, a utilização de sistemas de simulação para a formação de condutores e para os treinamentos de reciclagem em condução manual de trens em diferentes cenários se faz mandatória. A empresa basca Lander, fabricante de simuladores ferroviários em conjunto com a operadora SMRT do metrô de Singapura, desenvolveram recentemente uma nova geração de sistemas de simulação baseados no treinamento colaborativo para uma linha plenamente automatizada, a Circle Line.

Baseado na troca de conhecimentos e experiências entre as equipes de ambas as empresas, criaram um simulador que treina simultaneamente os agentes circulantes e o operador do CCO para as condições normais da linha, bem como para um vasto número de cenários operacionais degradados, visando tornar suas operações mais seguras e eficientes. O novo sistema de simulação consiste em quatro réplicas de cabines, uma delas com duas portas funcionais para passageiros, consoles intercambiáveis para diferentes tipos de frota, dois postos para o centro de controle operacional, dois postos para instrutor, seis simuladores instalados em laptops, e uma estação de observação.

Em um único centro de treinamento, o simulador permite que um agente circulante opere um trem em modo UTO enquanto outro agente circulante conduz o trem em modo manual, sob a supervisão de um instrutor. Em paralelo, outros dois agentes podem estar em treinamento no mesmo cenário operacional, com um operador de CCO supervisionado pelo segundo instrutor. Simultaneamente, outro operador de CCO pode utilizar seu posto para criar horários de prestação de serviço ou para realizar qualquer outra atividade relacionada com sua atribuição. Já os outros seis operadores, através de simuladores instalados em laptops,



Figura 3 - Mockup do simulador com portas de passageiros da Lander desenvolvido em conjunto com o metrô de Singapura (SMRT)

podem ser treinados em atividades pontuais, por exemplo, em operações de acoplamento e resgate. Finalmente, um grupo em formação pode visualizar os exercícios no *videowall* da estação de observação em uma sessão de aprendizagem em grupo. As especificações de operação manual de trens, de tráfego, de elétrica e do posto de material rodante no CCO, utilizados atualmente, devem ser aprimorados para novas linhas. Uma das referências será as especificações e lições aprendidas com o simulador colaborativo do metrô de Singapura (figura 3).

Considerando que um único posto de material rodante dedicado e alocado no CCO fará a supervisão remota e o controle dos trens de toda a frota, é necessário que o informe de falhas dos sistemas do trem em tempo real seja mais objetivo e simplificado possível, visando facilitar e tornar mais precisa a tomada de decisão pelo operador desse posto remoto. Desta forma, deve estar previsto pelo fabricante do material rodante uma lógica booleana no sistema embarcado de monitoramento de controle do trem, ou TCMS, para tratar as possíveis falhas em três níveis de criticidade para cada subsistema embarcado, antes de externar a informação ao centro de controle operacional, reduzindo o estresse e complexidade na análise humana. Basicamente, o operador do posto remoto precisa saber quais trens estão com falhas, quais sistemas embarcados estão envolvidos e o nível de criticidade de cada uma destas falhas, para decidir se será necessário enviar um agente circulante para evacuar o trem na próxima plataforma (ou o carro, no caso de falha em ambos os módulos de ar-condicionado), retirar o trem

no final da volta ou manter o trem prestando serviço normalmente, enquanto o nível de criticidade da falha se manter mínimo.

No caso de necessidade de normalização de um manípulo de emergência do trem na plataforma por um agente circulante, está previsto um botão local para normalização do laço de emergência nos painéis internos de chaves de isolamento de cada carro. Tal recurso evita que o agente circulante tenha que se deslocar até um dos consoles escamoteáveis após normalizar um dispositivo de portas de passageiros, agilizando assim o tempo de restabelecimento para esse tipo de ocorrência. Além disto, a câmera mais próxima do manípulo acionado estará selecionada automaticamente por parte do Sistema de Monitoramento e Controle do Trem, ou TCMS, seja para o posto de monitoramento e supervisão do CCO visualizar remotamente o cenário da ocorrência, ou até mesmo para acompanhar a normalização do laço de emergência pelo agente circulante pelo novo botão.

A passagem entre carros, ou *gangway*, está mantida como padrão para todas as frotas, já que permite que o agente embarcado efetivamente circule e atue em todo o salão sem a necessidade de aguardar a parada em uma plataforma para então trocar de carro. Da mesma forma, a passagem entre carros também oferece essa flexibilidade aos passageiros, seja em uma condição nominal ou de emergência, tal como se afastar de um princípio de incêndio em um dos carros.

No teto interno do salão, próximo ao para-brisa das cabeceiras do trem, está prevista a instalação de uma câmera de videomonitoramento apontada para o console escamoteável com o propósito de prover uma eventual assis-



Figura 4 - Conceito FIND aplicado no mapa dinâmico de linha para a frota R211 do metrô da cidade de Nova Iorque (MTA)

tência remota na condução manual do trem, auxiliando o agente circulante a operar o trem em um cenário degradado com a ajuda de um operador mais experiente alocado no posto do CCO. O gravador de vídeo embarcado registra as imagens dessa câmera a partir da abertura da tampa do console de condução. Na lateral no salão, próximo ao console escamoteável de condução, foi previsto um nicho a ser acessado com chave-padrão Metrô e que abriga uma fita retrátil de isolamento, para mitigar a aproximação e influência dos passageiros em uma eventual necessidade de operação manual do trem pelo agente circulante.

Quanto aos aprimoramentos nos sistemas de informação aos passageiros, a utilização de mapa dinâmico de linha em OLED está prevista para as próximas frotas. Os mapas serão instalados sobre as oito portas de passageiros no salão de cada carro. Além da flexibilidade operacional de atualizar remotamente as informações a serem exibidas em toda a frota, tal recurso tecnológico permite também adicionar a função de informar a localização de escadas, elevadores e acessos de transferência para outras linhas no momento anterior a parada do trem aos passageiros para cada carro, de forma dinâmica, facilitando o fluxo de embarque e desembarque nas plataformas (figura 4).

Como vem sendo adotado de pré-instalar telas de vídeo no interior do salão de passageiros, cujo conteúdo de entretenimento é administrado por terceiros, estão previstos espaços para alocar posteriormente equipamentos e antenas de sistemas de comunicação sem fio aos passageiros, de forma que serviços do tipo internet via WiFi eventualmente possam ser explorados comercialmente.

Outro cuidado para novas frotas é remover saliências nos dispositivos de acionamento dos passageiros posicionados na região de portas do salão do trem, evitando assim que alguém pressione acidentalmente um intercomunicador ou manípulo de emergência com o corpo. Pela razão de estar previsto alguns intertrava-

mentos para o acionamento indevido do manípulo de emergência para o contexto sem o operador embarcado, mas também por existir uma forma ordenada de gestão das solicitações de chamadas oriundas dos intercomunicadores da frota pelo posto do CCO, a proteção plástica desses dispositivos poderá ser abolida nos trens para uma operação em UTO, desta forma deixando o canal de comunicação mais acessível entre os passageiros no trem e o posto remoto da empresa, além de poupar o tempo dos agentes circulantes na substituição de tais proteções, apelidadas de saboneteiras, em grande parte por quebras acidentais. Cabe lembrar, que qualquer intervenção nos dispositivos de atuação dos passageiros, como os manípulos de emergência, intercomunicadores e extintores, a imagem da câmera mais próxima ao dispositivo acionado será selecionada pelo trem para ser automaticamente disponibilizada ao posto de monitoramento e supervisão do CCO. Esta função automática de aplicar um *trigger* de eventos nos dispositivos de emergência do salão de passageiros também está prevista para os detectores de fumaça e incêndio.

Da mesma forma que é praticado sistematicamente na indústria automobilística, conceber novos trens que transmitam um aspecto de modernidade e atualização tecnológica aos passageiros também consta no projeto, porém tal efeito deve perdurar por um período bem maior para o setor metroferroviário. Além da proposta de um novo design do trem por uma empresa independente, que considere nuances como o perfil dos usuários da futura linha, seja para o interior do salão de passageiros ou para a máscara frontal do trem, devem constar cuidados técnicos em relação a facilidade de limpeza, evitando nichos desnecessários na parte externa da caixa de cada carro que dificulte a limpeza, uma vez que se prevê a utilização de máquina automática de lavar trens. Melhorias na sinalização visual e luminosa do

trem e novas formas criativas de utilização da tecnologia LED também constam como requisitos, lembrando que não há mais necessidade de um indicador de destino na máscara frontal do trem com a instalação de portas de plataforma em todas as estações.

Em relação ao pilar de sustentabilidade ambiental, a escolha por um sistema de lubrificação de flange de rodas embarcado nos novos trens contribui com as boas práticas da agenda ESG, pois é utilizado um fluido lubrificante amigável ao meio ambiente, além de ser aplicado de forma mais eficiente em pontos mais críticos ao longo da via comercial. Com este novo sistema, a prática anterior de instalação de lubrificadores estacionários em algumas regiões da via pode ser desconsiderada em novas linhas, reduzindo assim a ocupação de espaços no túnel e o número de acesso às vias para manutenção de tais sistemas. O risco de princípios de incêndio no óleo lubrificante nesses equipamentos também é eliminado. Outra boa prática ESG prevista para as próximas frotas é a utilização de compressores livres de óleos lubrificantes para a produção de ar, reduzindo assim a necessidade de tratamento para descarte de produtos poluentes.

#### APRIMORAMENTOS POTENCIALMENTE APLICÁVEIS NOS TRENS, AINDA EM MODERAÇÃO

A possibilidade de restabelecimento remoto de algumas funções vitais do trem como a normalização do laço de portas, do laço de emergência e a isolamento de portas, ainda se encontra em avaliação pela área de projetos devido aos riscos relacionados com a segurança cibernética da rede e a integridade física dos passageiros, pois uma vez que o laço de portas for aberto no túnel, não é possível garantir que algum passageiro tenha saído do salão, mesmo com o sistema de videomonitoramento interno, comprometendo o rápido restabelecimento de uma operação em DTO ou UTO devido ao potencial risco de colisão ou atropelamento. Uma ação de contorno, para mitigar parte da necessidade de restabelecimento remoto do laço de portas, foi prever *trainlines* independentes entre o estado de portas fechadas e o estado de portas travadas, desta forma diminuindo a probabilidade de penalizar o movimento do trem com a abertura do laço de emergência somente por uma falha simples em um único sinal de entrada do laço de portas.

Embora o sistema de monotrilha da Linha 17-Ouro preveja trens circulando em via elevada com baterias embarcadas para a propulsão no caso de falha no sistema de alimentação principal, existem algumas ressalvas quanto à



Figura 5 - Exemplo de telas semitransparentes em OLED aplicadas em janelas de trens

aplicação de baterias de Lítio em trens operando em linhas subterrâneas, dentre elas a baixa maturidade em relação ao conhecimento dos riscos de incêndio em túneis, já que há um aumento do potencial de carga térmica do material rodante com o uso dessas baterias, pois essa carga extra ainda não foi considerada ou validada no dimensionamento atual dos túneis em relação aos incêndios. Outra preocupação é o aumento do peso por eixo e do volume extra ocupado no sobestrado do trem, considerando uma baixa utilização, corroborando com o maior consumo de energia e desgaste da via permanente, pois atualmente existe uma alta confiabilidade do sistema de alimentação elétrica das concessionárias em São Paulo, bem como uma alta disponibilidade e confiabilidade do sistema de alimentação elétrica (SAL) do Metrô SP. A utilização de baterias de Lítio no projeto da Linha 17-Ouro será uma grande oportunidade de testar a aplicação dessa nova tecnologia em nosso setor e de coletar lições aprendidas.

Uma função remota que seria bem-vinda para uma operação sem condutores nos trens é o acoplamento automático entre composições. Pelo fato de novas linhas não serem plenamente planas em sua extensão e por ainda não ser possível garantir o acoplamento seguro do ferrolho do engate, por segurança segue mantido o procedimento de acoplamento manual com supervisão humana *in loco*, mesmo para uma operação em UTO.

Quanto à possibilidade de instalação de câmeras analíticas com reconhecimento facial nos trens, entende-se que o sistema metroviário possui outros locais mais atrativos onde a leitura pode ser facilitada, como por exemplo nas linhas de bloqueio, em algumas escadas rolantes e até mesmo nas fachadas das portas de plataforma enquanto os passageiros aguardam o trem. Além do mais, as câmeras analíticas nas estações estarão conectadas com a rede de dados operacionais, podendo acessar um servidor

atualizado com o banco de dados biométricos de indivíduos suspeitos ou procurados.

Outro aprimoramento tecnológico é a utilização de câmeras embarcadas com Inteligência Artificial instaladas em ambas as cabeceiras dos trens para a detecção de pessoas, veículos de manutenção, objetos na via ou nas passarelas de emergência. Pelo fato da via e pátio serem segregados para a operação em UTO e, em virtude dessa tecnologia estar evoluindo rapidamente, optou-se por deixar o espaço provisionado no trem para a instalação dessa tecnologia, caso alguns cenários demandem uma proteção extra com integridade de segurança certificada em segundo nível, ou SIL2, na camada de operação automática do trem, ou ATO. Como exemplo, existe o cenário de movimentação de um trem em um trecho em túnel onde outro trem foi previamente evacuado, ou aberto o laço de portas, com risco de existir algum passageiro na via. Tal sistema pode auxiliar na inspeção do trecho em questão antes de retomar a operação da linha para o modo automático.

Uma inovação sendo recentemente testada em metrô da Rússia, China e Coreia do Sul é a aplicação de telas de vídeo semitransparentes em OLED, que cobrem a superfície das janelas do salão dos trens e veiculam propaganda, entretenimento e informações operacionais aos passageiros, enquanto o trem se movimenta no túnel na região entre estações. Ao chegar nas imediações da plataforma, a veiculação das imagens é suspensa para dar lugar à transparência das janelas para os passageiros visualizarem o ambiente da estação. Embora sejam atrativas e tragam um aspecto de modernidade ao salão de passageiros, questões como vandalismo, peso e consumo extra precisam ser mais bem avaliados em conjunto com potencial de retorno desse investimento com receitas acessórias. Desta forma, seria oportuno fazer primeiramente um teste piloto para conhecer melhor essa tecnologia, como

vem sendo feito nos demais metrô (figura 5).

Em algumas ferrovias na Europa, já existe implantado um sistema de *scanner* de trens que realiza uma inspeção automática de elementos mecânicos em todos os carros, permitindo verificar a integridade da composição, o comportamento da rolagem das rodas, o estado das pastilhas de freio e do pantógrafo durante sua passagem em determinada velocidade pelo equipamento. O sistema abriga um conjunto de sensores e câmeras analíticas, que registra os parâmetros mensurados e auxilia na gestão da manutenção preditiva das interfaces mecânicas de toda a frota de uma forma inovadora (figura 6).

#### TECNOLOGIAS EM DESENVOLVIMENTO

Da mesma forma que linhas concebidas para operar em modo UTO podem despachar ou recolher trens remotamente, sem a presença de um agente circulante embarcado, é coerente que os testes periódicos de verificação funcional de áudio de todos os intercomunicadores, da sonorização em geral do sistema PA/PIS e das sinaleiras de portas sejam feitos também de uma forma mais automatizada possível, a partir de comandos remotos do CCO. Tal automatismo deve ser aplicado também nos testes periódicos de verificação funcional dos *displays* dos mapas dinâmicos de linha, monitores do salão, painéis de mensagens, iluminação e sinaleiras visuais das portas. Podem ser utilizados, por exemplo, os microfones dos intercomunicadores para medir a qualidade e intensidade do sinal sonoro padrão dos alto-falantes do sistema PA e incorporar Inteligência Artificial em câmeras analíticas no salão de passageiros para verificação de alguns *displays*.

Apesar de alguns óculos e *tablets* com realidade aumentada permitirem ser aplicados atualmente no manuseio de sistemas críticos, como os cubículos das primárias, ou em processos de montagem e desmontagem de equipamentos complexos pela manutenção, existe a expectativa que a tecnologia evolua a ponto de ser aplicada também nos procedimentos da operação comercial, onde o tempo de restabelecimento mínimo é crucial, futuramente permitindo que um dispositivo portátil assessore em tempo real um agente circulante a operar um trem em modo manual de forma segura e confiante diante de um cenário degradado.

Igualmente, a aplicação da tecnologia de realidade virtual futuramente poderá vencer o atual desconforto e rejeição durante seu uso, para posteriormente ser incorporada em simuladores portáteis para o treinamento de operação de trens pelos agentes circulantes de forma remota, distribuída e em conjunto com outros



Figura 6 - Solução TrainScanner para manutenção preditiva utilizada na inspeção da frota de Pendolino de Varsóvia



Figura 7 - Simulador Nano compacto com realidade mista da Transurb para treinamento de operadores de VLT

membros da equipe, tal como o operador do CCO, não necessitando mais que os treinados se desloquem fisicamente para um único centro de treinamento, proporcionando assim maior flexibilidade na execução periódica de treinamentos de reciclagem em rede para diferentes cenários. Outro ponto a ser ainda equacionado é evoluir na simulação da interface física dos consoles do trem e do centro de controle operacional interagindo com um ambiente virtual, ou seja, em uma realidade mista. Como exemplos atuais de aplicação, a empresa belga Transurb vem explorando a utilização de realidade combinada ou mista em simuladores para o treinamento de condução manual de veículos leves sobre trilhos, enquanto aqui no Brasil um médico recentemente usou com sucesso um óculos de realidade mista de última geração da empresa Apple para fazer um procedimento cirúrgico (figura 7).

Um possível aprimoramento que vem sendo testado na empresa é a possibilidade de aplicação distribuída de dispositivos ativos, que sinalizam por rádio frequência sua microlocalização ao longo do ambiente interno do salão

de passageiros, de forma que o passageiro possa futuramente apontar situações que merecem uma atenção através de um APP oficial da empresa, a ser disponibilizado para instalação nos smartphones dos passageiros. Tecnologias como o WiFi, Bluetooth e mais recentemente o UWB, ou Ultra Wideband, podem ser utilizadas como etiquetas ativas de localização indoor, ou TAG, uma vez que tais interfaces de comunicação já se encontram disponibilizadas nos smartphones mais atuais. As situações a serem mapeadas pela empresa podem ser desde uma necessidade de limpeza pontual em algum carro, um barulho estranho no trem percebido pelo passageiro, ou um comportamento indesejado de alguém no salão.

Equacionada a preocupação do uso seguro de baterias para tração em trens para operar em túneis subterrâneos e a garantia de engate do ferrolho em acoplamentos automáticos sem a presença de operador, outra possibilidade a ser estudada é realizar também o resgate de todos os passageiros de um trem incapacitado de movimentação, posicionado na região entre estações, com outro trem vazio acoplado e previamente evacuado na plataforma de origem, empurrando ou puxando a composição através de uma função automática da sinalização. Tal estratégia operacional pode agilizar o tempo de restabelecimento do carrossel na linha e eventualmente reduzir o diâmetro interno do túnel, caso se torne seguro também a retirada da passarela lateral de emergência, mantendo o leito da via como uma segunda opção e rota alternativa de escape, através de uma porta frontal de emergência, a ser prevista em ambas as cabeceiras do trem.

**“Não há homens ou máquinas. Os dois só sobrevivem juntos.”**  
**Michael Dell**

Independente do grau de automação e da estratégica operacional, durante a concepção de novas frotas é feita uma consulta técnica ao mercado sobre materiais mais leves e resistentes, como a aplicação do nióbio em ligas metálicas. A redução do peso do trem visa aumentar a eficiência energética, com o menor consumo de energia pelo sistema de tração, mas também reduzir o peso por eixo dos carros para aumentar a durabilidade da via permanente. A aplicação de novos materiais em trens precisa ter um comportamento preditivo ou gaussiano adequado, além de ser financeiramente viável. A utilização de novos materiais mais leves em componentes embarcados e em elementos estruturais, como caixa e truque, precisa trazer um ganho mensurável em redução de peso que supere os riscos químicos, térmicos e mecânicos em sua utilização. Por exemplo, a área de engenharia da empresa Marcopolo em parceria com a Universidade de Caxias do Sul (UCS) vem pesquisando e estudando a utilização do grafeno aplicado nos ônibus para reduzir o peso de componentes internos e externos que atualmente utilizam o aço.

Em resumo, o potencial de melhorias a serem incorporadas em novas frotas para operar em um contexto de transformação digital com trens plenamente automatizados é grande, porém algumas tecnologias precisam ainda de maior maturidade antes de serem aplicadas em nosso setor de forma mais segura.

\* **Felipe Copche** é Engenheiro, Supervisor de Projetos de Sistema de Sinalização, Controle Centralizado e Material Rodante pela Gerência de Projetos do Metrô de São Paulo (GPR)  
E-mail: fcopche@metrosp.com.br

\*\* **Rubens Navas Borloni** é Engenheiro, Coordenador de Projetos de Sistema de Sinalização, Controle Centralizado e Material Rodante pela Gerência de Projetos do Metrô de São Paulo (GPR)  
E-mail: rborloni@metrosp.com.br

\*\*\* **Mario Fukumori** é Engenheiro Civil, Especializado de Projetos de Sistema de Sinalização, Controle Centralizado e Material Rodante pela Gerência de Projetos do Metrô de São Paulo (GPR)  
E-mail: mfukumori@metrosp.com.br

\*\*\*\* **Claudio Roberto Valentim** é Engenheiro Eletricista, Assessor Técnico de Projetos de Sistemas pela Gerência de Projetos do Metrô de São Paulo (GPR)  
E-mail: cvalentim@metrosp.com.br

\*\*\*\*\* **Adalberto de Paula Ramos** é Engenheiro Eletricista, Chefe de Projetos de Sistemas pela Gerência de Projetos do Metrô de São Paulo (GPR)  
E-mail: aramos@metrosp.com.br



## Da forma à via: o processo de fabricação e lançamento das vigas-guia do monotrilho da Linha 15-Prata

RODOLFO SZMIDKE\*

### INTRODUÇÃO

O monotrilho da Linha 15-Prata é uma linha da Companhia do Metropolitano de São Paulo – Metrô, que foi inaugurada em 2014 e atualmente opera com aproximadamente 15 km de extensão e 11 estações, tendo atingido no ano de 2022 um índice de satisfação dos passageiros de 78%, sendo a melhor avaliação entre as linhas metroviárias, com um volume diário de passageiros transportados de 134.000 pessoas.

Diferente das demais linhas do sistema, o monotrilho opera com os trens que utilizam pneus superiores de carga, para aceleração e frenagem, e pneus laterais superiores e inferiores para estabilização, trafegando sobre uma via permanente de concreto armada e protendido, composta por vigas-guia

e fechamentos de concreto entre as vigas, denominados monolitizações. Estas vigas passam por um processo de fabricação e lançamento cuidadoso para permitir a passagem dos trens com segurança e conforto aos passageiros que utilizam o serviço.

### PROJETOS E DOCUMENTAÇÕES

Cada viga-guia do monotrilho possui um conjunto de projetos para permitir sua fabricação, como armação, forma, protensão, barra chata (para a realização dos aterramentos), eletrodutos de passagem de cabos, locação de componentes, além de projetos gerais que especificam o método construtivo, suas tolerâncias de execução, projetos de componentes como isopor, insertos metálicos de fixação de 3º e 4º trilhos, e de fixação de passarelas metálicas de serviço e emergência.

### INSPEÇÃO DE MATERIAIS

Determinados materiais são inspecionados para sua liberação e instalação nas vigas-guia, como os isopores, insertos metálicos, eletrodutos, aços CA-50 e de protensão, com verificações visuais e dimensionais, além da solicitação de documentações técnicas, tais como certificados de fabricação e ensaios de conformidade, de acordo com as especificações e normas técnicas pertinentes.

### ESTUDO DE TRAÇO DO CONCRETO

Para a liberação de uso do concreto a ser aplicado nas vigas-guia, é realizado um estudo de traço, conforme previsto em especificação técnica, para avaliação da conformidade do concreto a ser aplicado no que tange à sua resistência a compressão, módulo de elasticidade, assim como insumos aplicados como agregados, cimento e aditivos.



Figuras 1 e 2 - Montagem de armações e componentes da viga-guia

### MONTAGEM DOS COMPONENTES DA VIGA-GUIA PARA CONCRETAGEM

As vigas-guia são fabricadas em um pátio de fabricação de vigas-guia, onde as atividades são controladas e existem equipamentos e ferramentas específicos para a sua execução.

As armações das vigas-guia são montadas em gabaritos metálicos, seguindo as premissas especificadas em cada projeto executivo, e nesta etapa também é realizada a instalação dos isopores (placas de poliestireno expandido), componentes de protensão, alças metálicas de içamento e barras-chata de aço para aterramento. Neste momento é realizada a identificação do código da viga-guia com uma placa, uma vez que toda peça possui uma identificação própria.

Seu transporte até a forma é realizado por meio de pórticos que se movimentam sobre trilhos, sendo que as formas metálicas utilizadas foram importadas de modo a possibilitar o atendimento de tolerâncias restritivas de projeto para a via permanente na casa dos milímetros, possuindo possibilidade de fabricação de raio mínimo de 1.000 metros para curvas verticais e de 45 metros para curvas horizontais, e ficam com uma das faces abertas para permitir a colocação da armação e instalação de componentes. Uma vez inserida a arma-



Figura 3 - Concretagem da viga-guia



Figuras 6 e 7 - Cabo teste e realização de protensão na fábrica

ção na forma, são instalados componentes acessórios como insertos das passarelas de emergência e serviço, e os insertos do 3º e 4º trilho (figuras 1 e 2).

Com o fechamento das formas, são instaladas cantoneiras de topo que formam quinas a 45º no topo das vigas. Estas cantoneiras são posicionadas com o auxílio de equipe de topografia, seguindo as premissas de posicionamento previstas no projeto de fabricação da viga-guia. Antes da concretagem, são instalados termopares para acompanhamento e controle da temperatura de cura do concreto a ser aplicado.

### CONCRETAGEM E CURA

O lançamento de concreto é realizado por meio de caminhões betoneira provenientes de usinas de concreto nas imediações da fábrica de vigas. O concreto é dosado com aditivo plastificante na usina de concreto, e após a chegada na fábrica de vigas, com aditivo super-plastificante, para obter uma consistência que permita que o concreto adense através da alta taxa de armadura das vigas-guia. Para recebimento do concreto é realizado o ensaio de abatimento inicial e final para confirmação das condições de traço, e é realizada a verificação da temperatura do concreto, sendo rejeitados concreto com temperatura acima de 32°C, conforme a Norma NBR 14931 (figura 3).

Durante a concretagem são moldados



Figura 4 - Acompanhamento da temperatura de cura da viga-guia

corpos de prova para verificação da resistência a compressão do concreto, o módulo de elasticidade, assim como ensaios de durabilidade (resistividade elétrica, penetração de água sob pressão, absorção de água e capilaridade).

Após o lançamento do concreto, é aplicado aditivo retardador de pega na superfície da viga-guia para permitir a execução da rugosidade por meio de vassouramento. Após sua execução, é adicionada água e uma manta do tipo bidim para iniciar o processo de cura do concreto.

Os sensores térmicos, do tipo termopar, que foram instalados tem como intuito o acompanhamento da temperatura de cura do concreto da viga-guia, que não pode passar de 70°C, devido aos riscos de ocorrência de etringita tardia no concreto. Esse cuidado é realizado devido ao fato das vigas-guia serem elementos pré-moldados, possuírem usualmente traço com uso de cimento CPV ARI e sofrerem ciclos de molhagem e secagem por ficarem expostas ao meio ambiente, sendo estes elementos facilitadores da ocorrência desta manifestação patológica (figura 4).

### SAQUE E ESTOCAGEM

Como a fabricação é feita em linha de produção, as vigas-guia permanecem nas formas até que a resistência do concreto atinja 35MPa, o que ocorre por volta de



Figura 5 - Movimentação da viga-guia na fábrica

apenas 1 a 3 dias, devido à utilização de cimento CPV ARI RS. As vigas são sacadas por meio das alças de içamento (4 por viga) posicionadas na face superior dos elementos, utilizando um pórtico metálico sob pneus, sendo posicionadas na região de estocagem das vigas-guia.

A área de estocagem deve possuir bases para apoiar as vigas em suas extremidades, bem como aparatos metálicos nas laterais para impedir um eventual tombamento das vigas. Utiliza-se um apoio intermediário adicional no meio do vão das vigas para impedir deformações causadas pelo peso próprio, uma vez que as vigas-guia possuem comprimento médio de 30m.

Quando a viga é estocada, é realizada uma marcação com tinta industrial na extremidade leste para identificação da peça e o sentido que ficará posicionada na via elevada (figura 5).

### PROTENSÃO E INJEÇÃO DAS VIGAS

Para possibilitar o lançamento das vigas-guia na via elevada, é realizada uma carga de protensão (sendo que existe uma segunda, a ser realizada para solidarizar um módulo de vigas-guia após seu lançamento e concretagem das monolitizações intermediárias). A protensão é realizada com cordoalhas CP-190 RB, conforme cargas previstas no projeto executivo, sendo verificado se o alongamento nos cabos se encontra conforme previsto no projeto, sendo aceitável uma variação de  $\pm 5\%$ . Caso o alongamento ultrapasse o limite, é realizada uma avaliação junto ao projetista para a liberação da protensão.

Com a liberação da protensão, é realizada a injeção dos cabos, sendo controlados os parâmetros de acordo com a Norma NBR 14931, como o índice de fluidez, vida útil, índice de exsudação, e resistência a compressão, que deve ser maior que 35MPa aos 28 dias, de acordo com a Nor-

ma NBR 7681. Anualmente é realizado um ensaio de injeção em cabo teste, para avaliação do devido preenchimento da calda de cimento na bainha, sendo realizado o seccionamento do corpo de prova em diversos pontos para verificação de sua conformidade (figuras 6 e 7).

### VERIFICAÇÃO DIMENSIONAL

Como as vigas-guia do monotrilho possuem tolerâncias muito restritivas, da ordem de 3mm, é realizada uma verificação dimensional ao longo de toda a seção de cada viga para avaliação do atendimento das medidas estipuladas em projeto executivo, como largura, nivelamento longitudinal, nivelamento transversal, ortogonalidade, superelevação e deformações longitudinais, além do posicionamento dos insertos metálicos para instalação do 3º e 4º trilhos de energia, gerando assim uma documentação com aproximadamente 600 verificações por viga concretada.

A largura das vigas guia deve possuir 690mm  $\pm 3$ mm, e é verificada por meio de um equipamento montado com trenas a laser que realiza a verificação a cada 50cm da viga em duas posições, na região dos pneus de estabilização laterais superior e inferior do trem.

O nivelamento longitudinal possui uma tolerância de  $\pm 3$ mm a cada 3m, e é verificado nas vigas tangentes com o uso de uma régua metálica de 3m de comprimento ao longo da viga-guia, em 2 alinhamentos no topo da viga, coincidindo com as faixas de rodagem do pneu de carga do trem, e na lateral são realizadas verificações em 4 alinhamentos, coincidindo com as faixas de rodagem dos pneus guia de estabilização do trem. A verificação é feita a cada 3m ao longo da viga-guia, sendo intercalado o posicionamento da régua no meio deste vão, para poder ter a verificação contínua de toda a superfície longitudinal da viga. No caso de vigas-guia



Figuras 8 e 9 - Verificações dimensionais da viga-guia

curvas, foi elaborado um dispositivo ajustável onde, de posse do raio de curvatura da viga-guia, com as medidas é simulado o raio no dispositivo e realizada a verificação do nivelamento nas vigas. Para a verificação do nivelamento transversal, que possui tolerância de  $\pm 1,5$ mm, a régua metálica é posicionada transversalmente sobre a viga-guia com linhas de referência da largura e dos eixos das faixas de rodagem para a avaliação do nivelamento, sendo realizado a cada 50cm ao longo da superfície da viga-guia (figuras 8 e 9).

A verificação da ortogonalidade da viga-guia é feita com o uso de um esquadro digital, sendo posicionado nas quinas da viga-guia a cada 50cm em ambos os lados. No caso da superelevação, as verificações são feitas com um inclinômetro digital no alinhamento dos montantes das formas, conforme previsto em projeto (figuras 10 e 11).

Eventuais desvios dimensionais verificados são corrigidos ainda na fábrica de vigas, de acordo com procedimentos de execução de serviços, e é iniciada uma avaliação de melhorias nos processos de fabricação das viga-guia para mitigar a ocorrência dos desvios.

As deformações longitudinais das vigas-guia são verificadas por meio de levantamentos topográficos realizados após a concretagem, com a viga-guia ainda na forma, e após a realização da 1ª protensão na fábrica, para avaliação das eventuais deformações causadas pelas cargas de protensão. Deformações excessivas são avaliadas junto ao projetista para verificação de ações corretivas a serem realizadas.



Figuras 10 e 11 - Verificações dimensionais na viga-guia

Após o lançamento e realização da protensão de continuidade de um módulo de vigas-guia lançadas, é realizada a terceira etapa de verificação de onde se obtém o valor final de deformação (figura 12).

A superfície de rodagem superior das vigas-guia possui acabamento superficial ranhurado, que é executado por meio de vassouramento, sendo controlado visualmente por meio de referência de uma placa padrão, bem como por amostra-



Figura 13 - Correções dimensionais na viga-guia

gem por meio do ensaio de mancha de areia conforme a Norma NBR 16504, tendo como limites os valores verificados com o ensaio que foi realizado na placa padrão de referência da rugosidade (figura 13).

### VERIFICAÇÕES VISUAIS

Além das verificações dimensionais nas vigas-guia, são realizadas verificações visuais nas peças para avaliação de possíveis manifestações patológicas, tais como fissuras, bolhas, ou deslocamentos nas quinas.

As alças de içamento que foram utilizadas para a retirada das vigas-guia da forma e posicionamento dentro do pátio de fabricação são removidas nesse momento, sendo feito o recorte do concreto na região, corte da alça, e reparo com material com competência equivalente ou superior ao concreto da viga, conforme procedimento



Figura 14 - Transporte da viga-guia para colocação na linha de eixo

específico de reparo. Após a realização do reparo, é verificada a condição dimensional das alças de içamento, sendo que eventuais desvios devem ser corrigidos antes da saída da viga para lançamento.

Todas as vigas-guia são inspecionadas e é gerada uma documentação de verificação, sendo que após os eventuais reparos realizados, são geradas fichas de verificação de serviço, bem como encaminhados os ensaios de controle tecnológico realizados nos materiais aplicados, que serão juntados à documentação de liberação para o lançamento das vigas-guia.

### LIBERAÇÃO DE LANÇAMENTO

A liberação do lançamento das vigas-guia é feita com o envio de toda a documentação prevista em procedimento específico, desde os resultados de ensaio de



Figuras 15 e 16 - Lançamento de viga-guia no período noturno

resistência a compressão, módulo de elasticidade, mancha de areia, ensaios da calda de cimento, as verificações dimensionais de largura, nivelamento, ortogonalidade, superelevação e deformações, além do envio das fichas de verificação das atividades de liberação de concretagem, da realização da concretagem, inspeções visuais nas vigas-guia, fichas de reparos, boletins de protensão e injeção.

Além da documentação de qualidade, é enviada a documentação relativa à segurança de lançamento da viga-guia, com o envio da planilha de controle de movimentação de carga, APR (Avaliação Preliminar de Risco) da atividade, o TPOV (Termo de Permissão de Ocupação de Vias), e os planos de rigging de cada um dos lançamentos para avaliação e liberação da atividade.

A documentação enviada é analisada e, caso se verifique algum desvio, é solicitada a verificação e/ou correção para liberação do lançamento da viga-guia.

### TRANSPORTE DAS VIGAS

Com a liberação do lançamento, são instalados componentes metálicos retangulares em cada extremidade da viga-guia, comumente chamados de gravatas, que servirão de suportes de içamento das vigas, sendo que é realizada uma verificação rotineira dos componentes para avaliação do estado das soldas, por meio de verificações visuais e ensaios de líquido penetrante (LPs), figura 14.

Na sequência, as vigas-guia são içadas por meio de pórticos com capacidade de 70 toneladas e posicionadas em um veículo especial que é uma linha de eixo com pescoço articulado, composto de dois veículos, sendo que ficam em cada extremidade da viga-guia, o que permite

maior flexibilidade na movimentação e realização de curvas.

As condições de transporte das vigas-guia na cidade são negociadas junto à CET (Companhia de Engenharia de Tráfego), onde, devido às dimensões e riscos de transporte e lançamento das peças, só é permitida a atividade durante o período noturno e em condições ambientais sem a ocorrência de intempéries e ventos fortes.

O transporte é realizado com o acompanhamento de batedores, que realizam o controle de fechamentos pontuais de ruas e avenidas para permitir a movimentação da viga-guia até o local de lançamento de maneira segura.

### LANÇAMENTO DAS VIGAS

Previamente ao lançamento, são verificadas as condições do local, sendo que interferências como fios de energia ou telefonia, semáforos, placas, e outros possíveis obstáculos são provisoriamente removidos ou realocados, sendo recolocados após o lançamento. Além disso, a região deve estar isolada conforme previsto no projeto de desvio de tráfego e TPOV específico da atividade.

Outro ponto a ser observado é a condição dos apoios que receberão as vigas-guia, sendo que o concreto dos pilares deve possuir resistência mínima para receber as cargas das vigas-guia, com um fck mínimo de 35MPa. Além disso, devem ser realizadas verificações topográficas para verificação se a geometria do apoio se encontra compatível com o lançamento das vigas-guia, seja em pilares onde existem dispositivos metálicos de apoio das vigas-guia, chamados de *hangers*, ou por um dispositivo metálico provisório instalado no topo dos capiteis fixado por protensão de barras do tipo *Dywidag*.

Com a interdição do local, é iniciado o trabalho de posicionamento e patolamento dos guindastes que realizam a atividade de lançamento da viga-guia, sendo que usualmente são utilizados dois guindastes conforme previsto no plano de rigging da atividade, sendo patolados em cada extremidade da viga-guia. Os equipamentos de içamento dos guindastes são fixados às estruturas metálicas (gravatas) que foram instaladas nas vigas-guia na fábrica.

O içamento das vigas é realizado com os guindastes levantando a viga-guia ao mesmo tempo e posicionando-a sobre os apoios previstos. Durante essa atividade, todo o local sob o içamento é interdi-

tado, não sendo permitido o trânsito de pedestres ou carros (figuras 15 e 16).

Com o posicionamento da viga-guia sobre os apoios, são iniciados os trabalhos de escoramento e travamento da viga por meio de escoras metálicas telescópicas e ao mesmo tempo é feita a verificação topográfica de posicionamento e inclinação da viga-guia no local, onde o travamento final das escoras metálicas é realizado somente com a viga-guia posicionada de acordo com o ângulo de superelevação previsto em projeto.

Após a completa fixação das escoras na viga-guia, a carga da peça é totalmente liberada pelo guindaste, sendo iniciados os trabalhos de retirada das estruturas metálicas de içamento das vigas-guia, que são colocadas em caminhões de transportes para retornarem à fábrica de vigas para o próximo lançamento. Na sequência, os guindastes são despatolados e a atividade é encerrada com a liberação do tráfego no local de içamento.

### CONCLUSÃO

O processo de fabricação e lançamento de vigas-guia para o sistema monotrilho é uma atividade complexa, em que são necessários cuidados específicos ao longo de todo o processo construtivo, além do planejamento das atividades de içamento.

Tendo em vista as tolerâncias restritivas previstas em projeto para a fabricação das vigas-guia, os cuidados com as formas, bem como as verificações dimensionais pós concretagem, devem ser realizados em total conformidade com os procedimentos elaborados, de maneira a impedir eventuais desvios que possam influenciar o conforto de passagem dos trens que trafegam na linha.

Além disso, o controle de concretagem e movimentação das vigas-guia deve se orientar de modo a evitar as ocorrências de eventuais manifestações patológicas, que podem vir a afetar a durabilidade do concreto armado e protendido.

Todas as atividades são realizadas com cuidados de qualidade de segurança, por meio de procedimentos específicos, planos de rigging e análises preliminares de risco, de modo que já foram lançadas com sucesso mais de 1.500 vigas-guia nos trechos de via elevada da Linha 15-Prata. 🚆

\*Rodolfo Szmídke é Engenheiro Civil na Coordenação de Qualidade e Meio Ambiente da Linha 15-Prata do Metrô-SP  
E-mail: rszmidke@metrosp.com.br

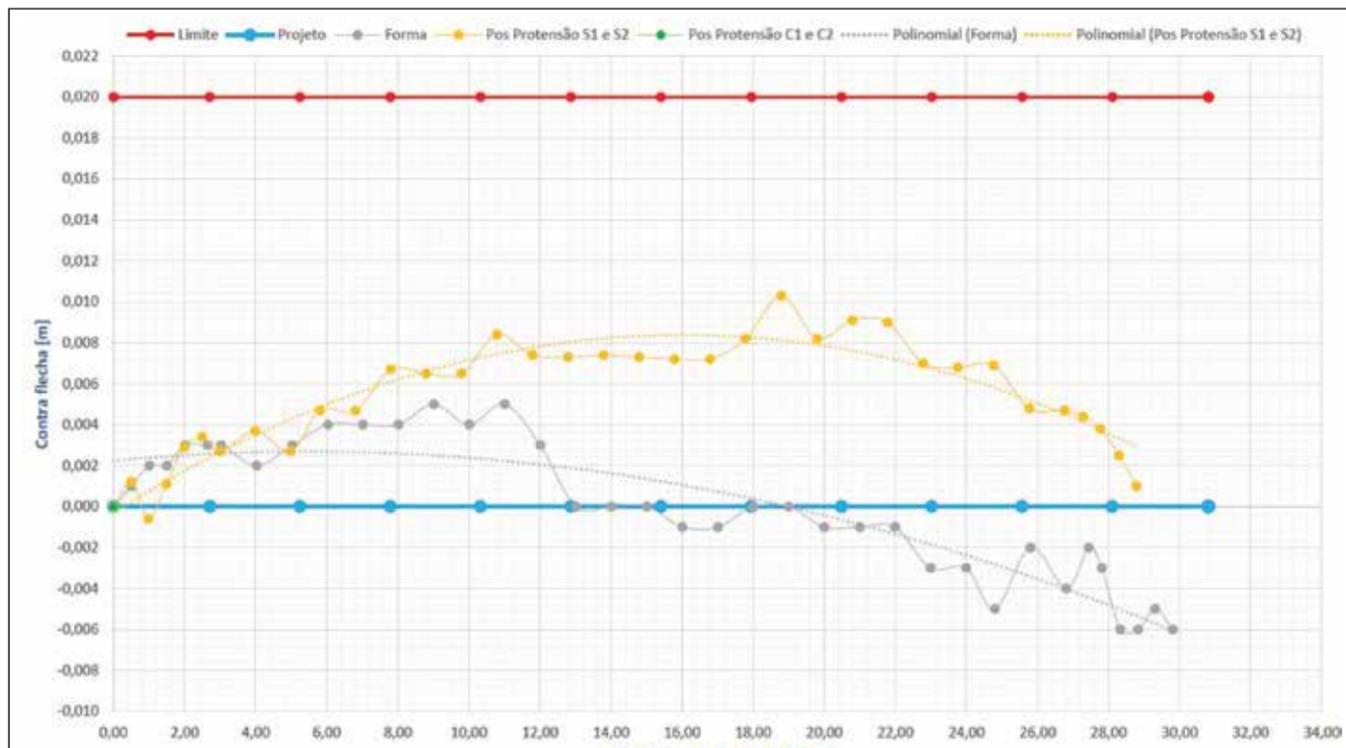


Figura 12 - Acompanhamento da deformação longitudinal da viga-guia



# Platform Screen Doors: aplicação de tecnologias para segurança e desempenho operacional

MARCELO LEMOS\* / RENATO PATTA\*\* / MARCELO MOITA\*\*\*

## INTRODUÇÃO

O Sistema de Portas de Plataforma é um equipamento que segrega a plataforma de passageiros da estação da via de circulação dos trens. Conhecido pela sigla PSD, do inglês Platform Screen Door, é um sistema formado por uma fachada instalada na borda da plataforma, normalmente de vidro, dotada de portas deslizantes motorizadas que operam em sincronismo com as portas do trem, na abertura e fechamento, para o embarque e desembarque de passageiros.

Cada porta do trem tem a sua respectiva porta deslizante de plataforma, acompanhadas lateralmente de Porta de Saída de Emergência e Painel Fixo/ Porta de Emergência, para acesso/ saída de pessoas em caso de parada do trem fora da posição adequada, formando, assim, um Módulo Típico PSD (figura 1).

O objetivo principal do Sistema PSD é o de aumentar os níveis de segurança dos passageiros nas plataformas de acesso aos trens, impedindo acidentes, suicídios, homicídios, queda de objetos na via, ao mesmo tempo em que restringe o acesso às regiões de túneis e vias somente para funcionários autorizados, além de possibilitar o controle de temperatura



PSD em sincronismo com trem do Metrô da Linha 3 de Santiago/Chile

nas plataformas e facilitar a adequada organização de embarque e desembarque.

## TIPOS DE PSD

O Sistema PSD faz interface com diversos outros sistemas existentes na estação e, também, uma interface bastante grande com os elementos da arquitetura. A definição do modelo de portas de plataforma a

ser utilizado depende das necessidades principais relacionadas aos fatores de segurança, ambientais e de arquitetura, podendo ser fachada completa (Full-Height) ou meia altura (Half-Height – PSD ou APG).

Na sequência são apresentadas as descrições dos tipos de PSD.

### 1.Full-Height

A fachada PSD completa é um tipo de Sistema de Portas de Plataforma utilizado em estações subterrâneas fechadas, que tem grande interface com a arquitetura da estação, possibilitando um controle de temperatura das plataformas mais satisfatório devido a segregação total da via, que impede as ações do vento relacionadas a efeito pistão, provocado pela movimentação dos trens, e também a entrada de ar quente proveniente dos rodeiros nos trilhos.

Este tipo de fachada é mais encontrado nas estações de trens e metrôs mais antigas e na Ásia.

### 2.Half-Height – PSD (Platform Screen Door)

Este tipo de Sistema de Portas de Plataforma é o mais utilizado nas estações de Me-

COMPARATIVO ENTRE OS TIPOS DE PORTAS DE PLATAFORMAS EXISTENTES			
Característica	Full Height	Half Height - APG	Half Height - PSD
Robustez	Alta Robustez - Por ter sua fachada integrada com o teto, torna-se bastante robusta em relação à estabilidade.	Pouco robusta - Sendo uma estrutura baixa, os elementos estruturais não suportam muita carga, porém, por não ter uma grande área de fachada, os efeitos pistão e força dos ventos atuam não sendo muito significativos.	Alta Robustez - Este tipo de PSD pode ter apoios provenientes do teto ou não. No Metrô de São Paulo, só existem instalados os modelos sem fixação proveniente do teto e confirmam boa estabilidade. Seus projetos mecânicos devem ser sempre justificados pelos Materiais de Cálculo Mecânico.
Complexidade de Implantação	Alta Complexidade - Devido à integração com o teto, deve ter seus projetos compatibilizados com os de arquitetura e de infraestrutura de sistemas (elétrica, telecom, ventilação principal etc.).	Alta para Média Complexidade - De certa forma, mais simples que a Full, porém, seu projeto deve estar compatibilizado com os demais da estação.	Baixa Complexidade - É um equipamento mais leve, mais simples e com um número menor de interferências com outros sistemas.
Segurança ao usuário	Alto nível de segurança ao usuário.	Médio nível de segurança ao usuário - Devido a ter uma base relativamente baixa (em torno de 1,50m), em muitos casos, a fachada não impede o acesso às vias de circulação dos trens.	Alto nível de segurança ao usuário - Embora não seja fechada até o teto, sua altura de aproximadamente 2,00m dificulta muito o acesso às vias.
Custo	5 milhões de reais/fachada	2 milhões de reais/fachada	4 milhões de reais/fachada
Indicação	Local onde é desejado um bom controle de temperatura e ruído ou um acabamento harmônico com os elementos de arquitetura.	Sistema bastante utilizado em Turismo e Aeroportos.	Transporte de massa.
Manutenção			
Operação			

Tabela 1 - Comparativo entre os tipos de portas de plataforma existentes

trô no Brasil. Devido a ser considerado meia altura em relação ao teto da estação, sendo aberto o espaço entre a fachada e o teto, este tipo de fachada pode ser utilizado em estações subterrâneas e em estações elevadas.

A altura das portas deslizantes é compatibilizada com a altura das portas dos trens, em torno de 2,10m, que somados aos 0,50m da headerboxes (caixa que acomoda os itens de acionamento e controle das portas deslizantes), tem uma altura de aproximadamente 2,60m. Com esta altura, os índices de acidentes com usuários nas vias, suicídios, homicídios se tornam, praticamente, nulos.

### 3.Half-Height – APG (Automatic Platform Gate)

O APG é um Sistema de Portas de Plataforma de meia altura, de aproximadamente 1,50m, que tem o mesmo objetivo dos demais modelos mais altos, evitar que pessoas caiam da borda da plataforma nos trilhos.

Os APGs, devido a terem uma estrutura diferente bem mais leves, são mais baratos e menos trabalhosos de instalar do que as por-

tas PSD, que requerem mais estrutura metálica para suporte, indicadas, em alguns casos, para instalação em estações já operacionais.

O aspecto negativo é que esses portões são menos eficazes do que portas de tela de plataforma completa, para evitar que as pessoas pulem intencionalmente para as vias.

### 4.Comparação entre os tipos

Para ser possível definir o melhor modelo de PSD a ser utilizado, é necessário avaliar o perfil de atividade do local onde será instalado, devendo ser consideradas as características de cada modelo, considerando a robustez no tocante à sua estrutura e estabilidade à complexibilidade de instalação, segurança ao usuário sob o aspecto de acessibilidade (possibilidade de invasão), custo, sua indicação, manutenção e operação, conforme descrito na tabela 1.

### ASPECTOS HISTÓRICOS

O Sistema PSD começou a fazer parte das estações de trens e metrôs do mundo a partir da segunda metade do século 20, ten-

do início nos países da Ásia e Europa, se estendendo aos demais continentes, chegando ao Brasil apenas em 2010, como veremos mais adiante neste artigo.

As primeiras estações de Metrô do mundo contempladas com o Sistema de Portas de Plataforma com funcionalidade parecida com a atual, em movimento sincronizado entre as portas do trem e as da plataforma, foram as da Linha 2 do Metrô de São Petersburgo na Rússia, contemplando as 10 estações que implantadas entre os anos de 1961 e 1972. As portas deslizantes, confeccionadas em material não transparente, foram instaladas entre as paredes de sustentação do teto da plataforma, tendo as suas aberturas compatibilizadas com as portas do trem.

Em 1987, o Metrô de Singapura, com seu Sistema de Trem de Massa Rápido (MRT - Mass Rapid Train), implantou o primeiro Sistema de Portas de Plataforma do mundo desenvolvido com a fachada formada por módulos de vidro em toda a sua extensão. Justificado pela necessidade de obter um melhor controle de temperatura, alinhamento a questões arquitetônicas e razões de segurança, todas as estações subterrâneas tinham PSD e a partir de 2010 as estações de superfície começaram a ser submetidas a retrofit.

O Metrô de Trânsito Rápido de Hong Kong foi o primeiro sistema de metrô do mundo a utilizar retrofit PSDs em uma estação de trânsito já em operação. A MTR Corporation vinha, desde meados de 1996, estudando a viabilidade de instalar PSDs nas estações mais antigas. Em 1999, decidiu empreender o Programa de Retrofitting PSD em 74 plataformas de 30 estações subterrâneas nas linhas Kwun Tong, Island e Tsuen Wan, sendo concluído no início de 2006.

O Sistema de portas de Plataformas vem sendo cada vez mais utilizado no mundo,



Figura 1 - Módulo Típico PSD



Full-Height Metrô de Tokyo - Linha Nambu



Estação Vila Matilde da Linha 3-Vermelha, Metrô de São Paulo



Modelo de APG - Disneyland Resort Line, em Hong Kong



Estação Lomonosovskaya em São Petersburgo, Rússia

seja em sistemas metroviários novos ou em estações já operacionais com retrofit das plataformas e instalação do novo sistema.

### PSD NO METRÔ DE SÃO PAULO

A grande complexidade das operações do sistema metroviário e a necessidade de garantir tanto a segurança, quanto o desempenho operacional, têm impulsionado a adoção de soluções avançadas. Entre essas soluções, a implantação de portas de plataformas, comumente chamadas como PSD's (Platform Screen Doors), emerge como uma estratégia fundamental para a continuidade do negócio de mobilidade urbana dentro do setor metroviário. Desta forma, este artigo explora o papel crucial que as portas de plataformas desempenham na otimização da segurança e do desempenho operacional, elementos de sustentação de toda uma operação do Sistema.

As portas de plataformas desempenham um papel vital na segurança da área de plataformas, controlando o acesso a áreas críticas energizadas e de circulação exclusiva de trens e, desta forma, restringindo a entrada de passageiros na área de circulação dos

trens. A implementação destes sistemas de controle de acesso aos trens, baseados em portas de plataformas, permite ao Metrô de São Paulo garantir que apenas pessoal autorizado tenha acesso às áreas sensíveis, reduzindo o risco de incidentes de segurança, como intrusões, vandalismo ou sabotagem dentro do sistema.

Além disso, as portas de plataformas podem estar integradas a sistemas de segurança mais amplos, como câmeras de vigilância com analíticos de intrusão dentre outros, proporcionando uma abordagem abrangente para a proteção do sistema contra ameaças internas e externas.

Por outro lado, a eficiência operacional é essencial para o atendimento em sua plenitude das expectativas de nossos passageiros. As portas de plataformas desempenham um papel crucial na otimização do fluxo de trabalho, limitando consideravelmente atrasos operacionais, causados devido a presença de passageiros circulando indevidamente nas vias ou sentados em plataformas, presença de animais, queda de objetos, dentre outras interferências que causam grandes transtornos operacionais.



Montagem de Portas de Plataforma Modular na Linha 3-Vermelha, Metrô de São Paulo

Diante destes benefícios, o Metrô de São Paulo tem trabalhado na implantação de Portas de Plataformas nas linhas 1-Azul, 2-Verde e 3-Vermelha, em um escopo de 88 fachadas, considerando-se o desafio de implantação das mesmas, com o sistema operacional e consequentemente, com um horário para implantação extremamente limitado.

Com o viés de vanguarda tecnológica e atendimento dos requisitos de segurança, de desempenho e das dificuldades apresentadas para a implantação do sistema, algumas inovações tecnológicas foram especificadas para a contratação do sistema, como a montagem modular das portas, a inclusão de Sensores de Presença entre fachada e o trem e a integração das PSD's com o Núcleo de Monitoramento de Ativos da Manutenção. Além destas inovações no sistema e o fornecimento de 88 fachadas, fazem parte do escopo da contratação o fornecimento de dois Módulos de Treinamento para a manutenção e para a operação, uma jiga de testes para as oficinas de manutenção e uma central de monitoramento de ativos, no Centro de Controle Operacional (CCO), fechando todo o ciclo para gestão do ativo.

A implantação de portas de plataformas desempenha um papel essencial na garantia da segurança e do desempenho operacional. Ao adotar portas de plataformas adequadas e integrá-las com tecnologias avançadas, o Metrô de São Paulo pode melhorar significativamente sua eficiência, reduzir os custos operacionais e garantir um ambiente de trabalho mais seguro para seus passageiros e funcionários. Investir em soluções de portas de plataformas não é apenas uma medida preventiva, mas uma estratégia essencial para o sucesso a longo prazo no cenário da mobilidade urbana. 📌

\* **Marcelo Lemos** é Engenheiro Eletricista e Física e atua como Chefe de Departamento da Gerência de Suporte e Engenharia Operacional do Metrô-SP  
E-mail: [marcelo\\_lemos@metrosp.com.br](mailto:marcelo_lemos@metrosp.com.br)

\*\* **Renato Patta** é Engenheiro Eletricista e atua como Engenheiro Especializado na Gerência de Suporte e Engenharia Operacional do Metrô-SP  
E-mail: [renato\\_patta@metrosp.com.br](mailto:renato_patta@metrosp.com.br)

\*\*\* **Marcelo Moita** é Engenheiro Eletricista e atua como Engenheiro Especializado na Gerência de Suporte e Engenharia Operacional do Metrô-SP  
E-mail: [mmoita@metrosp.com.br](mailto:mmoita@metrosp.com.br)

# O novo processo interativo SINALVP – traçado geométrico e simulação cinemática

GABRIEL FRANZOTTI CAMILO DE SOUZA\* / RICARDO MARQUES VENTURA\*\* / CONSTANTINO MANDALOUFAS\*\*\* / DANIEL MOZARTE SACCOMANO\*\*\*\* / FELIPE COPCHE\*\*\*\*\* / THIAGO LOPES DOS SANTOS\*\*\*\*\* / RUBENS NAVAS BORLONI\*\*\*\*\* / ADILSON ROBETO TAKEUTI\*\*\*\*\*

## INTRODUÇÃO

**N**o processo de projeto de uma linha metroviária, a concepção e desenvolvimento do Projeto Geométrico da Via Permanente é baseada, a princípio, para permitir o deslocamento dos veículos atendendo a “Velocidade Diretriz” da linha, que é aquela que buscamos como padrão em todos os trechos.

Nessa etapa de concepção (Projeto Básico), situações limites de geometria podem ocorrer (curvas de pequenos raios, transições curtas etc.), e podem incorrer em restrições de velocidade, quando comparada à Velocidade Diretriz.

Por sua vez, o Projeto de Sinalização recebe as informações da geometria, e considera as máximas velocidades (Máxima Velocidade Civil) ali descritas, e desenvolve o conhecido e tradicional desenho de referência para a Sinalização, o Plano de Vias Sinalizado (PVS).

O que posteriormente se verifica é que, usualmente, a velocidade descrita no Projeto de Sinalização nem sempre

alcança a Máxima Velocidade Civil.

Isso significa uma capacidade ociosa da via permanente em termos de desempenho, que se levada a efeito no Projeto Executivo e na construção do empreendimento pode trazer prejuízos operacionais e de manutenção (o que é contraintuitivo), como desconforto a passageiros, e desgastes prematuros de trilhos.

Até recentemente, era necessário o desenvolvimento do Projeto Executivo para o maior detalhamento do Projeto Geométrico, e o consequente maior detalhamento do Projeto de Sinalização. Ocorre que a etapa de Projeto Executivo pode ser tarde para alterações estruturais (como locação de AMVs e retornos estratégicos, que eventualmente possam influenciar no desempenho e na estratégia operacional da linha).

Portanto, a possibilidade de simular a velocidade de sinalização durante as fases iniciais do projeto, como o projeto básico, emerge como uma solução promissora para abordar esses desafios. Ao incorporar a simulação da velocidade de sinalização

desde as fases iniciais do projeto, os engenheiros e projetistas podem identificar e corrigir discrepâncias entre as velocidades de sinalização (pretendida), e a máxima velocidade civil (possível na via), antes que o sistema entre em operação.

Desta forma, a retroalimentação entre a velocidade de sinalização e a velocidade real da via permanente já no projeto Básico, pode eventualmente auxiliar na equalização da geometria da via permanente sobre os aspectos de custos e benefícios do projeto, levando em consideração o investimento inicial CAPEX e ao longo da operação e manutenção OPEX, reclassificando as velocidades nos trechos para valores mais próximos do real desempenho necessário a ser exigido da via permanente e atendendo a necessidade apontada no projeto Funcional – Anteprojeto da linha.

Considerando os avanços tecnológicos disponíveis atualmente, essa simulação e os ajustes resultantes já são viáveis no projeto Básico, proporcionando melhorias substanciais na eficiência e segurança operacionais dos sistemas metroviários ainda na fase de projeto.

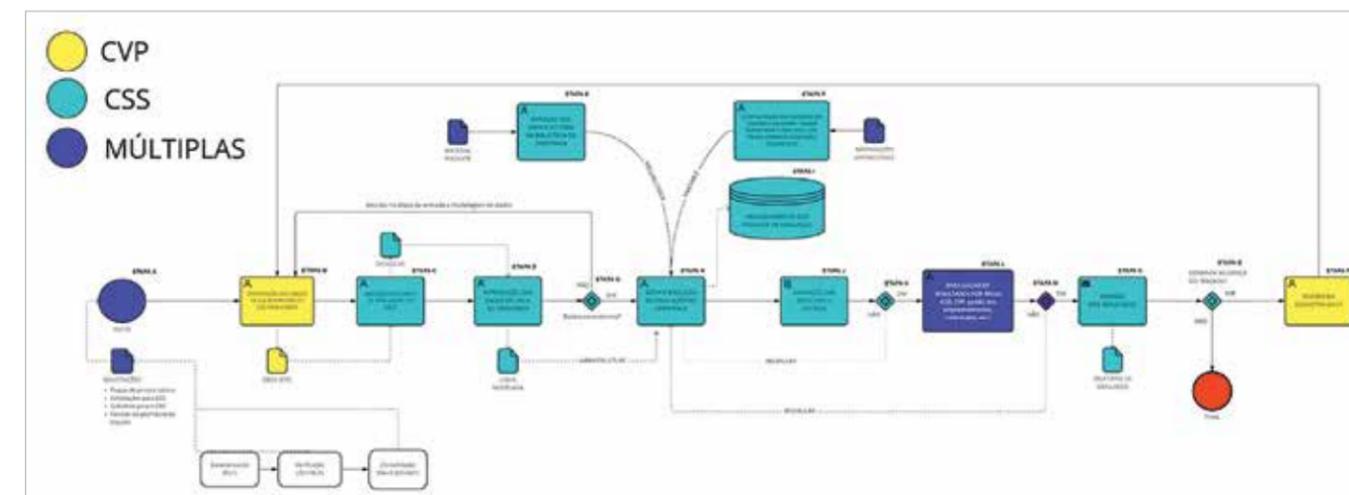


Figura 1 - Fluxo de trabalho para gerar a interoperabilidade dos dados entre as ferramentas Civil 3D - Via Permanente (CVP) e o Open Track - Sinalização (CSS)

PRORIDAZIA	TITULO	SPRINT	DATA INICIO DA TABELA	TAREFAS	STATUS
1 - ALTA	Deck para alimentação do Open Track	SPRINT 01	18/01/2022	Preparar Deck Testar (quantidade (Sinalização) de quilômetros)	CONCLUÍDO
1 - ALTA	Tabela de curvas horizontal no formato do deck de entrada do Open Track	SPRINT 02	01/02/2022	Rotinas para extração de dados do Civil 3D	CONCLUÍDO
1 - ALTA	Tabela de curvas vertical no formato do deck de entrada do Open Track	SPRINT 03	01/02/2022	Rotinas para extração de dados do Civil 3D	CONCLUÍDO
1 - ALTA	Definição de trecho de via para teste de protótipos	SPRINT 04	18/01/2022	Definir características (AMV, Final de via, Plataformas, Pontos de qualidades de sim, etc.) Reunião de definição	CONCLUÍDO
1 - ALTA	Entrada do trecho de via do protótipo (L2 VPT PER exclusiva) modelado no Civil 3D	SPRINT 05	01/03/2022	Validação perfil (Horizontal e Vertical) Modelar no CSD 2022 todos as vias, com sua geometria, abalos e plataformas.	RICARDO CONCLUÍDO
1 - ALTA	Tabela de velocidades no formato do Deck de entrada do Open Track	SPRINT 04	01/02/2022	Definir características (AMV, Final de via, Plataformas, Pontos de qualidades de sim, etc.) Reunião de definição	RICARDO CONCLUÍDO
1 - ALTA	Tabela de AMVs no formato do Deck de entrada do Open Track	SPRINT 05	01/02/2022	Definir características (AMV, Final de via, Plataformas, Pontos de qualidades de sim, etc.) Reunião de definição	RICARDO CONCLUÍDO
1 - ALTA	Tabela de Plataformas no formato do Deck de entrada do Open Track	SPRINT 02	01/02/2022	Rotinas para extração de dados do Civil 3D	CONCLUÍDO
1 - ALTA	Planejamento do Processo de análise de velocidade civil de geometria de via permanente	SPRINT 05	01/02/2022		DANIEL CONCLUÍDO
1 - ALTA	Primeira versão do SINALVLP aplicada ao protótipo	SPRINT 03	15/03/2022	Ativar e Fazer as anotações para levantar pontos de melhoria e evolução.	CONCLUÍDO
1 - ALTA	Desenvolver Matriz RAC do Planejamento	SPRINT 04	05/03/2022		FELIPE CONCLUÍDO
1 - ALTA	Tabela de velocidades de AMVs (por traço)	SPRINT 05	15/03/2022	Definir características (AMV, Final de via, Plataformas, Pontos de qualidades de sim, etc.) Reunião de definição	DANIEL CONCLUÍDO
1 - ALTA	Definição dos eixos/estados de sinalização	SPRINT 04	05/03/2022	Definir características (AMV, Final de via, Plataformas, Pontos de qualidades de sim, etc.) Reunião de definição	GABRIEL CONCLUÍDO
1 - ALTA	Teste de validação 01	SPRINT 05	15/03/2022	Verificar falha de importação de Deck para o OpenTrack (Sucesso e Deck por fase de uma linha a mais.)	CONCLUÍDO
1 - ALTA	Teste de validação 02 a	SPRINT 05	15/03/2022	Verificar falha de importação de Deck para o OpenTrack (Sucesso e Deck por fase de uma linha a mais.)	CONCLUÍDO
1 - ALTA	Teste de validação 02 b	SPRINT 05	15/03/2022	Verificar falha de importação de Deck para o OpenTrack (Sucesso e Deck por fase de uma linha a mais.)	CONCLUÍDO

Figura 2 - Backlog do projeto SINALVLP

**OBJETIVO**

Integrar os processos de projeto de Traçado Geométrico e de Sinalização se mostra necessário, e a utilização de ferramentas de informática (BIM e simuladores cinemáticos), possibilitam tanto antecipar essa integração para a fase mais preliminar de concepção (anteprojeto e projeto básico), como possibilita atuar de forma mais assertiva na incorporação dos conceitos da estratégia operacional em termos de desempenho da linha, para atender a demanda de passageiros prevista no projeto Funcional - Anteprojeto.

Tal integração pode ser descrita, conforme figura 1, como um ciclo de tomada de informações geométricas, tabulação de dados, simulação cinemática e análise dos resultados, e, então, retroalimentação à concepção do traçado geométrico. Esse fluxo se repete até que o desempenho previsto na concepção geométrica (velocidade disponível), seja compatível com o previsto em simulações do projeto de sinalização (velocidade operacional prevista).

O caráter multidisciplinar dessa integração, bem como os prazos usualmente escassos para o detalhamento da estratégia operacional, sugere a criação de uma metodologia fluida e eficaz entre as equipes envolvidas, com a adoção de formatos e tabulações de dados que possibilitem a troca de informações e sua retroalimentação no processo de concepção do projeto, de forma a possibilitar ajustes com o mínimo impacto no projeto.

Além disso, verificar a possibilidade

deste novo fluxo de trabalho interativo, automatizar a extração e conversão de dados provenientes de um arquivo .XML (texto a ser exportado da ferramenta do Civil 3D), para o formato tabela .CSV (Excel), o qual será utilizado como os parâmetros de entrada da via para o simulador cinemático OpenTrack.

**METODOLOGIA APLICADA**

Para garantir um desenvolvimento eficiente e adaptável ao Estudo de Caso prático SINALVLP, adotamos uma abordagem ágil, utilizando o framework SCRUM como base para o processo de desenvolvimento. Esse método foi escolhido devido à sua capacidade de promover a entrega contínua de valor ao cliente, permitindo ajustes e melhorias ao longo do caminho.

A equipe responsável pelo projeto foi composta por um Scrum Master (SM), um Product Owner (PO) e quatro desenvolvedores. Essa composição multidisciplinar garantiu uma visão abrangente das necessidades do projeto, bem como uma comuni-



Figura 3 - Etapas do processo de exportação dos dados

cação eficaz entre todas as partes envolvidas.

O planejamento do projeto envolveu a definição de cinco releases, que foram organizadas de acordo com as prioridades e objetivos dos clientes, no caso as coordenações de projeto de Via Permanente e Sinalização e Controle. Cada release representava uma etapa do desenvolvimento, permitindo uma abordagem incremental e iterativa.

Os requisitos foram levantados em colaboração com os técnicos envolvidos nas etapas de projeto, utilizando técnicas como histórias de usuários. Essas histórias forneceram uma compreensão clara das necessidades dos usuários finais, orientando o desenvolvimento e garantindo a entrega de funcionalidades relevantes.

Com base nas histórias de usuários, foi elaborado o backlog do projeto, que serviu como guia para o trabalho das equipes. O backlog foi constantemente revisado e atualizado para refletir as mudanças nas necessidades do cliente e as prioridades do projeto.

Ao longo do desenvolvimento, foram realizadas um total de 13 Sprints, cada uma com duração fixa de 15 dias e objetivos claros de entrega. Durante essas Sprints, a equipe trabalhou de forma colaborativa, realizando reuniões de acompanhamento do progresso e resolução de impedimentos (figura 2).

Para facilitar a comunicação e colaboração remota, foram utilizadas ferramentas como Teams e MIRO. Essas ferramentas permitiram a realização de eventos do SCRUM, como reuniões de planejamento, revisão e retrospectiva, de forma eficiente e transparente.

Como resultado da abordagem ágil adotada, criou-se um método eficiente para a transferência de dados entre a Co-ordenação de Via Permanente e a de Sinalização e Controle. Como produto desse processo, desenvolvemos o DECK com os elementos e as cotas geométricas extraídas do Civil 3D, pronto para integração no Open Track. Essa metodologia permitiu uma resposta ágil às mudanças e uma entrega contínua de valor, assegurando o sucesso do projeto SINALVLP.

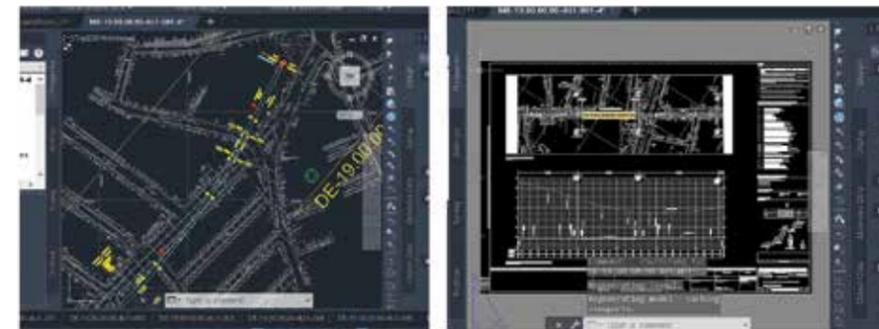


Figura 4 - Exemplos de camadas e layouts de desenho



Figura 5 - Exemplos de organização de pontos notáveis



Figura 6 - Localização do ícone Project Explorer

**DESENVOLVIMENTO**

**Extração, tabulação, análise e exportação dos dados geométricos** - Poderíamos resumir o Projeto Geométrico como simplesmente a locação do eixo da via permanente em planta e perfil, incluindo a locação estratégica dos AMVs (aparelhos de mudança de vias) e plataformas.

Em um projeto de uma linha metroviária, tal locação é o resultado de dezenas de interfaces, tais quais a locação das estações e poços, seus métodos construtivos associados, áreas de desapropriação, interferências críticas, entre outras.

A partir da consolidação dessa locação, em um primeiro momento (primeira iteração) busca-se a Velocidade Diretriz, ou seja, dimensiona-se transições e supe-

releações que disponibilizem a máxima velocidade. Isso nem sempre é possível, pois que não raro, interferências críticas ou o posicionamento das unidades construtivas (estações e poços) podem incorrer em limitações geométricas (falta de espaço para transições, por exemplo), e daí restrições à Velocidade Diretriz.

Superada essa etapa (concepção inicial), é necessário certa padronização no formato digital do projeto. No caso, o Projeto Geométrico é desenvolvido no Autodesk Civil3d®.

Nesse sentido, é importante algumas etapas, conforme figura 3.

**Limpeza do Modelo:** É normal a existência de diversos elementos no modelo do traçado que não terão utilidade direta à extração dos dados geométricos

da via permanente. Para aumentar a fluência do software, pode-se eliminar tais elementos do modelo, como camadas de topografia, vistas de perfis e layouts de desenhos, conforme demonstrado na figura 4, com ganho de clareza e produtividade.

**Organização de Pontos Notáveis:**

O software não possui objetos específicos que representem Plataformas e AMVs (apesar de evoluir nesse sentido), sendo alternativa encontrada inserção de pontos (CogoPoints) com descrição padronizada, conforme o elemento descrito (CMV, FMV, Início de Plataforma EC etc.), vide figura 5.

**Extração do Set de Dados:** Os dados geométricos, agora organizados no modelo, são extraídos por meio do recurso "Project Explorer" (figura 6).

Antes da extração é necessária a criação do Set de Dados, configurando sua saída (Action) em um relatório de extensão .xlsx (Excel®).

Para a finalidade de concepção são necessários ao menos Set de Dados para a Via 1 e para a Via 2, que compreende um binário metroviário.

Então insere-se as informações a cada Set (cada via), conforme as várias dimensões de elementos geométricos do Civil3d® (figura 7), quais sejam:

- Alinhamentos (Alignment Entities);
- Superelevações (Cant Curves);
- Perfil (Layout Profile Entities);
- Pontos Notáveis dos AMVs (Point Groups);
- Pontos Notáveis das Plataformas (Point Groups).

Extraíndo-se então o relatório (Run Selected Action), tem-se um relatório de dados "brutos", conforme cada dimensão citada acima, sendo necessária, um outro arquivo (Excel®), com uma série de automações (VBA) para tratamento dos dados.

**Análise do Set de Dados:** É realizada na planilha "C3d reports", que possibilita a avaliação geométrica do traçado, e exporta os "Decks" de informações para

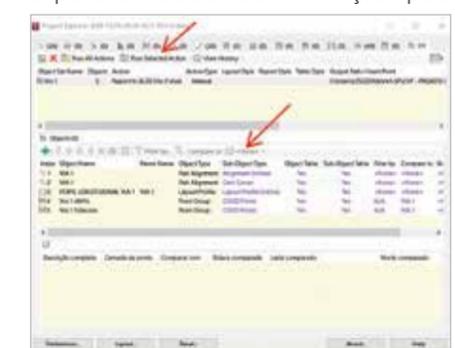


Figura 7 - Informações dos elementos geométricos

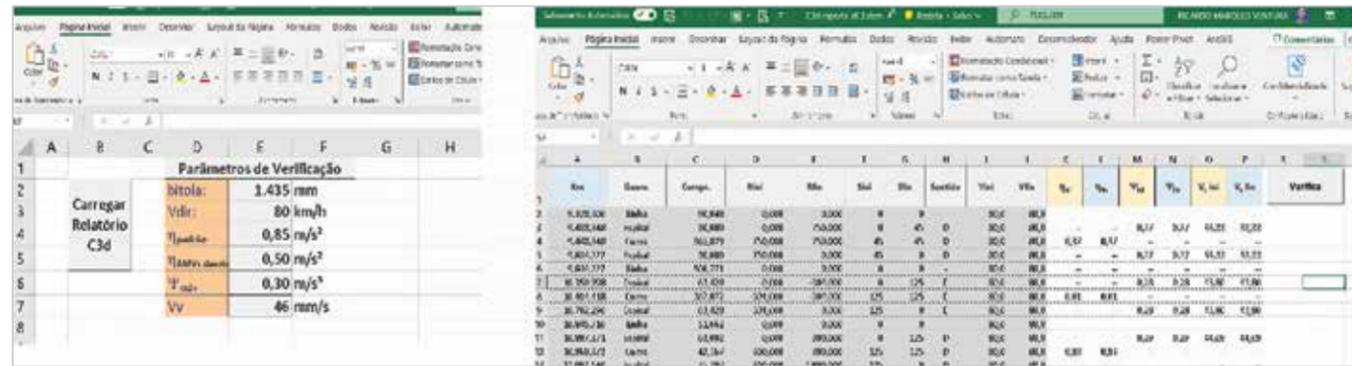


Figura 8 - Decks de informações importação posterior no "OpenTrack", para simulações (figura 8).

É nessa etapa que as variáveis e parâmetros limites característicos do dimensionamento do Traçado Geométrico são verificadas, e a consequente máxima velocidade civil, calculada.

São elas: Raios mínimos de curvas (horizontais e verticais), superelevações (máximas e mínimas), inclinações longitudinais, acelerações não compensadas, jerks transversais e velocidades verticais na rampa de superelevação.

**Exportação para Modelagem da Simulação:** Estando o traçado geométrico adequado a seus requisitos e limites, o Set de Dados é então exportado para um conjunto de dados formatado especificamente para aproveitamento na próxima etapa da análise conjunta. Ou seja, na etapa de modelagem do simulador cinemático (figura 9).

O arquivo de saída (que é entrada para a etapa de construção da simulação) tem informações de velocidades, inclinações longitudinais, estações, AMVs, e planimetria geométrica. Todas devidamente amarradas em suas progressivas quilométricas.

**Processamento e formação dos**

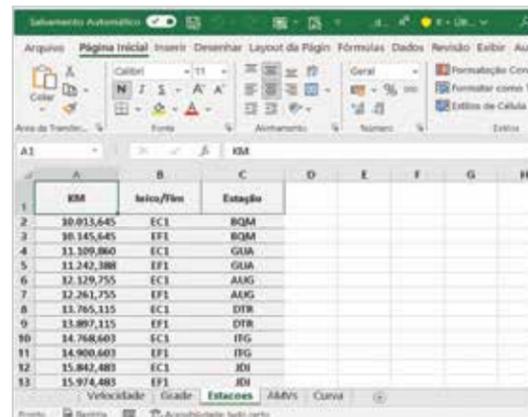


Figura 9 - Set de dados

**dados geométricos para importação no OpenTrack®** - Os dados geométricos da via, gerados na etapa anterior, são trabalhados para gerar um Deck que será utilizado na importação para o simulador OpenTrack®.

Os dados recebidos são: velocidade; grade (inclinação vertical); localização das estações; localização dos aparelhos de mudança de via (AMV); raio de curvatura.

Esses dados são importados para dentro de uma outra planilha em Excel e um script em VBA organiza todos esses dados, para gerar o Deck de entrada para o OpenTrack®.

Antes de iniciar a execução do script, alguns dados devem ser inseridos, são eles: equalização; sinaleiros; túnel tipo.

Ao iniciar o script, algumas informações não constantes nos dados de entrada, são solicitadas ao usuário: grade inicial, velocidade inicial, raio inicial e tipo de túnel.

O script percorre cada um dos dados geométricos, a começar pela velocidade depois o grade, curva, acrescenta a informação do tipo de túnel e depois as estações. Além do início e o fim da plataforma conforme dados recebidos, também se calcula o centro dela, e é inserido um sinaleiro nas extremidades da plataforma, necessários para a simulação. Para os AMVs,

é verificado se foi definido a posição dos sinaleiros, conforme mencionado anteriormente, e se não foi definido, o script calcula a posição deles de acordo com a localização dos AMVs atribuindo um ID. Em seguida acrescenta ao Deck.

Após finalizada a inserção dos elementos, o Deck é organizado em ordem crescente de quilometragem.

Uma vez finalizado a montagem dos Deck, esse é exportado em um formato ".txt" para que o simulador OpenTrack consiga importar.

**Utilização do software OpenTrack®** - O OpenTrack® é um software de simulação ferroviária bem estabelecido e amplamente utilizado por atores do setor ferroviário mundial e possui representação comercial no Brasil. Ele foi desenvolvido em um projeto de pesquisa na Suíça pelo Instituto de Transporte e Construção de Estradas e Ferrovias da Escola Politécnica Federal de Zurique (ETH Zurich, ETHZ).

O software permite modelar, simular e analisar diversos tipos de sistemas ferroviários, incluindo sistema de metrô.

O OpenTrack® é utilizado para planejamento e gestão, e estudos de dimensionamento, reestruturação, ampliação

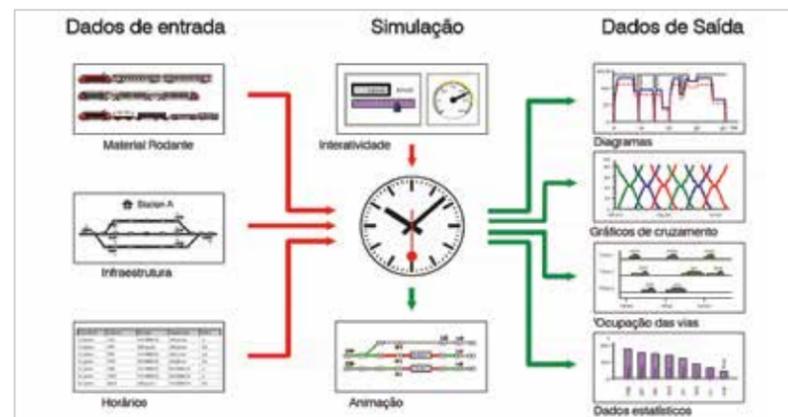


Figura 10 - Visão geral do OpenTrack®

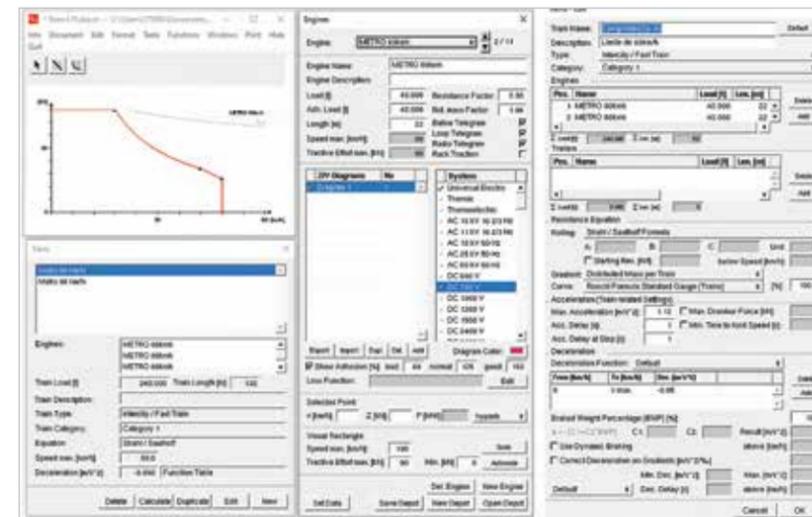


Figura 11 - Telas de configuração de dados de Material Rodante

- e resolução de problemas em sistemas de transporte sobre trilhos e, para tanto, suporta uma variedade de tarefas, como:
- Determinar os requisitos para a infraestrutura;
- Cálculo de intervalos mínimos (*headway*);
- Estudos de material rodante;
- Cálculo do tempo de viagem;
- Construção e análise de tabelas horárias;
- Avaliação de sistemas de sinalização;
- Análise dos efeitos de falhas do sistema.

A figura 10 apresenta uma visão geral do OpenTrack®.

Conforme figura 10, os dados de entrada no OpenTrack® são divididos em três módulos: dados de Material Rodante, de Infraestrutura e de Tabela Horária.

Os dados de Material Rodante incluem a curva de esforço trativo, características físicas como massa e comprimento dos carros, o modelo de resistência ao movimento (geralmente dado pelas Fórmulas de Davis ou Fórmulas de Strahl), a curva de frenagem e as características do sistema de tração elé-

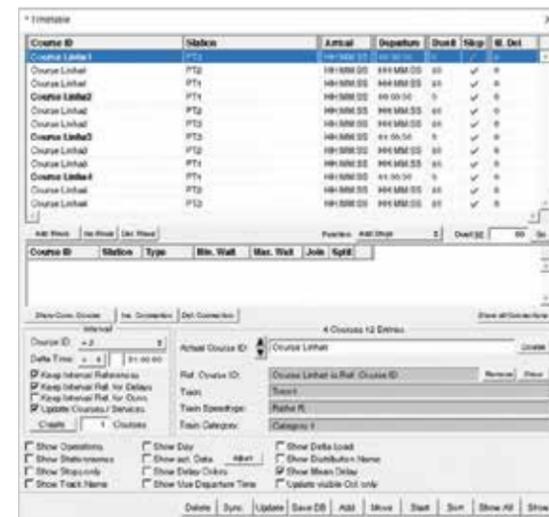


Figura 12 - Tela de configuração de Tabela Horária

trica. Esses dados são atribuídos a um carro, vagão ou locomotiva e então são formadas as composições (trens). No Metrô de São Paulo, as composições geralmente consistem em carros motorizados iguais.

A figura 11 apresenta as telas de configuração de dados de entrada relacionados ao Material Rodante.

Os dados de entrada da Tabela Horária permitem configurar horários de chegada e partida, tempo de parada, variação de massa devido à troca de passageiros e se o trem parará na estação. Cada Tabela Horária está associada a um *Course*, que é uma combinação de itinerário e trem.

A figura 12 apresenta a tela de configuração de Tabela Horária.

A configuração manual dos dados de entrada de Material Rodante e Tabela Horária ocorre diretamente no software OpenTrack®. Por outro lado, a configuração dos dados de Infraestrutura, devido à sua grande quantidade, é realizada por meio dos processos e ferramentas mencionados neste artigo.

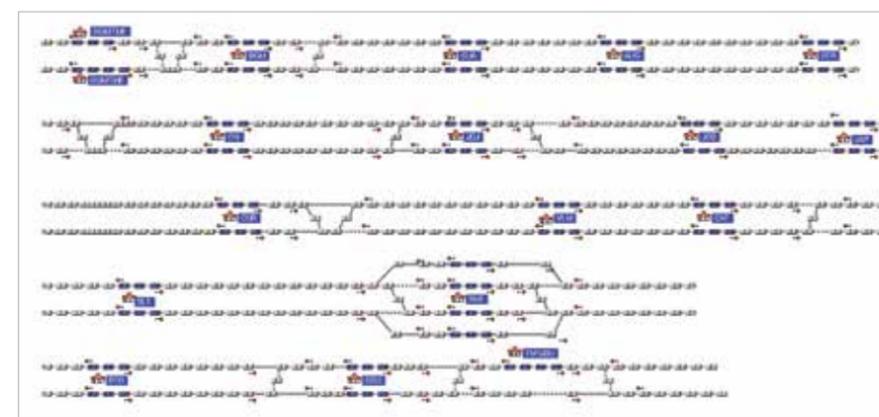


Figura 13 - Tela de configuração de Infraestrutura

Os dados de Infraestrutura abrangem o traçado da via permanente, incluindo características geométricas exclusivas de cada trecho, como inclinação, curva e limites de velocidade civil e/ou operacional. Além disso, esses dados incluem informações sobre as posições das estações, sinaleiros e outros elementos do sistema de sinalização, bem como as configurações dos AMVs.

A figura 13 apresenta a tela de dados de infraestrutura.

Na figura 14, cada trecho de via, chamado de *edge* no OpenTrack®, é representado por uma linha que conecta os pontos representados por pares de quadrados, conhecidos como *vertex*.

Cada elemento possui características únicas, representando os dados geométricos da via permanente. A figura 15 apresenta as telas de configuração para *edge* e *vertex*:

Na figura 15, cada *edge* está relacionado a um ponto da via permanente e recebe um nome associado à característica alterada para aquele trecho, bem como sua cota quilométrica. Além disso, cada *vertex* representa um trecho de via permanente com características únicas. O OpenTrack® permite a importação desses dados por

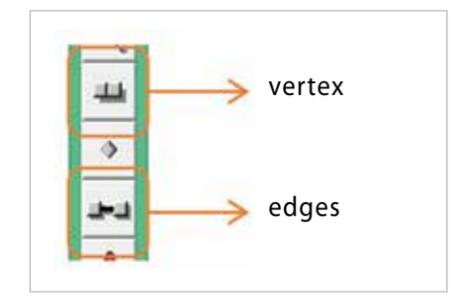


Figura 14 - Elementos vertex e edge

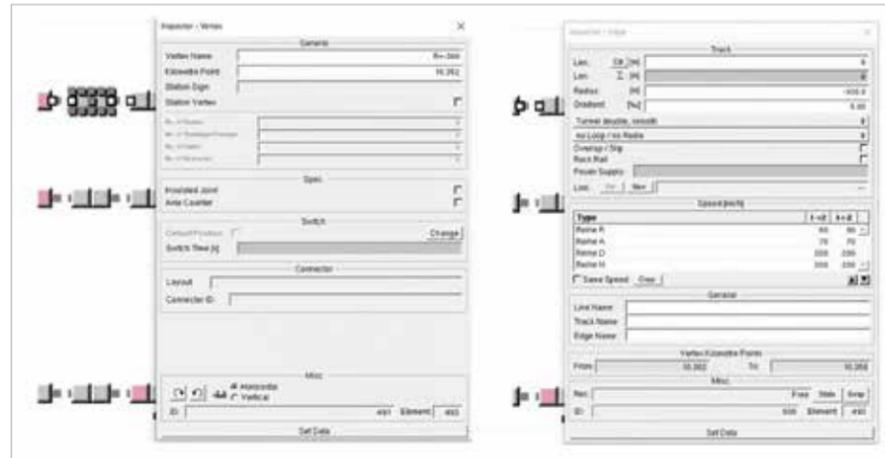


Figura 15 - Telas de configuração de vertex e edge

meio de tabelas Excel® e outros formatos semelhantes, como mostrado na figura 16. Para estudar uma linha de metrô, a inserção manual de dados de infraestrutura é demorada e propensa a erros. Isso motivou o desenvolvimento de processos e ferramentas mencionados neste artigo, que geram a planilha pronta para ser inserida no OpenTrack®.

Após a configuração dos dados de infraestrutura, são configuradas as Rotas (Routes), Caminhos (Paths) e Itinerários (Itineraries). Cada rota é um trajeto de um sinalizador a outro. No OpenTrack®, é necessário configurar sinalizadores nas estações, como pode ser observado nos dados de infraestrutura. Um caminho é um conjunto de rotas, e um itinerário pode ser composto de 1 ou mais caminhos.

São apresentadas, nas figuras 17, 18 e 19, as telas de configuração de rotas na figura 17, caminhos na figura 18, e itinerários na figura 19.

Na figura 19, observa-se que o itinerário utiliza apenas 1 caminho composto por 27 rotas. As configurações mencionadas até aqui, de Material Rodante, Tabela Horária e Itinerário, dão origem aos Courses, que é a combinação destes elementos. A figura 20 apresenta a tela de configuração de Courses.

Na configuração do Courses, é possível selecionar se será utilizada a lógica de reserva, liberação de rota e autorização de movimento dos trens pelo sistema de sinalização tipo CBTC ou bloco fixo. Após essas configurações, é possível executar a simulação. O simulador inicia a movimentação dos trens conforme as tabelas horárias de cada Courses, respeitando os limites de velocidade civil e as lógicas configuradas do sistema de sinalização.

A figura 21 apresenta a tela da simulação em execução, mostrando a posição de cada trem na via e a tela de mensagens.

Podemos simular diversos cenários

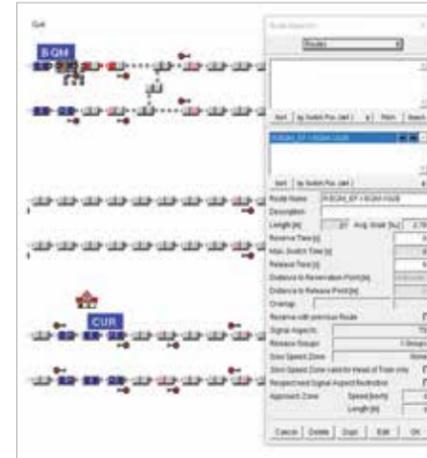


Figura 17 - Tela de configuração de rotas

operacionais conforme necessário. Exemplos de estudos incluem:

- Determinar o tempo de viagem entre estações e o perfil de velocidade;
- Determinar o menor intervalo de tempo sem interferência;
- Estudo de região de manobra isolada;
- Estudo de manobras alternativas, como análises intermediários e shuttles;
- Estudo de cenários degradados.

Após a simulação, são gerados arquivos de saída com informações sobre velocidade, aceleração, alarmes, tempos de percurso, distâncias percorridas, entre outros. Esses dados podem ser analisados por meio de gráficos no próprio software ou exportados para outras ferramentas, como o Excel®. Nas figuras 22 e 23, apresentamos exemplos de gráficos gerados no OpenTrack®.

O gráfico da figura 22 é chamado de Train Diagram e mostra a posição dos trens ao longo do tempo, res-

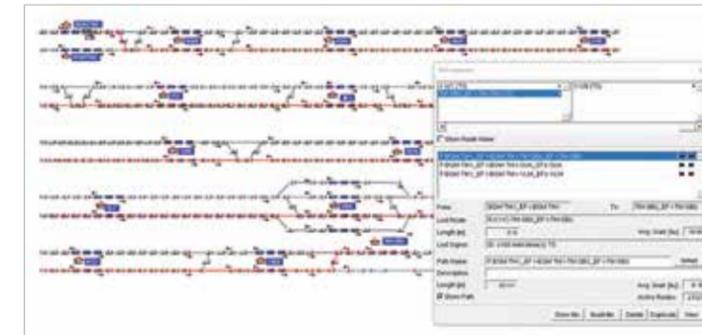


Figura 18 - Tela de configuração de caminhos

peito à tabela horária e interferências. Na figura 23, os gráficos exibem velocidade, raio de curvatura e inclinação em função da posição. A partir dessa análise e considerando a superelevação em cada curva, avaliamos se é possível reduzir ou eliminar a superelevação, com base na velocidade real do trem.

Outra ferramenta útil é o headway calculator, que automaticamente determina o menor intervalo entre dois trens sem interferência. Selecionamos o Course e os headways mínimo e máximo desejados para testar. O simulador libera a movimentação de dois trens com intervalos de headway em sucessivas iterações até encontrar o menor valor dentro do limite especificado, sem interferência no segundo trem. Na figura 24, mostramos a tela dessa ferramenta.

As informações das simulações são registradas em um relatório técnico, e utilizadas para tomada de decisão.

**RESULTADOS OBTIDOS**

**Maior Integração Interdisciplinar:**

Atualmente, com a adoção de projetos em BIM, a integração interdisciplinar em projetos complexos torna-se um dos pilares da qualidade do produto, somada a qualidade técnica das equipes envolvidas, e a fluidez das interações interdisciplina-

res. A metodologia adotada obteve muito sucesso nesse sentido possibilitando a conexão entre as pessoas ao longo de todo o ciclo de desenvolvimento do projeto, com a visão e a missão de uma construção compartilhada e integrada do projeto.

**Antecipação de Soluções:** A metodologia adotada permite antecipar soluções na fase de concepções, de forma que detalhes, que antes somente seriam claros em uma etapa de projeto Executivo, sejam, avaliadas e exercitadas durante o desenvolvimento do projeto Básico ou até mesmo antecipadamente já na fase do projeto Funcional e Anteprojeto de Engenharia. Isso agrega qualidade e maturidade à concepção do empreendimento. A retroalimentação da simulação cinemática permite mitigar eventuais gargalos de desempenho, permitindo o refinamento do projeto geométrico desde as etapas preliminares de concepção, resultando na maior eficiência operacional futura.

**Qualidade no Modelo de Geometria:**

Tanto a interação antecipada com o projeto de sinalização, quanto a necessidade de maior organização nos elementos geométricos do projeto de traçado, resultam em maior qualidade geral no produto Projeto Geométrico e atendendo as necessidades estudadas no projeto Funcional e Anteprojeto de Engenharia.

**Qualidade no Projeto de Sinalização:**

A simulação permite realizar etapas de verificação e validação mais cedo, e avaliar a interação e convergência dos projetos no atendimento das necessidades dos usuários finais, como headway, velocidade média e o tempo de viagem, manobras de trens e contingências. A descoberta antecipada de problemas permite correção com menor impacto no custo e cronograma.

**Qualidade no Projeto de Material Rodante:**

A simulação permite aferir de forma antecipada se as características de desempenho do material rodante estão adequadas e otimizadas em relação a missão proposta, bem como determinar com maior exatidão a quantidade de trens necessárias para atender determinado objetivo segundo as necessidades estudadas no projeto Funcional e Anteprojeto de Engenharia.

**Eficiência no empreendimento metroviário:**

Ao suprimir ou reduzir superelevações desnecessárias, aproximamos a capacidade da via permanente à necessidade operacional em termos de velocidade. Desta forma, evita-se o desgaste prematuro de trilhos e o desconforto aos passageiros, que ocorre quando há tráfego em baixa velocidade nos trechos em curvas com superelevação.

**Ganhos em produtividade e mitigação de erros de interpretação:**

O processo de extração dos dados de infraestrutura desde a fonte, no Civil3d® até o uso no simulador OpenTrack® foi otimizado. Isso resultou em maior agilidade, automação e menor interferência manual, reduzindo a possibilidade de erros nos dados de entrada por equívocos de interpretação ou digitação.

**COMENTÁRIOS FINAIS**

O novo processo instituído pelo projeto SINALVP trouxe ganhos significativos de prazo, otimização de recursos, assim como a antecipação de eventuais problemas futuros, os quais somente descobertos no processo anterior após a

No.	Metro [m]	Vertex	Vertex	Vertex km	Vertex km	Speed Up 1	Speed Up 2	Speed Up 3	Speed Up 4	Speed Down	Speed Down	Speed Down	Speed Down	Grad. [%]
1	0.000	V=100/R=0/E	V=100/R=0/E	0.000	0.000	60.00	50.00			100.00	90.00			0.00
2	68.000	PEF	PEF	0.068	0.068	60.00	50.00			60.00	50.00			0.00
3	136.000	EF 1-PEF	EF 1-PEF	0.136	0.136	100.00	90.00			60.00	50.00			0.00
4	278.000	V=78,5/R=30	V=78,5/R=30	0.278	0.278	78.50	68.50			100.00	90.00			0.00
5	372.000	V=100/R=0	V=100/R=0	0.372	0.372	100.00	90.00			78.50	68.50			0.00
6	485.000	V=78,5/R=30	V=78,5/R=30	0.485	0.485	78.50	68.50			100.00	90.00			0.00
7	662.000	V=100/R=0	V=100/R=0	0.662	0.662	100.00	90.00			78.50	68.50			0.00
8	762.000	EC 1-TGT	EC 1-TGT	0.762	0.762	60.00	50.00			100.00	90.00			0.00
9	830.000	TGT	TGT	0.830	0.830	60.00	50.00			60.00	50.00			0.00
10	898.000	EF 1-TGT	EF 1-TGT	0.898	0.898	100.00	90.00			60.00	50.00			0.00
11	1005.000	V=78,5/R=30	V=78,5/R=30	1.005	1.005	78.50	68.50			100.00	90.00			0.00
12	1613.000	V=100/R=0	V=100/R=0	1.613	1.613	100.00	90.00			78.50	68.50			0.00
13	1888.000	EC 2-PFR	EC 2-PFR	1.888	1.888	60.00	50.00			100.00	90.00			0.00
14	1956.000	PFR	PFR	1.956	1.956	60.00	50.00			60.00	50.00			0.00
15	2024.000	EF 2-PFR	EF 2-PFR	2.024	2.024	100.00	90.00			60.00	50.00			0.00

Figura 16 - Tela de importação de dados de Infraestrutura por planilha

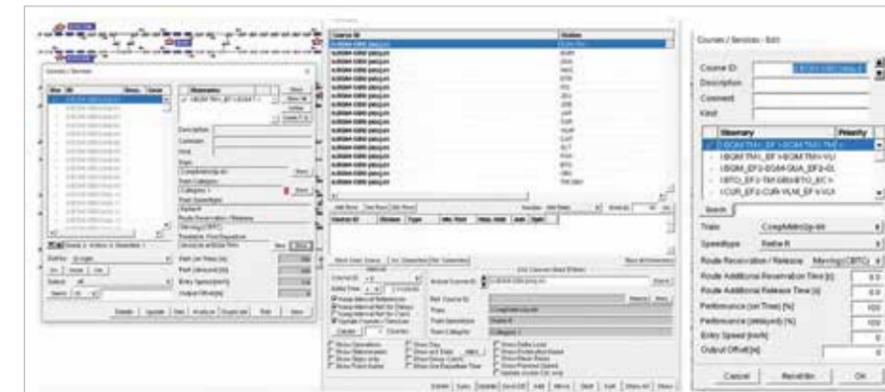


Figura 20 - Tela de configuração de Courses



Figura 21 - Tela da simulação em execução

materialização da obra, pois a modelagem de sistemas e as simulações nos permite fazer uma análise quantitativa e verificar a combinação das variáveis técnicas entre as disciplinas, analisando os resultados em fases de concepção do projeto onde, a mudança pode ser realizada sem grandes impactos, diferentemente de uma mudança no executivo, a qual tem impactos significativos no custo e no prazo de entrega da obra.

Diante dos resultados obtidos e dos ganhos já demonstrados durante o ciclo de desenvolvimento de novas Linhas de Metrô, o processo e as interações entre as equipes da

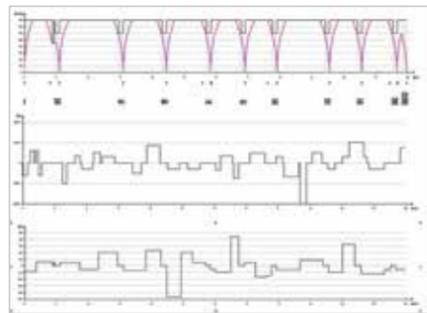


Figura 23 - Gráficos de velocidade, raio de curvatura e inclinação em função da posição

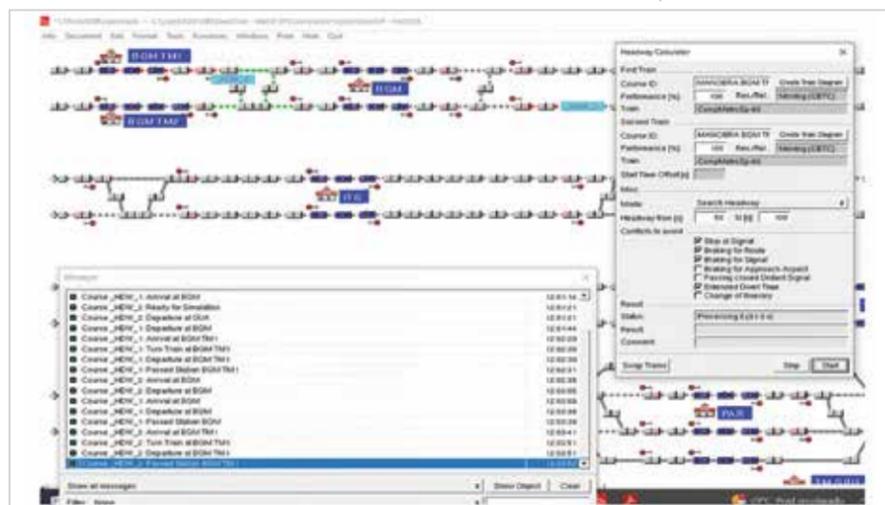


Figura 24 - Tela da ferramenta Headway Calculator

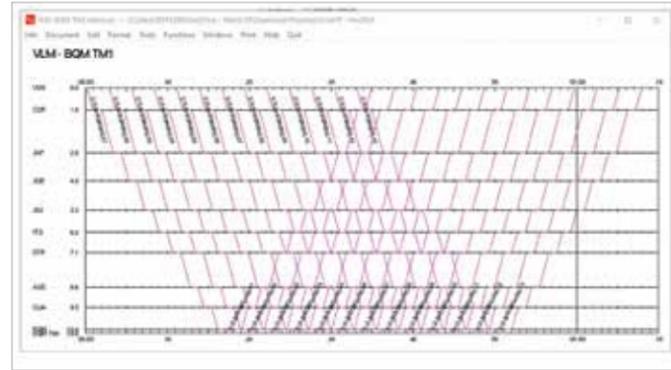


Figura 22 - Gráfico Train Diagram

Via Permanente, Sinalização e Material Rodante da Gerência de Projetos – GPR trouxe um valor significativo no projeto Básico agregando valor na qualidade do projeto além do fato de promover o compartilhamento de conhecimentos específicos entre os especialistas gerando uma integração interdisciplinar. A integração interdisciplinar agregada a modelagem e a simulação promove uma análise crítica de custo e benefícios de cada resultado, com o foco em minimizar o custo de investimento – CAPEX e maximizar o custo de operação e manutenção – OPEX.

**\* Gabriel Franzotti Camilo de Souza** é Engenheiro Eletricista com ênfase em Eletrônica, especialista em Eficiência Energética e pós-graduado em Sistemas Eletrônicos Embarcados. É certificado em Engenharia de Sistemas, ASEP, pelo INCOSE. É Engenheiro de Projetos de Sinalização, Controle Centralizado e Material Rodante no Metrô-SP. E-mail: gfcsoza@metrosp.com.br

**\*\* Ricardo Marques Ventura** é Engenheiro Civil, especialista em Visão Integrada de Sistema sobre Trilhos, especialista em Engenharia Ferroviária, e Engenheiro de Projetos de Via Permanente no Metrô-SP. E-mail: rmventura@metrosp.com.br

**\*\*\* Constantino Mandaloufas** é Engenheiro Eletricista com ênfase em Eletrônica pela Universidade do Vale do Paraíba e Engenheiro de Projetos de Sinalização, Controle Centralizado e Material Rodante no Metrô-SP. E-mail: cmandaloufas@metrosp.com.br

**\*\*\*\* Daniel Mozarte Saccomano** é Engenheiro Civil, especialista em Visão Integrada de Sistema sobre Trilhos, Certificado em gerenciamento de projetos pelo PMI (certificação PMP) e PSM-I Scrum Master (pela Scrum.org). Atua como Engenheiro de Projetos de Via Permanente e Gestão de Projetos no Metrô-SP. E-mail: daniel.sacomano@metrosp.com.br

**\*\*\*\*\* Felipe Copche** é Engenheiro Eletricista com ênfase em Eletrônica pela FEFAAP, pós-graduado em Tecnologia Metroferroviária pela Poli-USP, Supervisor para Projetos de Sinalização, Controle Centralizado e Material Rodante no Metrô-SP. Atualmente desenvolve estudos e atividades para o núcleo de inovação e padronização da Diretoria de Engenharia e Planejamento. E-mail: fcopche@metrosp.com.br

**\*\*\*\*\* Thiago Lopes dos Santos** é Técnico em Transportes Terrestres e Técnico de Projetos de Via Permanente no Metrô-SP. E-mail: tsantos@metrosp.com.br

**\*\*\*\*\* Rubens Navas Borloni** é Engenheiro Eletricista com ênfase em Eletrônica pela Universidade Paulista, pós-graduado em Tecnologia Metroferroviária pela Universidade de São Paulo, especialista em Engenharia Ferroviária aplicando o BIM e certificado em Gerenciamento de Projetos PMP pelo PMI, atualmente no cargo de Coordenador de Projetos de Sinalização, Controle Centralizado e Material Rodante no Metrô-SP. E-mail: rborloni@metrosp.com.br

**\*\*\*\*\* Adilson Roberto Takeuti** é Engenheiro Civil, Mestre e Doutor em Engenharia de Estruturas pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP), e Coordenador de Projetos de Via Permanente no Metrô-SP. E-mail: atakeuti@metrosp.com.br

# Simulação computacional em um projeto de estação de metrô: estudo do caso São Joaquim

FABIO MORI \* / EDUARDO MARCELLO CASADO\*\* / GERSON LUIZ MARTINES\*\*\*

## INTRODUÇÃO

Com o avanço da capacidade computacional e dos algoritmos de modelagem numérica, métodos computacionais têm se mostrado eficazes na simulação de eventos reais como situações de incêndio, e o CFD (Computational Fluid Dynamics), tem se destacado pelos bons resultados que têm sido apresentados. Simulações computacionais permitem, dentre outras coisas, reduzir o número de ensaios físicos que geral-

mente são demorados, caros e difíceis de se executar. Assim, as simulações computacionais permitem que diversos cenários sejam estudados previamente, de modo que um número menor, e mais assertivos, de ensaios reais sejam necessários.

A utilização do software CFD tem como objetivo demonstrar que o sistema de ventilação principal proposto nos projetos de uma estação de metrô possui a capacidade de assegurar condições favoráveis de evacuação dos usuários, garantindo um trajeto dentro dos limites toleráveis de sobrevivência do ser humano até um ponto seguro, dentro dos tempos determinados pela IT 43/2019 e 45/2019 – Instruções Técnicas do Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo.

## REFORMA E AMPLIAÇÃO DA ESTAÇÃO SÃO JOAQUIM DA LINHA 1-AZUL DO METRÔ PARA INTEGRAÇÃO COM A LINHA 6-LARANJA

A Estação São Joaquim da Linha 1-Azul foi inaugurada em 17 de fevereiro de 1975. Ela está localizada sob a Avenida Liberdade, no seu encontro com a Rua São Joaquim, e foi construída pelo método construtivo denominado “vala a céu aberto (VCA)”, com profundidade média de 13 metros.

O número médio de entradas nesta estação é de 52.000 usuários devido ao crescimento da região, verticalização das construções e diversas universidades atendidas por esta estação.

Como parte do projeto de expansão do Metrô de São Paulo, a Estação São Joaquim da Linha 1-Azul fará integração com a Linha 6-Laranja e com isso, a previsão da demanda de passageiros na estação aumentará para mais de 200.000 usuários por dia (figura 1).



Rede de METRÔ considerada:

- Linha 1 - Azul: Tucuruvi - Jabaquara
- Linha 2 - Verde: Vila Madalena - Vila Formosa
- Linha 3 - Vermelha: Palmeiras-Barra Funda - Corinthians-Itaquera
- Linha 4 - Amarela: Vila Sônia - Luz
- Linha 5 - Lilas: Capão Redondo - Chácara Klabin
- Linha 6 - Laranja: Brasilândia - São Joaquim
- Linha 15 - Prata: Itirapina - Jacu Péssegueiro
- Linha 17 - Ouro: Jabaquara/Congonhas - Morumbi (CPTM)

Rede de CPTM considerada:

- Linha 7 - Rubi: Francisco Morato - Barra Funda
- Linha 8 - Diamante: Itapervil - Júlio Prestes
- Linha 9 - Esmeralda: Virgínia - Osasco
- Linha 10 - Turquesa: Rio Grande da Serra - Luz
- Linha 11 - Coral: Estudantes - Barra Funda
- Linha 12 - Safira: Suzano - Brás
- Linha 13 - Jade: Aeroporto - Eng. Goulart

DADOS DE DEMANDA (pass./dia)	LINHA 1-AZUL	LINHA 6-LARANJA
DEMANDA MÉDIA DIA ÚTIL SETEMBRO/2019	52.971	-
ESTIMATIVA DE DEMANDA DIÁRIA 2017 (PLANO DE INVESTIMENTOS DEZ/11)	164.820	119.690
CENÁRIO DO CONTRATO DE CONCESSÃO		
ESTIMATIVA DE DEMANDA DIÁRIA 2025 (PLANO DE INVESTIMENTOS JUL/19)	203.180	156.650

Figura 1 - Dados de demanda Linha 1-Azul / Linha 6-Laranja

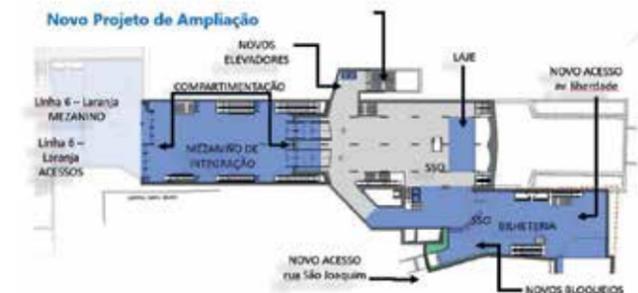


Figura 2 - Novo projeto de ampliação

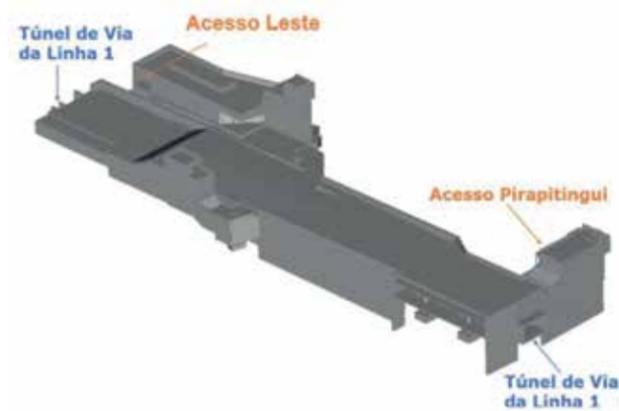


Figura 3 - Modelo 3D completo da Estação São Joaquim

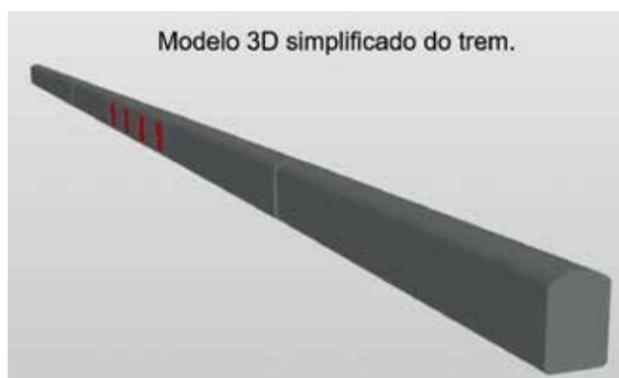


Figura 4 - Modelo 3D simplificado do trem

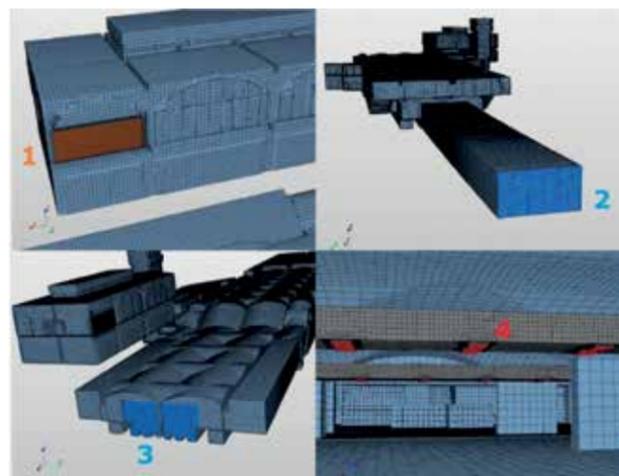


Figura 5 - Condições de contorno para o escoamento

Vergueiro, através de escavação por método invertido, mediante as devidas medidas de desvio de tráfego em áreas de escavação sob o sistema viário. Será criado um novo pavilhão que estabelece a conexão com o corpo da estação da Linha 6-Laranja. Ampliam-se, assim, as áreas de conexão por circulação vertical entre as plataformas e o mezanino, por intermédio de escadas novas a serem distribuídas ao longo desse novo pavilhão (figura 2).

#### INSTRUÇÕES TÉCNICAS DO CORPO DE BOMBEIROS

A IT 43 trata de medidas para as edificações existentes a serem adaptadas visando atender às condições necessárias de segurança contra incêndio. Assim, devido as modificações da Estação São Joaquim do Metrô Linha 1-Azul, por esta instrução técnica, será exigido uma readequação do sistema de Ventilação Principal de extração de fumaça.

O controle de fumaça seguirá as premissas da IT 45, que estabelece as medidas de segurança de proteção contra incêndios destinadas ao sistema de transporte de passageiros sobre trilhos, o que enquadra o sistema metroviário.

Ou seja, o sistema de ventilação que foi concebido em 1975 apenas para fins de conforto térmico e higienização do ar em condições normais, agora deve atender toda a área ampliada com uma nova função em caso de emergência para extração de fumaça.

Devido às particularidades da arquitetura

da estação, foi necessário um programa CFD que comprovasse o dimensionamento do sistema de ventilação principal e necessidades com a arquitetura proposta da modernização, para que o controle de fumaça se mostrasse eficaz em toda a rota de fuga no tempo previsto na IT 45.

#### SIMULAÇÃO CFD DO PROJETO DE AMPLIAÇÃO DA ESTAÇÃO SÃO JOAQUIM DA LINHA 1-AZUL DO METRÔ

No projeto de ampliação da Estação São Joaquim do Metrô, Linha 1-Azul, foi realizada uma simulação computacional via CFD em caso de incêndio em um trem parado na plataforma.

O modelo desenvolvido em BIM (Building Information Modeling), da Estação São Joaquim da Linha 1-Azul, possui três níveis: a região das plataformas 1 e 2, onde ocorrem os embarques e desembarques nos carros dos trens, sendo a plataforma 2 definida como foco do incêndio; um mezanino, que se situa acima das plataformas e deve permanecer relativamente seguro durante o incêndio; e os acessos da estação, acima do mezanino, onde há abertura para o exterior.

O principal objetivo do estudo é confirmar que a zona do mezanino permanece livre de fumaça dentro dos 6 minutos do início do incêndio (cerca de dois minutos para sair da plataforma e de quatro minutos para chegar até a área de relativa segurança - mezanino), se enquadrando dentro do limite de cálculo de rota de fuga. Porém, também é de interesse compreender a dinâmica do escoamento de ar e da transferência de calor no interior da estação, a fim de identificar possíveis regiões de elevadas temperaturas, altas velocidades do ar ou alta concentração de fumaça e produtos tóxicos do processo de combustão.

#### Simulação

Esse sistema é composto por dois ventiladores de exaustão adjacentes à estação, um ventilador de exaustão nas plataformas, e ventiladores de insuflação nas plataformas e no mezanino da estação.

Na simulação os ventiladores nas plataformas permanecem desligados, logo não são incluídos no modelo. O exaustor é mantido desligado por dois motivos: não puxar a fumaça para baixo, evitando impacto sobre os passageiros saindo do trem, e para dar preferência ao encaminhamento da fumaça para os exaustores adjacentes à

Tabela 1 - Composição básica dos equipamentos

UV	Estação / VSEs	Composição Básica dos Equipamentos
JQM	Estação São Joaquim	- 02 ventiladores axiais com reversibilidade de 100% para insuflação de ar nas plataformas com vazão unitária de 45 m³/s; - 01 ventilador axial sem reversibilidade para extração de ar sob as plataformas com vazão de 90 m³/s (45 m³ por plataforma); - 02 ventiladores axiais com reversibilidade mínima de 60% para insuflação de ar sobre os mezaninos com vazão unitária de 12 m³/s.
	VSE - 4.1 UV JQM (reserva)	- 02 ventiladores axiais com reversibilidade de 100% para exaustão de ar dos túneis com vazão unitária de 90 m³/s.
	VSE - 4.2 UV JQM (principal)	- 02 ventiladores axiais com reversibilidade de 100% para exaustão de ar dos túneis com vazão unitária de 90 m³/s.

estação. Além disso, como o ventilador é único, a exaustão sob as plataformas contribuiria para perturbar o estrato de fumaça. Os insufladores das plataformas, por sua vez, são mantidos desligados pois, podem impulsionar a fumaça em direção às portas da plataforma e do trem, de encontro aos passageiros, além de reduzir a vazão de ar através das escadas.

A simulação necessária para o cumprimento do objetivo principal também fornece informação suficiente para que os seguintes objetivos secundários sejam alcançados:

- Determinar as distribuições de temperatura, velocidade do ar, e concentração de produtos de combustão em toda a área interna da estação ao longo dos primeiros seis minutos de incêndio.
- Identificar regiões críticas em termos de temperatura e concentração de produtos de combustão para os passageiros, de acordo com os limites impostos pela IT 45.
- Identificar regiões de alta velocidade do ar, assim como de baixa visibilidade.

Devido ao objetivo principal de identificar a concentração de fumaça no mezanino após seis minutos de incêndio, a simulação foi realizada em regime transiente (figuras 3 e 4).

#### Geração de malhas - Simplificação do modelo

Um software CFD é capaz de simular numericamente o comportamento de fluidos com base nas leis da termodinâmica, ou seja, permite a visualização em três dimensões (3D) do escoamento, velocidade, transferência de calor, pressão e outras características de diversos fluidos como ar

ou água. Com esse software é possível visualizar diversos cenários de forma antecipada e comprovar se os resultados estarão conforme previstos. Em geral, os modelos 3D destinados à construção ou fabricação possuem detalhes que são irrelevantes para a simulação e que podem inviabilizar a modelagem numérica. Pequenas aberturas, interferências do tipo sobreposição, parafusos, degraus de escadas, lixeiras e outros pequenos objetos são itens indesejados em análise deste tipo.

Para viabilizar a simulação e reduzir o tempo de processamento é necessária a simplificação do modelo da estação desenvolvido para as demais disciplinas (arquitetura, estruturas etc.), e devem ser retirados os detalhes que não influenciam no cálculo, ou seja, para o programa CFD resolver o modelo matemático que des-

creve o transporte de ar, calor e fumaça, o volume de ar total dentro da estação, precisa ser dividido, em uma malha computacional composta por volumes menores, cujas dimensões determinam a resolução da simulação. Embora um número elevado de volumes implique em um maior custo computacional, procura-se escolher dimensões pequenas o suficiente para capturar todos os fenômenos relevantes com resolução adequada.

#### Condições de contorno

O movimento do ar por convecção natural é induzido por diferenças de temperatura, e, portanto, depende das condições de contorno térmicas definidas. O movimento do ar por convecção forçada, no entanto, é causado pelo acionamento do Sistema de Ventilação Principal, que ocorre já no início da simulação, e pela abertura ao exterior no acesso leste à estação.

Como mencionado anteriormente, os ventiladores na região das plataformas em si não são acionados durante o incêndio, e apenas os ventiladores de exaustão nos poços de ventilação adjacentes, e os ventiladores de insuflamento, no mezanino, permanecem operantes. Sendo assim, as condições de contorno para o escoamento são aplicadas apenas na abertura de entrada do acesso leste à estação, no duto de insuflamento do mezanino, e nas extremidades do túnel de via da Linha 1-Azul, representando os exaustores adjacentes. A figura 5 apresenta as fronteiras que correspondem a essas condições de contorno.

Nas imagens da figura 5, a abertura do acesso leste à estação está identificada com o número "1" e em laranja. Nessa fronteira é imposta uma pressão de referência, nesse caso igual à atmosférica. Para a turbulência,

Tabela 2 - Exposição máxima por monóxido de carbono (CO) - IT 45

Tempo min	Concentração - Limite de CO mg/m³	
	30%	50%
4	1954	3257
6	1303	2171
10	782	1303
15	521	868
30	261	434
30	130	217
240	32	54

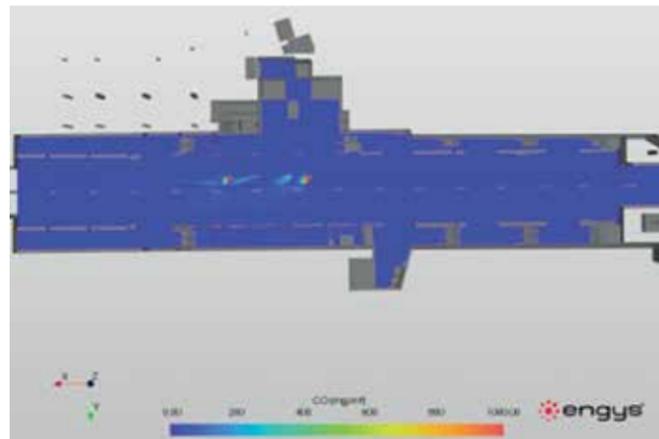


Figura 6 - Distribuição de CO nas plataformas após dois minutos

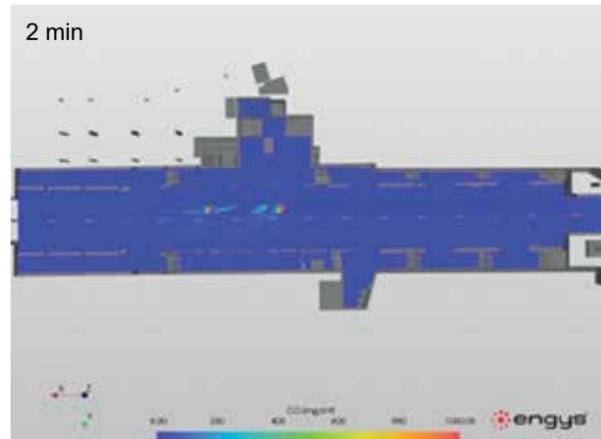


Figura 7 - Distribuição de CO2 nas plataformas após dois minutos

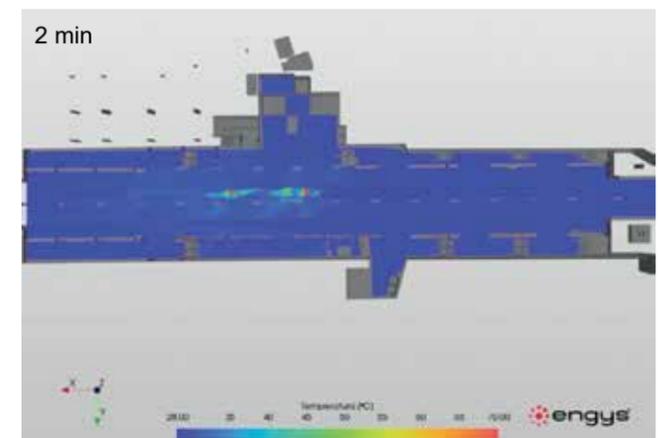


Figura 8 - Distribuição de temperatura nas plataformas após dois minutos

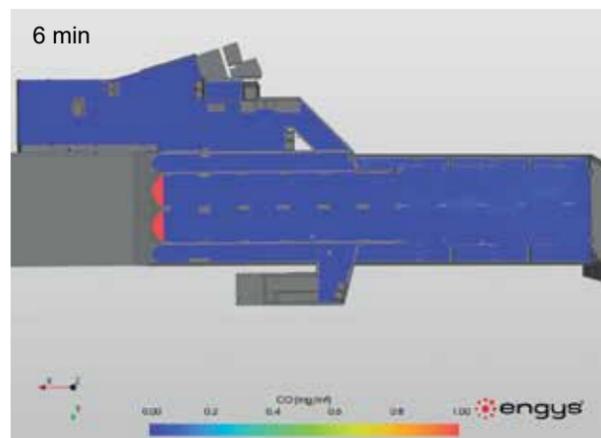


Figura 9 - Distribuição de CO no mezanino

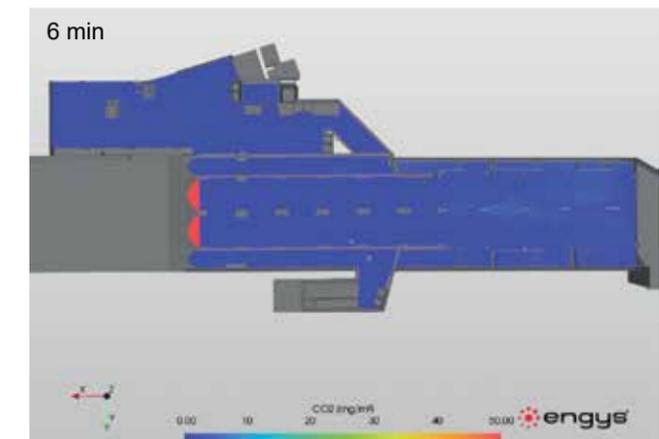


Figura 10 - Distribuição de CO2 no mezanino

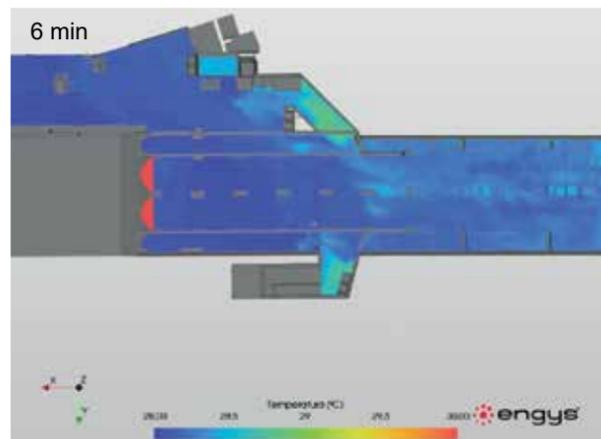


Figura 11 - Distribuição de temperatura no mezanino

foi empregado uma intensidade de 5% e um comprimento característico de 1cm para todo o ar entrando no domínio por escoamento reverso.

As fronteiras identificadas com os números "2" e "3", em azul, representam os exaus-

tores nos poços de ventilação adjacentes (VSE's). Nessas fronteiras é imposta uma condição de vazão constante para fora do domínio, com um valor equivalente a  $90\text{m}^3/\text{s}$  para cada lado.

Finalmente, as fronteiras em vermelho,

identificadas com o número "4", são os difusores de ar dos dutos de insuflamento do mezanino. Neles é imposta uma condição de vazão constante para dentro do domínio, com um valor total equivalente a  $24\text{m}^3/\text{s}$ , igualmente distribuído.

**Tabela 3 - Tempo máximo de exposição à temperatura – IT 45**

Temperatura de Exposição °C	Máximo tempo sem incapacitação Min
80	3,8
75	4,7
70	6,0
65	7,7
60	10,1
55	13,6
50	18,8
45	26,9
40	40,2

Em todas as demais fronteiras são impostas funções de parede e condições de não-deslizamento, garantindo que a velocidade do escoamento seja zero na interface entre o ar e as superfícies sólidas. A exceção é a fronteira das portas do carro incendiado, onde é aplicada uma condição de deslizamento.

O incêndio no trem é modelado por uma taxa de transferência de calor imposta nas portas do carro central. A transferência de calor não é modelada nas paredes internas da estação.

Considera-se que o processo de evacuação dos passageiros e o acionamento do Sistema de Ventilação Principal iniciam assim que o incêndio começa. Sendo assim, é necessário modelar o período inicial transiente, onde a taxa de liberação de calor  $Q[\text{kW}]$  oriunda do incêndio vai gradualmente aumentando com o tempo até atingir seu valor máximo de 20MW.

Na abertura do acesso leste à estação, e nos difusores de ar dos dutos de insuflamento do mezanino, a concentração de todos os escalares passivos no ar que adentra o domínio é considerada zero. Nas paredes do trem e da estação é imposta uma condição de gradiente nulo.

A tabela 1 apresenta a composição básica dos equipamentos com vazões.

### RESULTADOS OBTIDOS NA SIMULAÇÃO

Dos resultados obtidos, pode-se afirmar que não foi verificada fumaça no mezanino após seis minutos de simulação, sendo a concentração máxima em torno de  $0,5\text{mg}/\text{m}^3$ , que representa um valor

baixo o suficiente para que não haja nenhuma alteração na visibilidade local. As concentrações de monóxido de carbono (CO) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) nessa região também se encontram bastante abaixo do estipulado pela IT 45, sendo os valores máximos obtidos através da simulação em torno de  $0,1\text{mg}/\text{m}^3$  (CO) e  $4\text{mg}/\text{m}^3$  (CO<sub>2</sub>), ver tabela 2.

Na figura 6 podemos verificar a distribuição de CO nas

plataformas após dois minutos.

Na figura 7 podemos verificar a distribuição de CO<sub>2</sub> nas plataformas após dois minutos.

A temperatura máxima no mezanino também não excedeu o valor de 30°C em nenhum ponto, muito abaixo dos 70°C determinados como máximos para um tempo de exposição de seis minutos pela mesma instrução técnica, ver tabela 3.

Não foi identificada variação na temperatura ambiente ou na concentração de produtos de combustão no acesso da estação durante os seis minutos de simulação.

Na figura 8 temos a distribuição de temperatura nas plataformas após dois minutos.

Finalmente nas plataformas onde o incêndio ocorre, são observadas alterações, como esperado. Consta-se que a região da plataforma 2 adjacente ao carro imediatamente atrás do incendiado é a mais diretamente afetada, e que a temperatura nessa região se aproxima dos 50°C após seis minutos. De forma similar, a concentração de CO alcança o valor máximo de  $350\text{mg}/\text{m}^3$ , e a concentração de fumaça aponta para redução de visibilidade. No entanto, vale ressaltar que esses valores ainda se encontram abaixo das estipuladas pela IT 45 para pessoas mais sensíveis. Além disso, a redução de visibilidade é significativa apenas após dois minutos de incêndio, e a zona ao redor da escada para o mezanino mais próxima a este carro permanece com baixas temperaturas e concentrações de produtos de combustão ao longo de toda a simulação. No geral, as regiões ao redor de todas as escadas permanecem em boas condições.

Na figura 9 temos a distribuição de CO

no mezanino.

Na figura 10 temos a distribuição de CO<sub>2</sub> no mezanino.

Na figura 11 temos a distribuição de temperatura no mezanino.

### CONCLUSÃO

A simulação atingiu os resultados esperados, em que temos as condições de sustentabilidade da plataforma (temperatura, CO e CO<sub>2</sub>) mantidas dentro dos limites toleráveis, considerando o tempo de rota de fuga previsto (2 minutos).

A região do mezanino permaneceu livre de fumaça – CO e CO<sub>2</sub> – durante os seis minutos de simulação.

A temperatura no mezanino também não atinge valores que possam apresentar um risco para os passageiros durante os seis minutos de simulação.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1]COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO - METRÔ. Relatório Técnico da Microsimulação de Fluxo de Passageiros do Projeto Básico da Estação São Joaquim Linha 1-Azul - RT-1.04.04.00/4B2-1001 REV. 0 - São Paulo – 2022.

[2]COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO - METRÔ. Relatório Técnico e Simulação do Fluxo de Ar do Sistema de Ventilação Principal da Estação e Túnel Lindeiros – CFD Estação São Joaquim – Linha 1-Azul - RT-1.84.01.LX/400-1001 REV. 0 – São Paulo – 2022.

[3]COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO - METRÔ. Adequação da Estação São Joaquim – Linha 1-Azul: Termo de Referência com Diretrizes para o Projeto Básico – RT -1.04.04.00/1A9-001 REV. A.

[4]CORPO DE BOMBEIROS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Instrução Técnica N° 43 e 45.

\* **Fabio Mori** é Engenheiro Eletricista da Coordenadoria de Sistemas Elétricos e Eletromecânicos do Metrô-SP  
E-mail: fmori@metrosp.com.br

\*\* **Eduardo Marcelo Casado** é Engenheiro Eletricista e Coordenador de Sistemas Elétricos e Eletromecânicos do Metrô-SP  
E-mail: ecasado@metrosp.com.br

\*\*\* **Gerson Luiz Martines** é Engenheiro Eletricista e Assessor do Departamento de Projeto de Sistemas do Metrô-SP  
E-mail: gmartines@metrosp.com.br



# Desafios na modelagem tridimensional do gabarito de livre passagem dos trens do Metrô de São Paulo

RICARDO MARQUES VENTURA\* / DANIEL MOZARTE SACCOMANO\*\* / THIAGO LOPES DOS SANTOS\*\*\*

**GABARITO DE LIVRE PASSAGEM**  
**G**abarito de Livre Passagem do Trem (GLPT) é o espaço a ser mantido livre ao longo da via permanente, equivalente à máxima posição (dimensão) do trem em movimento. Consiste em conjunto de regras que incluem uma seção de construção de um veículo metroviário (gabarrito estático), suas características construtivas, e regras de cálculo associadas, que permitem a definição das dimensões externas do trem em movimento.

Nenhuma estrutura ou equipamento a ser instalado à margem da via permanente pode interferir ao GLPT, o que caracterizaria risco de colisão com o veículo trafegando na via permanente.

É também componente essencial para o projeto de túneis, influenciando ou limitando suas dimensões e consequentes custos. O gabarito determina o posicionamento limite entre o espaço provável de ser ocupado pelo trem em movimento, estabelecendo as distâncias transversais entre trens (entrevias), limites de posicionamento das instalações fixas em geral (obras de arte e ou equipamentos), plataformas e passarelas de emergência (figura 1).

## INTERFACES

A construção de túneis é frequente nos projetos de expansão da rede metroferroviária e, o

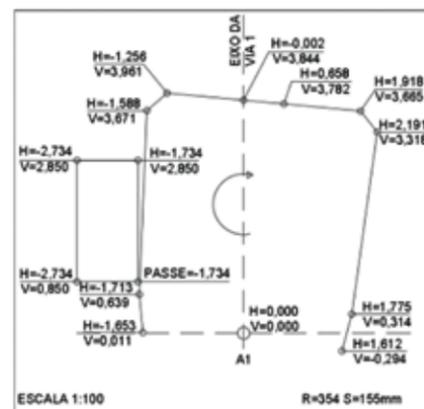


Figura 1 - Seção de GLPT

tamanho dessas estruturas está intimamente ligado à necessidade de abrigar diversos subsistemas que compõem um sistema de Metrô.

O racional planejamento dessa ocupação como etapa de concepção e nível de precisão adequado é fundamental para caracterizar o complexo de obras e serviços dessas unidades construtivas. Além disso, assegura sua viabilidade técnica, permitindo a adequada avaliação do custo da obra.

Tal planejamento consiste na integração multidisciplinar, considerando a variedade de especialidades técnicas que deverão conviver no espaço interno dos túneis, estabelecendo um acordo de interfaces, materializadas em projeto como áreas e volumes de ocupação (figura 2).

Das diversas interfaces que compõem a ocupação de um túnel metroferroviário, podemos destacar as que obrigatoriamente dependem do GLPT ao longo de sua extensão:

**a) Rotas de Fuga:** Ao longo de toda via permanente é presumível (e obrigatório por norma), que exista uma estrutura para permitir evacuação de trens. A concepção de tais rotas de fuga, estabelece o caminho seguro para evacuação dos túneis, onde estruturas civis (passarelas), deverão ser construídas, e que devem manter seu percurso totalmente livre de obstáculos.

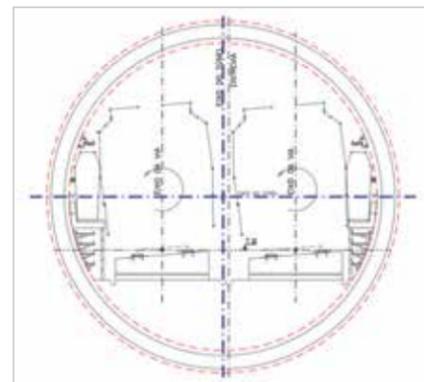


Figura 2 - Seção típica de ocupação de um túnel metroferroviário, com previsão de ocupação de vários subsistemas e suas interfaces

A prática de projeto do Metrô, consoante a NBR 16484, adota forma geométrica específica para garantir o espaço a ser mantido desobstruído.

Para a locação precisa do polígono que compreende a rota de fuga do usuário, o projetista deve considerar sua aproximação ao perfil do GLPT, até que se "toquem", obtendo, portanto, os afastamentos horizontais e verticais em relação ao eixo da via (figura 3).

**b) Passarela de emergência e serviço:** No caso das passarelas de emergência e de serviços, essa interface (GLPT & passarelas), é prevista, não só com o objetivo de evitar colisão, mas de possibilitar a maior aproximação possível ao perfil do gabarito, viabilizando tanto quanto possível a acessibilidade, e a economicidade no dimensionamento das estruturas civis (ressaltando-se os túneis).

A estrutura que formará o piso da passarela de emergência respeitará a locação prevista, portanto, no projeto do GLPT. Em geral, a locação da borda obedece a uma altura constante em relação ao topo do boleto mais baixo, e um afastamento do GLPT equivalente à tolerância construtiva adotada (figura 4).

**c) Terceiro Trilho e Catenária Rígida (pantógrafo):** Quando tratamos da interface entre o GLPT e os sistemas de alimentação elétrica nos metrôs, como o Metrô-SP, nos deparamos com esses principais tipos. No caso da interface com o Terceiro Trilho, o foco é garantir a reserva da área de instalação dos suportes isolantes, posicionados lateralmente aos truques dos carros, ao longo da via permanente. Essa configuração visa acomodar a barra de energia e toda a estrutura de alimentação elétrica, mantendo uma constante inclinação e afastamento para acompanhar a dinâmica da superelevação da via permanente.

Por outro lado, na interface com a Cate-

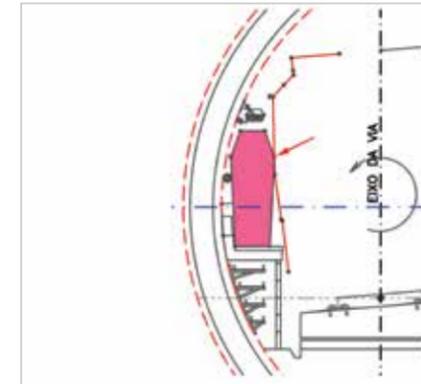


Figura 3 - Interface GLPT & rota de fuga

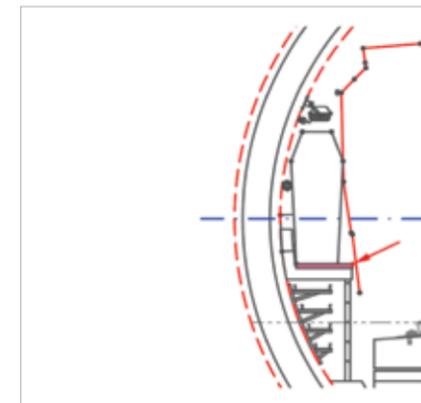


Figura 4 - Interface GLPT vs passarelas

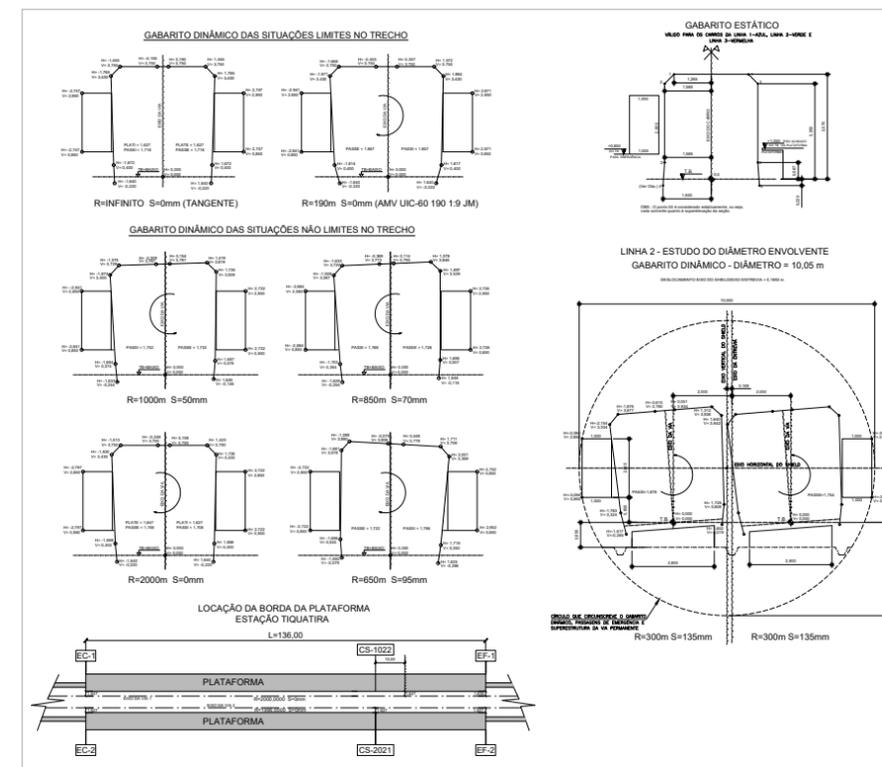


Figura 5 - Seções de GLPT conforme a geometria de via (seções tipificadas)

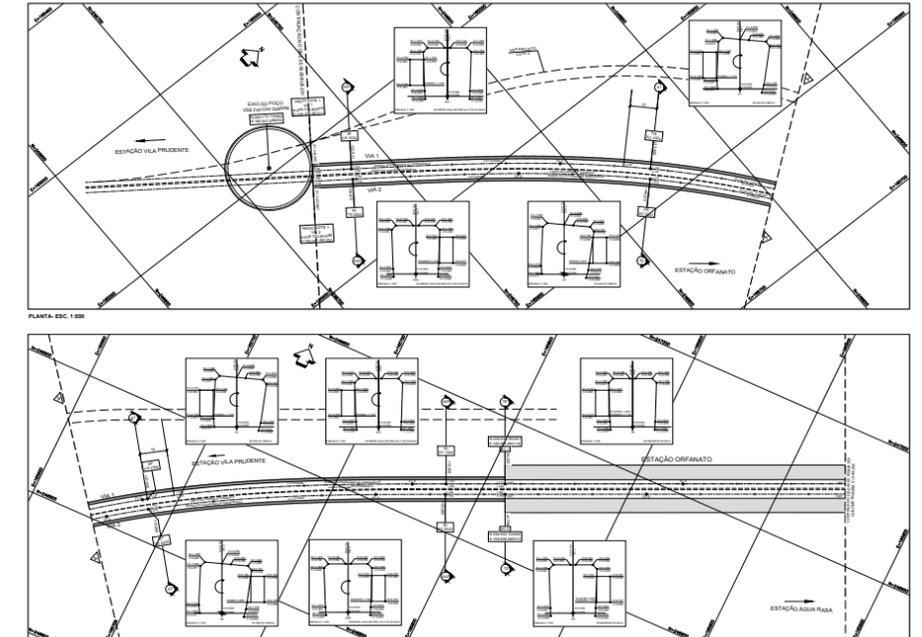


Figura 6 - Envoltórias longitudinais de GLPT no projeto executivo

nária, a prioridade é reservar o espaço para a instalação do equipamento de alimentação elétrica, assegurando a livre passagem do pantógrafo, já que neste caso a energia é captada no teto do trem, como é mais comum nas ferrovias. Para isso, o gabarito de ocupação do pantógrafo é associado às dimensões forneci-

das pelo GLPT da caixa do carro. Essa interface é caracterizada pelas alturas de trabalho do equipamento em relação ao topo do boleto e à altura do fio de contato da catenária rígida, acompanhando a superelevação da via.

## NÍVEIS DE DETALHAMENTO

Tradicionalmente, o cálculo do gabarito para os projetos básicos, se restringia apenas ao estudo das seções mais críticas da linha em questão, a fim de se ter uma referência para a ocupação de túneis. Com o passar do tempo, com o advento das portas nas plataformas das estações, foi necessário acrescentar um cálculo demonstrativo da aplicação do gabarito na região das estações, caracterizando as condições geométricas previstas para cada estação.

Com o advento do BIM, notou-se uma vantagem desde a concepção no projeto básico, apresentar as informações de ocupação do GLPT, para colaborar na construção digital das estações, fornecendo informações sobre os espaços que devem ser reservados no projeto das estações.

A transição da representação bidimensional para a tridimensional, requerida no contexto de projetos em BIM, exige dos projetos de via permanente um maior detalhamento no projeto básico, quando comparado ao processo tradicional (figura 5).

No projeto básico, indicavam-se seções representativas (envoltórias transversais do GLPT) das geometrias ocorrentes ao longo do traçado, que se bastavam para auxiliar no dimensionamento das unidades construtivas (túneis, poços etc.).

Na etapa do projeto executivo, o detalha-

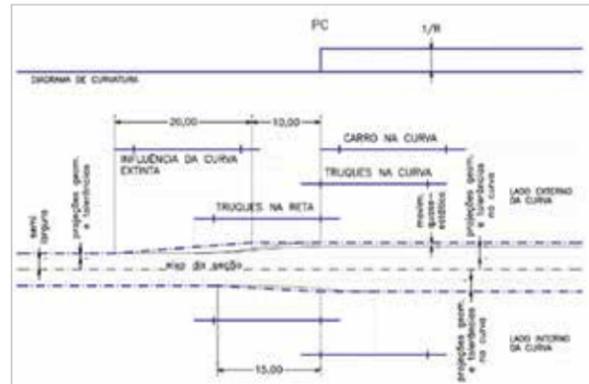


Figura 7 - Envoltórias longitudinais de GLPT em elementos de layout variável

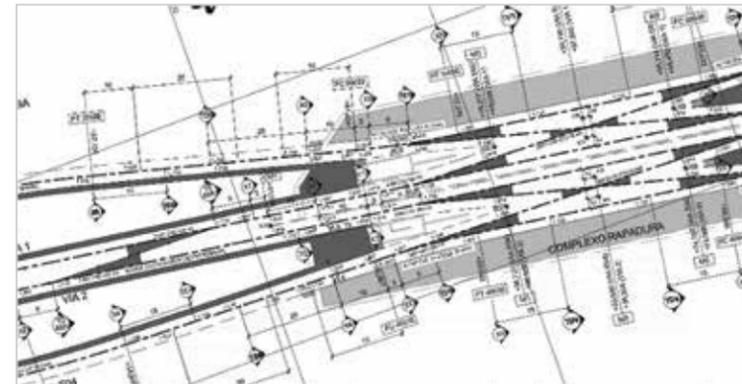


Figura 8 - Envoltórias longitudinais de GLPT em trechos de geometria complexa

mento consiste em associar as seções de GLPT (transversais) com a geometria longitudinal, resultando nas descritas "Envoltórias Longitudinais do GLPT" (figura 6).

Envoltórias Longitudinais do GLPT, em outras palavras, é o cálculo do gabarito de forma contínua (linear), em elementos geométricos de layout variável. Uma transição de layout consiste, usualmente, ou de uma abrupta variação de curvatura, no caso de uma reta seguida de uma circular, ou de uma variação progressiva de curvatura, no caso de haver uma curva de transição entre a reta e a circular (figura 7).

Essas variações geométricas implicam em influências no comportamento dinâmico do GLPT, cujo detalhamento matemático pode ser de complexa solução, principalmente em trechos muito sinuosos de via, em curvas reversas e na proximidade de AMVs, pois as influências do comportamento dinâmico de um trecho se sobrepõem ao outro, fazendo-se necessárias considerações e simplificações a favor da segurança das envoltórias longitudinais (figura 8).

A Modelagem Tridimensional exige, portanto, a antecipação desse detalhamento, trazendo maior complexidade a etapas preliminares de projeto, mas antevendo com precisão futuros problemas de interfaces (figura 9).

**MODELAGEM TRIDIMENSIONAL**

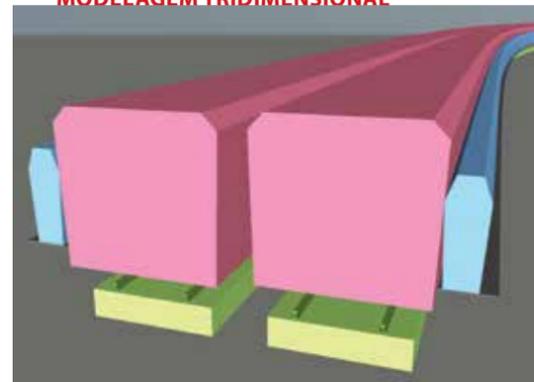


Figura 9 - Modelo tridimensional do GLPT e suas interfaces

A modelagem tridimensional é realizada no software Autodesk Civil3d®, e requer configurações e padrões específicos para melhor resultado nos processos BIM.

Portanto, a modelagem tem como pré-requisito o Alinhamento Horizontal (planta), Vertical (perfil), e Transversal (superelevações) desenvolvidos no Civil3d. Usualmente já se tem esses elementos no Modelo de Traçado Geométrico (figura 10).

A partir do traçado geométrico deve-se ter calculadas as seções de GLPT (envoltórias transversais) a cada geometria ocorrente (a cada Raio/Superelevação), (figura 11).

O cálculo das seções leva em conta dezenas de parâmetros específicos, tanto do material rodante, quanto da via permanente, e é baseado nas metodologias descritas nas normas da série EN15273 (CEN). O Metrô de São Paulo consolidou a metodologia em Instrução de Projeto própria (IP-9.00.00.00/3U9-004), associando seus próprios requisitos de acessibilidade, instalação, operação, e interface com frota atuais e futuras.

O cálculo também deve detalhar o posicionamento (afastamento em relação ao eixo da via) de rotas de fuga, bordas de plataformas e bordas de passarelas de emergência, atendendo a critérios de segurança e acessibilidade (normativas nacionais).

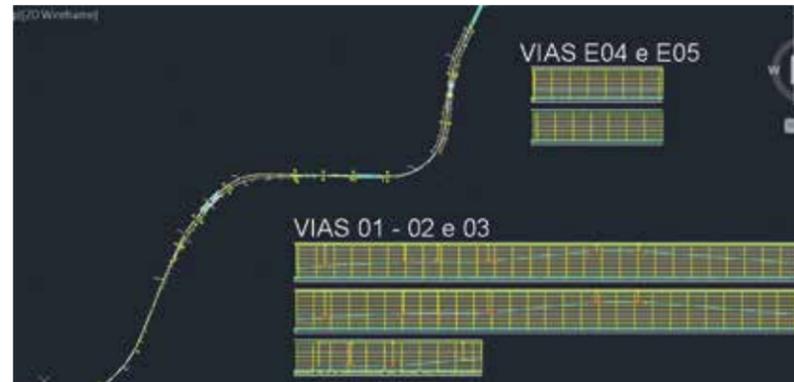


Figura 10 - Modelo de traçado geométrico no Civil3d®

Também é necessário já se ter a concepção das envoltórias longitudinais, preferencialmente já marcadas no alinhamento do Civil3d, para permitir a demarcação dos trechos (Regions) do gabarito (figura 12).

Enfim, de posse dos dados acima, considerados "de entrada", precisamos um recurso específico no Civil3d que permita a transformação dessa série de informações em um sólido tridimensional. Esse recurso é o Subassemble, criado no Autodesk Subassemble Composer® (figura 13).

O resultado é a criação do Subassemble (submontagem), que, em essência permite a criação de uma semi-seção de larguras variáveis conforme o alinhamento longitudinal, descritas isoladamente para o lado esquerdo e direito (figura 14).

O subassemble também registra os afastamentos desejados das interfaces já citadas, como rota de fuga e passagem de emergência.

Seu funcionamento, programado no Subassemble Composer, é basicamente uma interpolação linear dos valores de gabarito descritos como "Iniciais" e "Finais", cuja extensão é descrita nos elementos de Regions dos Corredores do Civil 3d, que replicam as envoltórias longitudinais

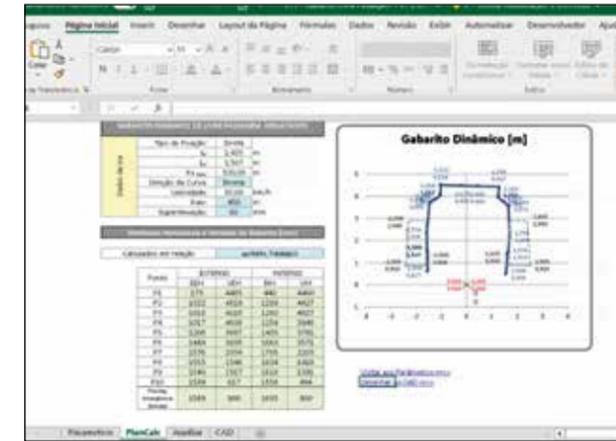


Figura 11 - Planilha auxiliar (.xls) para o cálculo das seções tipificadas

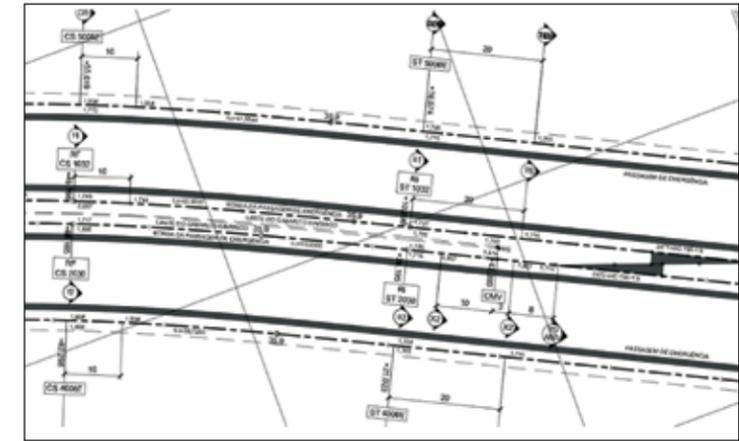


Figura 12 - Envoltórias longitudinais mapeadas no modelo do Civil3d

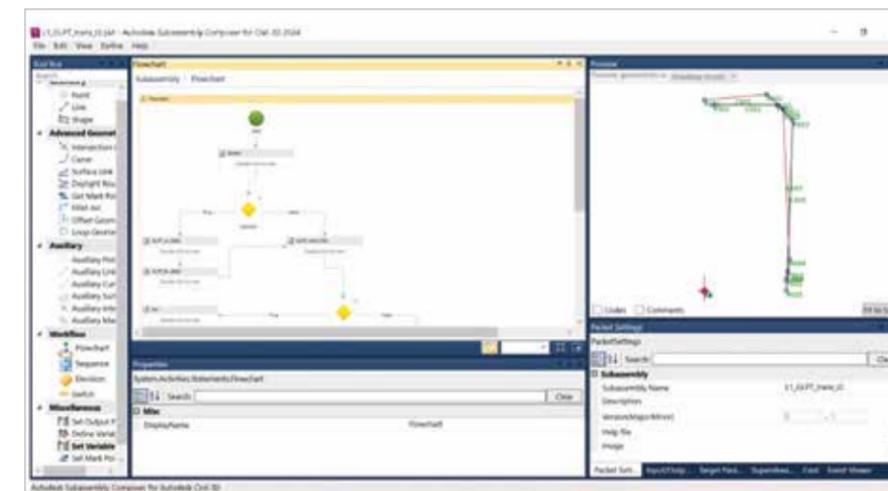


Figura 13 - Modelagem do Subassemble no Subassemble Composer

previamente descritas (figura 15, 16 e 17).

O processo é trabalhoso, e requer especial atenção na organização das nomenclaturas das seções e demais elementos da Region, permitindo assim tanto eventuais atualizações no modelo, quanto sua análise.

A partir dos modelos de corredores prontos, é possível sua exportação para compatibilização com outros mode-

los, permitindo o adequado fluxo nas melhores práticas de BIM (figura 18).

**DIFICULDADES E BENEFÍCIOS OBTIDOS**

Apesar da existência de alguns (poucos) softwares com a capacidade de cálculo automatizado do GLPT, não temos o conhecimento de nenhum, com a profundidade de detalhes exigido para a restrita ocupação em túneis. Portanto, não é possível (ou

razoável) se lançar mão de simplificações no projeto, que incorreriam em grande aumento de custos de implantação (aumento da seção dos túneis, por exemplo).

Assim sendo, o tratamento matemático e a localização espacial das seções ao longo da via (Corredores do Civil3d), é, sem dúvida, bastante trabalhosa, e, de longe, a principal dificuldade na modelagem tridimensional do GLPT.

Outra dificuldade é o limitado acesso às informações geométricas do alinhamento do Civil3d®, pois o Subassemble Composer® tem limitado acesso à sua API (figura 19).

Não tendo-se acesso, por exemplo, às informações longitudinais da curva (onde começa, onde termina, e sua superelevação), não se pode pré-programar uma envoltória longitudinal, sendo necessário portanto sua previsão de forma manual.

Também particular desafio é a questão da capacidade de processamento tridimensional, conforme a extensão da linha. Em grandes extensões, dependendo do porte do equipamento de informática utilizado, travamentos e retrabalho tem sua parcela no processo.

Superadas as dificuldades, o resultado é excelente, permitindo no fluxo do processo

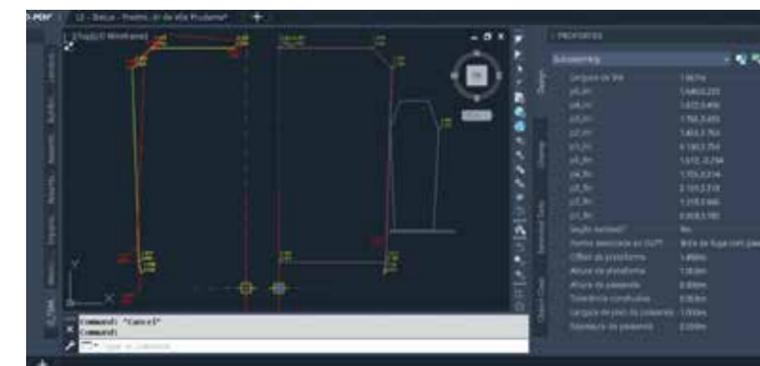


Figura 14 - Utilização e entrada dos valores no subassemble, no Civil3d

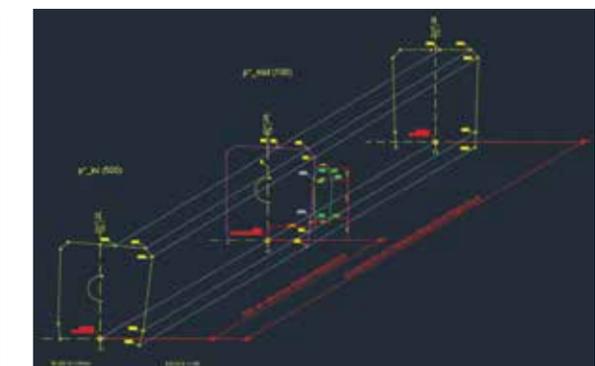


Figura 15 - Interpolação linear do GLPT, ao longo da Corredor do Civil3d

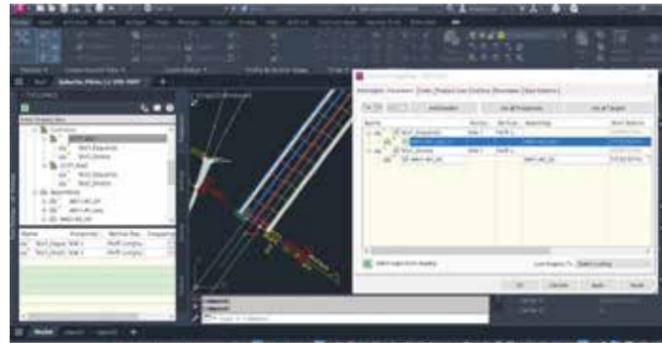


Figura 16 - Lançamento da Region (trecho de GLPT) ao longo do modelo de traçado

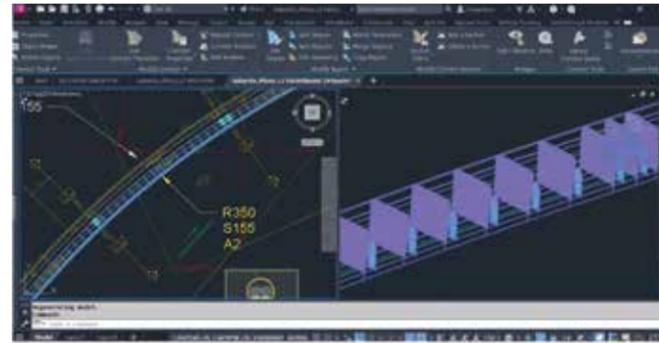


Figura 17 - Corredor de GLPT modelado

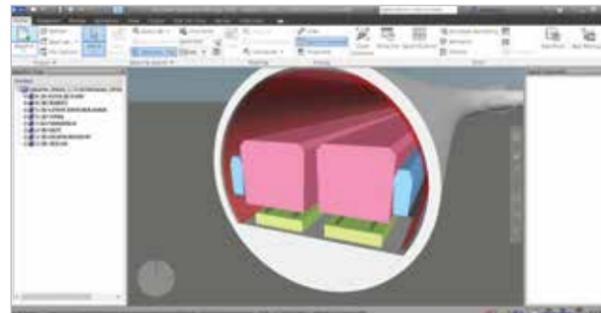


Figura 18 - Modelo tridimensional do GLPT, federado com outras disciplinas e elementos construtivos



Figura 19 - Elementos da API do Civil3d acessíveis no Subassembly Composer

BIM, material altamente rico para a federação entre as demais disciplinas.

A modelagem 3D oferece uma visualização mais realista do projeto, o que pode ser especialmente útil para as partes interessadas que não estão familiarizados com a leitura de projetos 2D. Também permite a realização de análises dimensionais precisas, simulações de funcionamento de sistemas montados e planejamento do processo de construção ou montagem. Isso pode ajudar a prever e corrigir possíveis problemas de compartilhamento de espaços antes da construção física.

Melhora significativamente o desenvolvimento de projetos, eliminando as causas de erros de processo, e utilização do produto, o que reflete diretamente no aumento da qualidade (figura 20).

Como expectativas futuras podemos idealizar a criação de um algoritmo que automatize a consolidação dos dados de entrada à modelagem, tentando tanto quanto possível eliminar o lançamento manual dos corredores (subassemblies), ao longo da geometria da via permanente. O algoritmo deve reproduzir a complexidade das envoltórias que podem

ocorrer num traçado, com curvas reversas e AMVs sequencialmente posicionados.

A consolidação de novas ferramentas e plugins (por exemplo, o Dynamo para Civil3d) pode impulsionar tal idealização.

Com algum otimismo e trabalho, o futuro reserva: "Gabarito em um Clique!".

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] VENTURA, RICARDO MARQUES. Metodologia de cálculo de gabarito de livre passagem em linhas metroferroviárias. São Paulo : [s.n.], 2015. 56p.

[2] METRÔ - IP-9.00.00.00/3U9-004: Diretrizes para Cálculo de Gabarito de Livre Passagem. Cia. do Metropolitano de São Paulo. São Paulo, 2021.

\* **Ricardo Marques Ventura** é Engenheiro Civil, Especialista em Visão Integrada de Sistema sobre Trilhos, e especialista em Engenharia Ferroviária, e Engenheiro de Projetos de Via Permanente do Metrô-SP  
E-mail: [rmventura@metrosp.com.br](mailto:rmventura@metrosp.com.br)

\*\* **Daniel Mozarte Saccomano** é Engenheiro Civil, Especialista em Visão Integrada de Sistema sobre Trilhos, Certificado em gerenciamento de projetos pelo PMI (certificação PMP) e PSM-I Scrum Master (pela Scrum.org). Atua como Engenheiro de Projetos de Via Permanente e Gestão de Projetos no Metrô-SP  
E-mail: [daniel.saccomano@metrosp.com.br](mailto:daniel.saccomano@metrosp.com.br)

\*\*\* **Thiago Lopes dos Santos** é Tecnólogo em Transportes Terrestres e Técnico de Projetos de Via Permanente no Metrô-SP  
E-mail: [tsantos@metrosp.com.br](mailto:tsantos@metrosp.com.br)



Figura 20 - Exemplo de GLPT modelado em acesso de pátio de manutenção

# Avanços tecnológicos que aprimoram a operação do Metrô de São Paulo

ALEX SANDRO CAIRES CORDEIRO\* / ELAINE DORO LABATE\*\* / LUCAS BUENO DOS SANTOS\*\*\*

A inovação tecnológica e automação foram sempre considerados fatores importantes para a criação de organizações eficientes, que geram valor para seus clientes. Essa é uma tendência determinante na diferenciação entre empresas que permanecerão aptas a atender o mercado e aquelas cuja obsolescência impedirá sua sobrevivência.

O Metrô de São Paulo é reconhecido por lançar mão da tecnologia para atender cotidianamente às necessidades dos passageiros. Essa cultura, aliada à necessidade de uma melhor eficiência financeira no contexto pós-pandemia criou um cenário que tem intensificado a busca por ferramentas que possam melhorar a qualidade do serviço, atraindo a demanda de passageiros e que, ao mesmo tempo, proporcionem oportunidades de diminuição de custos e/ou aumento de receita. Atualmente, existem diversas iniciativas em desenvolvimento na empresa.

Nesse contexto, serão apresentadas a seguir duas ferramentas desenvolvidas pelo Departamento de Apoio à Gestão da Diretoria de Operações do Metrô de São Paulo: Sistema de Detecção de Eventos (ferramenta para detecção de eventos da circulação de trens a partir de imagens do painel de movimentação do centro de controle) e Sistema de Contagem de Passageiros (ferramenta para contagem de passageiros a partir de imagens de câmeras de monitoramento).

#### SISTEMA DE DETECÇÃO DE EVENTOS

A motivação para desenvolvimento deste sistema foi, principalmente, a necessidade de proporcionar maior precisão na contagem das viagens realizadas pelos trens, além de trazer automação na obtenção dos dados nos casos de indisponibilidade dos relatórios do sistema de controle.

Por meio de um sistema previamente existente, que coleta as imagens dos painéis da prestação de serviço durante o funcionamento das linhas, foi idealizada uma ferramenta para realizar as contagens das viagens dos trens. Foi

utilizado o recurso tecnológico Visão Computacional pela biblioteca Opencv (<https://opencv.org>) e a linguagem Python, devido à flexibilidade e facilidade na implementação. Importante notar que a captação de imagens do painel é feita, atualmente, a cada 5 segundos e permanecem armazenadas por um período determinado.

A lógica da ferramenta para a identificação dos elementos gráficos e eventos relacionados está apresentada nas figuras 1, 2, 3 e 4, passo a passo, por meio de imagens.

O evento considerado para a contagem de viagens foi a abertura de portas do trem na estação de interesse. Assim, os elementos mapeados necessários foram o indicador de abertura de portas (triângulo verde) e identificação do trem na plataforma, conforme figura 5.

A identificação do trem é feita por meio da extração dos pixels, que são cortados em conjuntos para posterior identificação pelo dicionário de caracteres, conforme figura 6.

Foi construída uma interface para acompanhamento da contagem das viagens, para cada uma das vias, de forma que se consiga verificar o andamento do processo, evento a evento, conforme figura 7.

A ferramenta permanece sendo utilizada para todas as linhas do Metrô de São Paulo para aferição da qualidade dos dados provenientes do sistema de sinalização e é a fonte para obtenção do dado nos casos de indisponibilidade do relatório.

Ela proporcionou ganhos significativos na precisão dos dados, principalmente na Linha 15-Prata,

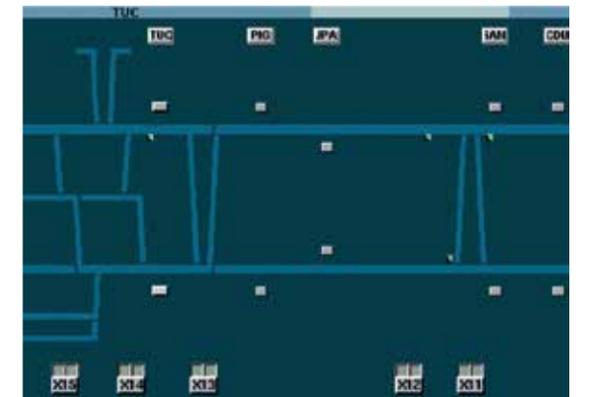


Figura 1 - Painel de movimentação de trens, somente com elementos estáticos



Figura 2 - Painel de movimentação de trens, com elementos estáticos e não estáticos



Figura 3 - Resultado da subtração entre os painéis da figura 1 e figura 2

uma vez que foi possível identificar um desvio de 3% entre a contagem feita pela aplicação que fazia a leitura dos registros do sistema de sinalização e o resultado obtido pelo Sistema de Detecção de Eventos. Com isso, foi possível corrigir a aplicação e garantir que o indicador de viagens realizadas traduzisse de fato a realidade da linha.

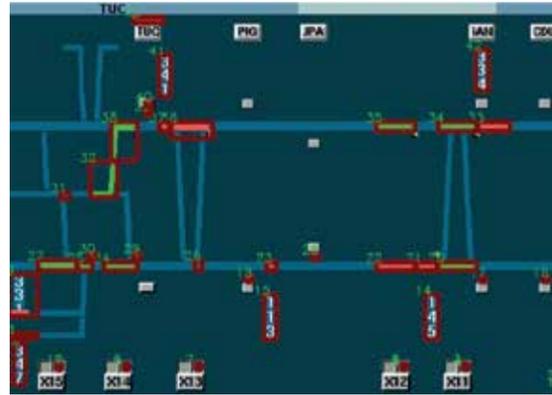


Figura 4 - Identificação dos elementos não estáticos

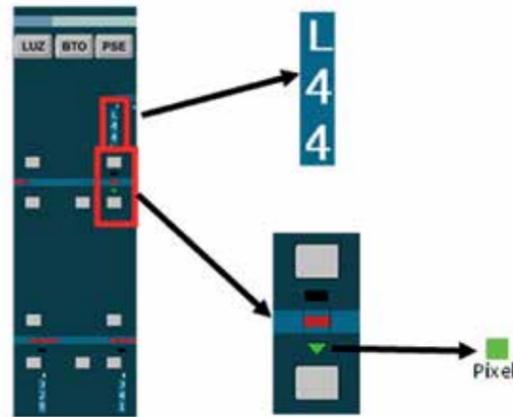


Figura 5 - Elementos utilizados para a contagem de viagens

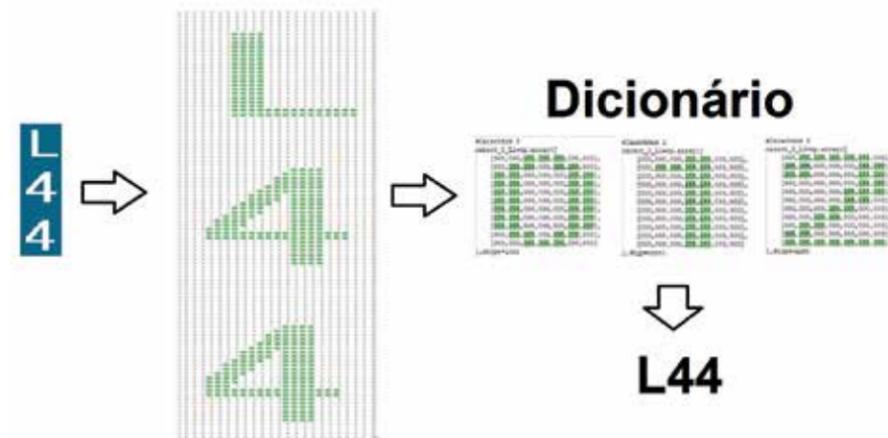


Figura 6 - Processo de identificação dos trens a partir do dicionário de caracteres

O potencial do Sistema de Detecção de Eventos é muito grande. A partir do mapeamento dos objetos em tela, além da aferição das viagens realizadas pelos trens, é possível identificar diversos outros parâmetros e, conseqüentemente, outros tipos de dados: intervalo entre trens, tempo de parada, tempo de porta aberta, tempo em que o trem permaneceu parado devido a ocorrência, ocupação de estacionamentos, tempo de imposição de restrições, e muitos outros.

É importante observar que o acompanhamento de alguns eventos, principalmente aqueles medidos em unidades de tempo menores, requer a diminuição do intervalo de obtenção de imagens e, conseqüentemente, aumento da capacidade de armazenamento necessária.

**SISTEMA DE CONTAGEM DE PASSAGEIROS**

Este sistema foi inicialmente concebido para a necessidade específica de contagem de passageiros provenientes da transferência livre com o sistema de trens metropolitanos na Estação Corinthians-Itaquera.

Normalmente, as contagens são obtidas por meio da leitura diária de contadores mecânicos realizada pelos empregados da estação ao final da operação comercial. Entretanto, devido à previsão de aumento do fluxo de passageiros decorrente da interdição de uma linha da Companhia Paulista de Trens Metropolitanos – CPTM, houve

a necessidade de se utilizar um acesso sem barreira física para contagem das transferências, que normalmente permanece fechado.

Foi utilizada a linguagem Python juntamente com a biblioteca YOLO (uma abreviação para “You Only Look Once”, em português, Você Só Olha uma Vez), que é um algoritmo de detecção de objetos em imagens e vídeos. É uma técnica popular em visão computacional e aprendizado profundo, especialmente em aplicações de reconhecimento de objetos em tempo real. O YOLO aborda a detecção de objetos como um problema de regressão para pontos de ancoragem e tamanhos de caixa pré-definidos. Ele é conhecido por sua eficiência e velocidade, permitindo a detecção de múltiplos objetos em uma única passagem pela rede neural, tornando-o ideal para aplicações que requerem baixa latência<sup>1</sup>.

A biblioteca YOLO tem modelos para detecção de diferentes tipos de objetos. Uma vez que o objetivo era detectar especificamente cabeças humanas para contagem da quantidade de passageiros, foi treinado um modelo de machine learning para detecção dos diferentes tipos de cabeças (formatos, cores, tamanhos, presença de acessórios, tipos de cabelo etc.).

Para extração das imagens do vídeo e delimitar a área de interesse, foi utilizado OpenCV, a mesma biblioteca utilizada no Sistema de Detecção de Eventos.

Para a criação de conjuntos de entradas para elaboração do modelo, foi utilizada a ferramenta LabelImg que é de código aberto (figura 8). Essas entradas são rótulos definidos por caixas delimitadoras que cercam a parte de interesse na imagem. Esse processo é feito de forma manual.

Trata-se de um modelo de alta precisão, pois foi desenvolvido considerando a mesma posição de câmera, qualidade de imagem e as variações de iluminação durante a operação comercial para o mesmo local.

Uma vez identificado o objeto de interesse (cabeça humana), foi necessário desenvolver uma solução para identificar somente os passageiros provenientes dos trens metropolitanos que tinham como destino o Metrô de São Paulo, garantindo que não seriam contados os passageiros no sentido oposto ou que tinham como destino a saída da estação.

Assim, a contagem é realizada quando o passageiro cruza uma determinada linha, em um determinado sentido. Para o acompanhamento da movimentação dos passageiros foi utilizada a biblioteca Supervision da Roboflow. Ela não utiliza reconhecimento facial, somente atribui um ID ao objeto detectado, observando pequenas variações



Figura 7 - Interface da ferramenta



Figura 8 - Interface do LabelImg



Figura 9 - Detecção e movimentação dos passageiros

entre as coordenadas de um frame do vídeo para o seguinte (figura 9).

A utilização da ferramenta tornou possível a contagem digital de passageiros, sem necessidade de alocação de recurso humano para tal, no local ou remotamente. Isso foi de suma importância para quantificar

com precisão as transferências ocorridas no acesso e garantir a consolidação do número de passageiros transportados na estação. Além disso, a ferramenta também subsidiou as áreas operacionais para possíveis ajustes na estratégia, como também possibilitou o acompanhamento da demanda atípica de

passageiros dos dias em que foi necessário manter o acesso aberto.

Está em fase de estudos a utilização de modelos similares, especificamente treinados para cada uma das linhas de bloqueio de transferência com os trens metropolitanos. Com isso, deixará de ser necessária a leitura manual de contadores, como também será possível obter novos dados, como o perfil hora a hora das transferências com essas empresas.

Potencialmente, pode-se aplicar soluções similares para dar suporte à identificação de diversas situações cotidianas da operação por meio de imagens: funcionamento ou violação de equipamentos, invasão de espaços restritos, presença de animais, suporte para confirmação de evacuação de trens, entre tantas outras.

É muito importante ressaltar que as ferramentas apresentadas foram desenvolvidas com recursos internos, softwares livres e necessidades mínimas de investimento. Além disso, não são sistemas dependentes de hardware específico, proporcionando a continuidade e evolução das soluções, independentemente de fornecedores e contratos.

Em 50 anos de operação, o Metrô de São Paulo tem sido referência em transporte público de passageiros. Conseguiu evoluir tecnologicamente com o passar dos anos, sem perder de vista a centralidade das pessoas. O resultado disso é a qualidade do serviço prestado, atestada pelos próprios passageiros, ano após ano, em pesquisas que mostram o Metrô de São Paulo como o melhor serviço público da Cidade. Que venham os próximos 50 anos!

**Nota**  
<sup>1</sup> O que é YOLO (You Only Look Once - Você Só Olha Uma Vez)? - Glossário de Automação (maiconramos.com)

\* **Alex Sandro Caires Cordeiro** é Analista de Sistemas e Analista de Desenvolvimento e Gestão III da Coordenadoria de Estudos Estatísticos e Informações Estratégicas do Metrô-SP  
 E-mail: [ascordeiro@metrosp.com.br](mailto:ascordeiro@metrosp.com.br)

\*\* **Elaine Doro Labate** é Bioquímica e Coordenadora de Estudos Estatísticos e Informações Estratégicas do Metrô-SP  
 E-mail: [elabate@metrosp.com.br](mailto:elabate@metrosp.com.br)

\*\*\* **Lucas Bueno dos Santos** é Administrador e Analista de Desenvolvimento e Gestão II da Coordenadoria de Estudos Estatísticos e Informações Estratégicas do Metrô-SP  
 E-mail: [lucas.bsantos@metrosp.com.br](mailto:lucas.bsantos@metrosp.com.br)



# Modelagem e simulação computacional de sistemas de tração elétrica metroviária

Corrente Contínua (cc) para avaliação do desempenho energético

VITOR MAZZEI\* / CARLOS ALBERTO DE SOUSA\*\* / RUAN STREITENBERGER GUEDES\*\*\*

## INTRODUÇÃO

Energia e sustentabilidade no transporte receberam uma grande atenção nas últimas décadas, sendo este setor um importante responsável pelo consumo de energia pelo mundo todo e um dos mais eficientes meios de transporte terrestre (HILLMANSEN; ROBERTS, 2007).

O consumo e os custos com energia elétrica merecem destaque na gestão da sustentabilidade. Em 2023, o Metrô consumiu 431GWh sendo que a tração representou aproximadamente 302GWh desse total (COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO, 2023).

Segundo (TIAN, ET AL., 2017), uma forma significativa de redução de consumo de energia é o uso eficaz da energia da frenagem regenerativa em sistemas metroviários, com frequentes trens acelerando e freando. Como a energia regenerada pelos trens durante as frenagens não pode ser devolvida para a rede no caso dos diodos retificadores, esta energia precisa ser consumida pelos outros trens para alimentar os sistemas auxiliares dos próprios trens ou para trens que estão tracionando por perto, e caso a linha não esteja receptiva, esta energia deve ser dissipada em forma de calor nos resistores de frenagem dos próprios trens.

O sistema de tração em uma rede metroviária alimentada em corrente contínua, como no caso do Metrô de São Paulo, tem como principal componente as subestações retificadoras responsáveis pela conversão da tensão de 22kVca para 750Vcc através dos retificadores a diodo de silício, que fornecem a energia para alimentação dos trens. Devido ao fato de o sistema de tração ser responsável por grande parte do consumo de energia, por volta de 70% da energia total consumida no sistema metroviário, estudos para uso eficaz da energia neste siste-

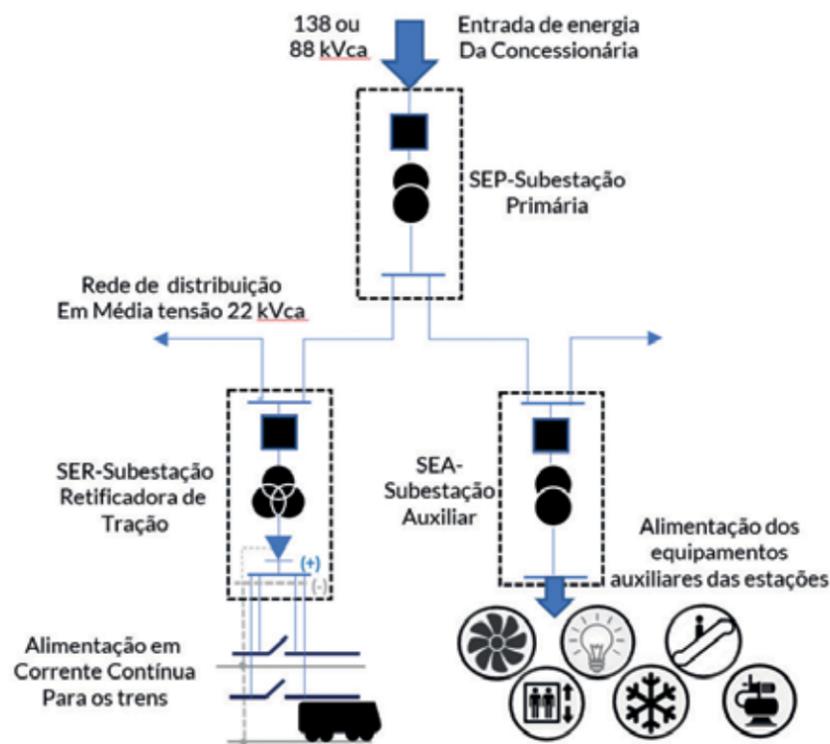


Figura 1 - Sistema de alimentação elétrica do sistema metroferroviário

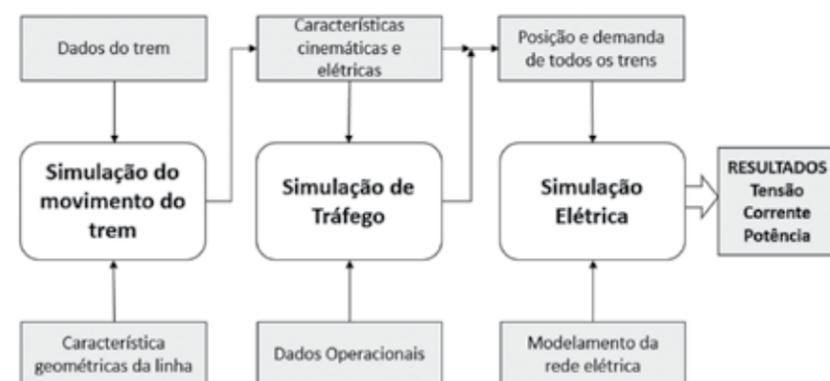


Figura 2 - Visão geral da simulação do sistema de tração

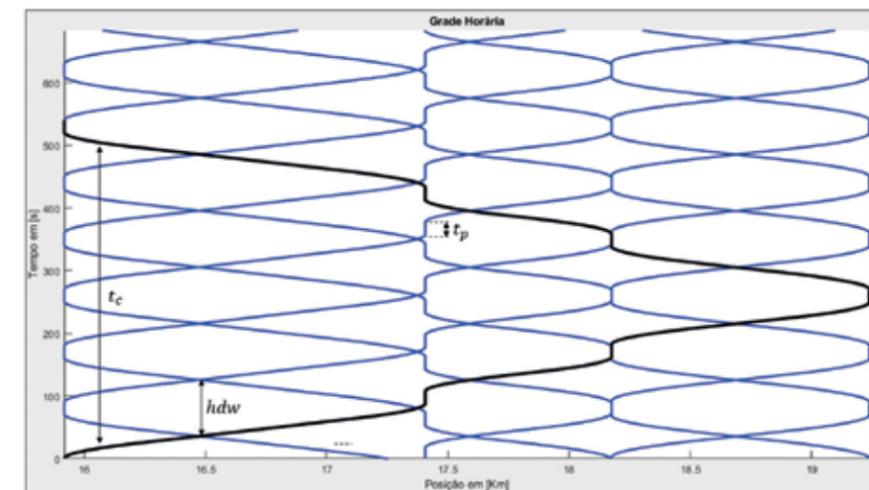


Figura 3 - Diagrama horário típico

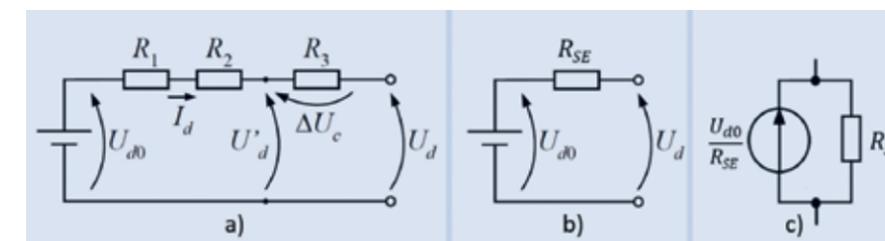


Figura 4 - Circuito equivalente da subestação retificadora

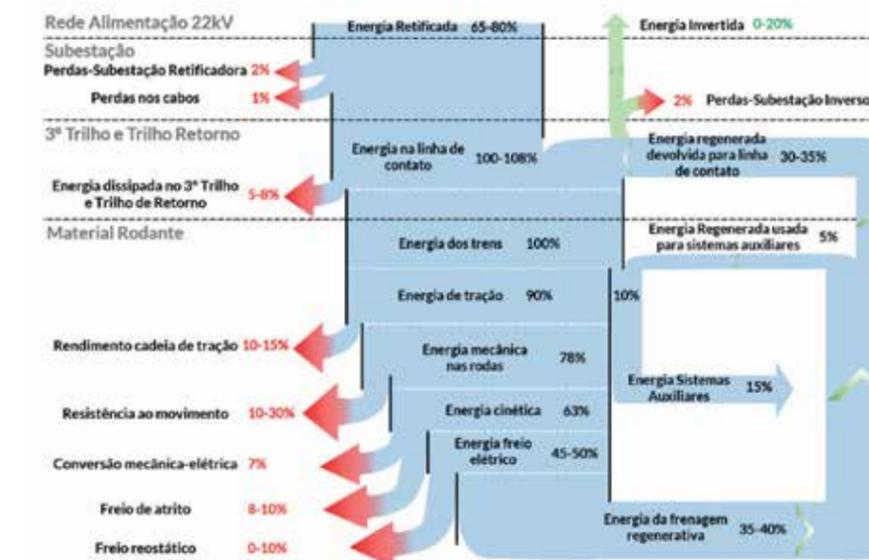


Figura 5 - Fluxo de energia no sistema de tração

ma resultam em ótimos resultados. A figura 1 ilustra como tipicamente é subdividido o sistema de alimentação elétrica no sistema.

Para avaliações e estudos no sistema metroviário é imprescindível a utilização de ferramentas de simulação computacional, que permita modelar detalhadamente toda a infraestrutura do sistema e dos trens. Por

meio das simulações é possível não só efetuar estudos para dimensionar e projetar novas estações e equipamentos para expandir o sistema metroviário, mas também exercitar diferentes cenários operacionais nas linhas já existentes, com o objetivo de se otimizar a operação, aumentar a eficiência energética e trazer melhores resultados.

## SIMULAÇÃO DO SISTEMA DE TRACÇÃO ELÉTRICA

A modelagem computacional do sistema de tração elétrica, representa uma ferramenta poderosa para dimensionamento do sistema e todos seus componentes como trilhos, subestação retificadora de tração e sua melhor distribuição ao longo da linha, cabos elétricos, fio de contato para alimentação dos trens, permitindo otimização de custos pela possibilidade de se obter diferentes cenários somente alterando os parâmetros de entrada. Também pode ser utilizada para se avaliar o desempenho do sistema, com objetivo de otimização operacional e do sistema de alimentação elétrica para se avaliar o consumo de energia dentre outros dados. A figura 2, demonstra uma visão geral da simulação do sistema de tração elétrica.

## SIMULAÇÃO DE MARCHA

Segundo (MARTINS, 1986), o objetivo da simulação de marcha de veículos de tração elétrica é calcular seu desempenho em um dado percurso, devendo-se conhecer as características geométricas, físicas e operacionais do veículo, os dados geométricos da linha e características do sistema de tração, para que se possa através de modelamentos matemáticos, calcular em intervalos regulares ao longo da linha, o tempo de percurso do veículo, sua velocidade e aceleração, potência absorvida, a energia consumida etc.

“Desse modo, para cada ponto da via considerado, os cálculos envolvendo as grandezas relativas à tração podem ser divididos em três”, conforme (PIRES, 2006). Simulação do Sistema de Tração Elétrica Metroferroviária.

A dinâmica do movimento de um veículo pode ser dada através da Segunda Lei de Newton para o movimento.

$$F = m * a \quad (1)$$

Conforme (PIRES, 2006), para se levar em conta a presença de diferentes peças em rotação que possuem seus próprios momentos de inércia, é utilizado um coeficiente adimensional que aumenta a massa do trem superior à unidade, denominado fator de inércia das massas girantes e representado por  $\xi$ . Na tração ferroviária de um modo geral, o valor de  $\xi$  se situa entre 1,04 e 1,12, sendo que geralmente é adotado o valor de 1,10 (MARTINS, 1986). A massa do trem corrigida pela inércia das massas girantes é dada por:

$$m' = m * \xi \quad (2)$$

Acrescida com a carga ou peso dos passageiros:

$$m' = m_t * (1 + \xi) + m_{pax} \quad (3)$$

Decompondo os esforços resistentes, que serão vistos nos tópicos a seguir em resistência normal ao movimento, resistência devido às rampas e resistência devido às curvas:

$$F_m - (R_N + R_l + R_c) = m' * a \quad (4)$$

O primeiro membro da equação, conhecido como esforço útil ( $F_u$ ), é o esforço necessário à aceleração do trem, tendo seu valor positivo durante o regime de tração e negativo durante o regime de frenagem, onde  $R_N$  é a Resistência Normal ao Movimento,  $R_l$  é a Resistência devido às rampas e  $R_c$  é a Resistência devido às curvas.

### SIMULAÇÃO DE TRÁFEGO

Segundo (MARTINS, 1986), a simulação de tráfego do sistema de tração elétrica é caracterizada pelo movimento simultâneo dos trens em uma malha viária, em função da demanda prevista e fornecendo assim, no período simulado, a posição de cada trem em operação e sua demanda de potência, permitindo o cálculo e interação entre eles na simulação elétrica.

Para uma composição metroviária, o trem parte e retorna a uma estação origem repetidas vezes periodicamente compondo um ciclo veicular operacional, dentro deste ciclo, ocorrem diversos ciclos de tração entre as estações, que depende da quantidade de estações na linha. Para se obter o "headway", que é intervalo médio do tempo entre trens na linha, é preciso se obter o tempo de ciclo-tp levando em conta o tempo de marcha somado ao tempo de parada nas estações-tp, podendo ser calculado por:

$$hdw = \frac{t_c}{n_t} \quad (5)$$

A partir da equação (1), é possível se determinar o número efetivo de veículos em operação, sendo este um importante elemento para dimensionamento de sistemas metroviários (PIRES, 2013), figura 3.

### SIMULAÇÃO ELÉTRICA

Segundo (MARTINS, 1986), "[...] A simulação elétrica tem por objetivo, calcular o desempenho elétrico do sistema de alimentação

elétrica [...] notadamente o desempenho das subestações de tração e da linha de contato".

De posse da posição e potência elétrica solicitada pelos trens, conforme visto na simulação de marcha e simulação de tráfego, um circuito elétrico equivalente ao sistema fixo é elaborado e a simulação trata de inserir as cargas (trens), cuja configuração é alterada a cada instante de tempo ao longo do tempo simulado (MARTINS, 1986).

### Modelamento das subestações retificadoras

Numa rede metroviária alimentada em corrente contínua, as subestações retificadoras são as principais fonte de energia para os veículos. Geralmente as subestações são equipadas com pontes retificadoras de 6 pulsos e de 12 pulsos (TIAN ET AL., 2015).

O circuito equivalente de uma subestação retificadora pode ser dado conforme figura 4: (a) extraída de Pires (2006), em que é representado por uma fonte de tensão de valor  $U_{d0}$  associada a uma resistência equivalente  $R_{SE}$ , cuja composição é formada por três resistências em série. Essas resistências

representam a queda de tensão nos diodos e tiristores ( $R_1$ ), a resistência da fonte CA e cabos associados ( $R_2$ ) e uma resistência que representa o circuito de comutação ( $R_3$ ), que causa uma queda de tensão produzida pela resistência de comutação quando percorrida pela corrente  $I_d$  (PIRES, 2006). Para a análise nodal, a subestação será modelada por uma fonte de corrente em paralelo com a resistência interna, conforme ilustrado em (c).

Desse modo, a tensão na saída do retificador e a resistência interna da subestação será calculada por:

$$U_d = U_{d0} - I_d * (R_{SE} + R_{gd}) \quad (6)$$

Para simulações considerando a contingência das subestações, a lógica será a mesma para representar e calcular a rede de tração com uma ou mais subestações fora de operação.

### Fluxo de potência

O circuito equivalente da rede de tração

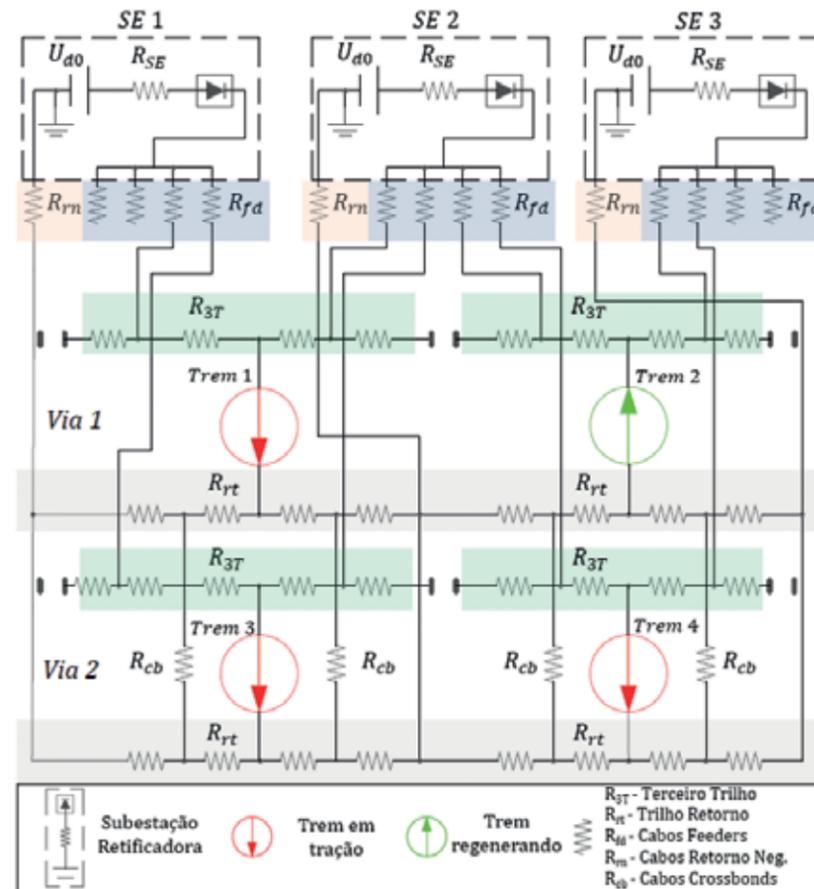


Figura 6 - Modelo do circuito elétrico de tração

Tabela 1 - Cenários operacionais

	Período	Carregamento passageiros	Headway	Nº Trens
Cenário 1	Dia Útil - Pico	80%	107	41
Cenário 2	Dia Útil - Vale	30%	122	35
Cenário 3	Sábado - Dia	30%	148	29
Cenário 4	Sábado - Noite	20%	285	15
Cenário 5	Domingo - Dia	30%	215	20
Cenário 6	Domingo - Noite	20%	267	16

Tabela 2 - Cenários de simulação do fluxo de energia na rede de tração

Simulação / Cenários	1	2	3	4	5	6
Energia total subestação	28,85	21,76	17,62	10,75	13,31	11,55
Energia retificada ( $E_{ser}$ ) [Mwh]	28,85	21,76	17,62	10,75	13,31	11,55
Perdas na subestação [Mwh]	0,94	0,49	0,34	0,17	0,23	0,22
Perdas na rede [Mwh]	2,72	1,94	1,56	0,73	1,07	0,85
Energia dos trens ( $E_{trem}$ ) [Mwh]	25,19	19,33	15,72	9,86	12,01	10,48
Energia tração dos trens ( $E_{tração}$ ) [Mwh]	42,40	32,52	27,10	13,65	18,43	14,70
Energia sistemas auxiliares dos trens ( $E_{aux}$ ) [Mwh]	6,06	5,31	4,43	2,31	3,01	2,48
Energia freio elétrico disponível ( $E_{freio\_ele\_disp}$ ) [Mwh]	26,71	19,84	16,53	8,29	11,24	8,93
Energia regenerada ( $E_{regen}$ ) [Mwh]	23,28	18,50	15,81	6,10	9,43	6,70
Eficiência da regeneração ( $r_{eg}$ ) [%]	87,14%	93,24%	95,64%	73,56%	83,90%	75,05%
Total percorrido pelos trens [km]	1372,90	1211,30	1009,40	524,95	686,41	565,25
Consumo Específico [kwh/km]	18,35	15,96	15,57	18,77	17,49	18,54

será equacionado em termos de fontes de correntes e condutâncias, e segundo (PIRES, 2006), "a análise nodal consiste em se determinar as tensões em todos os nós referidas ao nó de referência. Aplica-se então a lei das correntes de Kirchof para cada nó do sistema, obtendo-se as equações com tensões incógnitas".

Com o movimento dos trens obtidos da simulação de marcha e da simulação de tráfego descritos anteriormente, a cada instante do período simulado será construído uma matriz, que é uma matriz esparsa, e as tensões e correntes de cada nó poderão ser obtidos através de cálculos iterativos (TIAN ET AL., 2015) e pode ser escrita de forma geral:

$$[U] = [G]^{-1} * [I] \quad (7)$$

Onde  $I$  representa o vetor das correntes nodais,  $G$  representa a matriz quadrada e simétrica das condutâncias nodais e  $U$  representa o vetor das tensões nodais. O fluxo de potência consiste em se determinar as potências das barras das subestações, que podem ser consideradas como "slack bus" tendo assim sua tensão conhecida e as tensões nodais dos trens, que podem ser considerados como "load bus", onde as potências são conhecidas (TIAN, 2017).

### FLUXO DE ENERGIA EM UM SISTEMA METROFERROVIÁRIO

Segundo (DOUGLAS ET AL., 2015), "[...] como a tração tem uma representatividade muito grande no consumo de energia, entre 60% e 80%, ela representa uma área chave para a redução de energia e [...] a eficiência energética pode depender da rota, do veículo e das características de serviço

onde será implementada".

A energia cinética do trem pode ser parcialmente devolvida para a rede durante a frenagem regenerativa dos trens. O uso da energia regenerada conforme já mencionado, depende da receptividade da rede elétrica. Ainda em (TIAN ET AL., 2017), "[...] nem toda energia pode ser utilizada pelos trens acelerando, parte é perdida na resistência da rede de distribuição", e que "[...] a utilização da energia da frenagem regenerativa depende da distância entre os trens e trens acelerando assim como a potência demandada", e ainda em termos da simulação do sistema de tração elétrica que "[...] a efetividade da regeneração deve ser resolvida pela análise do fluxo de potência", figura 5.

Para avaliar o fluxo de energia típico em um sistema de tração elétrica proposto para

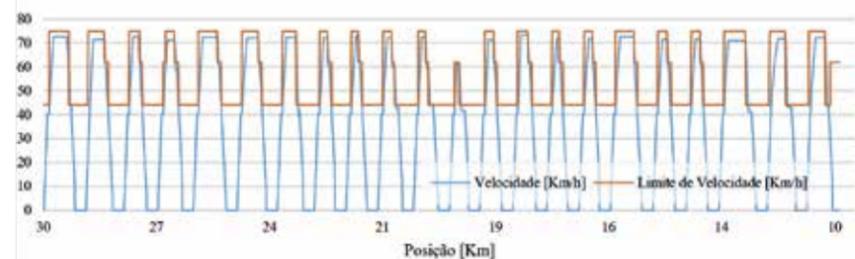


Figura 7 - Trajetória do trem- Via 1- JAB-TUC

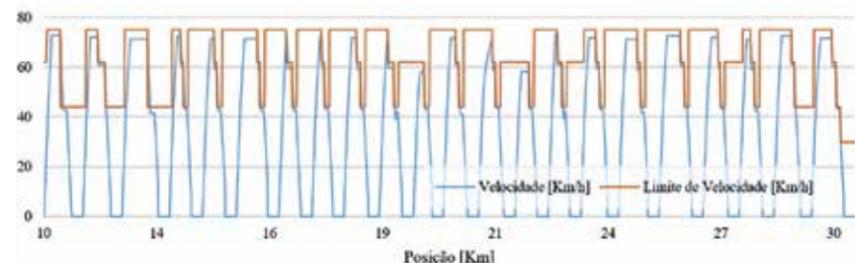


Figura 8 - Trajetória do trem- Via 2- TUC-JAB

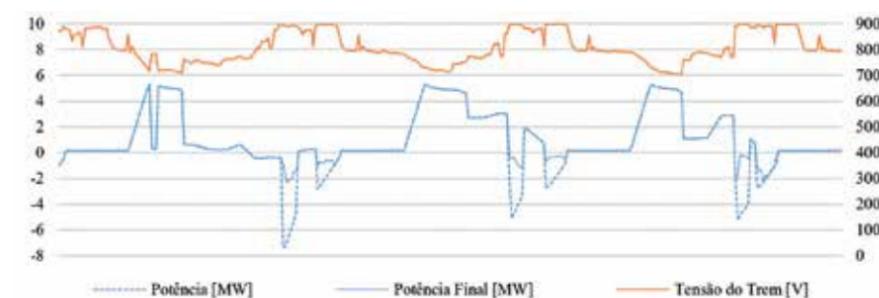


Figura 9 - Potência Elétrica x Tensão de Linha Trem- Cenário 1

este trabalho, a ilustração da figura 6 adaptada de (DOUGLAS ET AL., 2015), (GONZÁLEZ ET AL., 2014), (TIAN ET AL., 2017), e (TIAN ET AL., 2018), representa o fluxo de toda a cadeia de tração, desde a distribuição de energia pelas subestações e utilização pelos trens e rede elétrica. Os valores indicados são encontrados nessas referências e dependem muito das características dos trens e do modelamento de todo o sistema de alimentação elétrica.

### RESULTADOS OBTIDOS

Na tabela 1 é apresentado os cenários operacionais utilizados nas simulações na Linha 1-Azul.

Na tabela 2 é apresentado o fluxo de energia no sistema de tração nos vários cenários adotados. É possível observar que os resultados são bastante consistentes com o fluxo de energia ilustrado na figura 5.

O resultado da trajetória do trem na simulação é ilustrado conforme apresentado nas figuras 7 e 8, onde pode ser visto a velocidade

desenvolvida pelo trem e os limites de velocidade impostos pelo sistema de controle automático de trens nas duas vias da Linha 1-Azul.

Em relação à receptividade, o detalhe mostrado figura 9 ilustra a potência elétrica desenvolvida por um trem simulado no Cenário 1, onde a linha tracejada demonstra a potência elétrica total durante a frenagem e a linha contínua a potência que realmente o trem conseguiu exportar para rede. Quando o trem está operando em sobretensão durante a frenagem regenerativa, o excesso de energia injetada na linha de contato tende a elevar o nível de tensão caso outros trens não estiverem absorvendo essa energia. A diferença entre as duas linhas é dissipada nos resistores de frenagem do trem pela proteção do próprio inversor de tração do trem, para proteção contra sobretensão e, neste caso, pode ocorrer um complemento do freio de atrito para se atingir o esforço de frenagem solicitado. Neste caso, o trem consegue exportar apenas uma pequena parte para a rede.

### CONCLUSÃO

Os resultados obtidos do estudo de caso, permitiu se verificar o consumo de energia em diferentes cenários operacionais e validar os resultados de consumo de energia obtidos pela simulação, através da comparação com medições reais da frota de trens modelada no trabalho.

Com a realização da simulação é possível avaliar o potencial de energia em todas as subestações, buscando se identificar propostas de otimização operacional relacionadas à eficiência energética da linha estudada. 📌

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO. "Relatório Integrado." São Paulo, 2023, 166.
- [2]DOUGLAS, H., C. ROBERTS, S. HILLMANSEN, E F. SCHMID. "An assessment of available measures to reduce traction energy use in railway networks." Energy Conversion and Management, vol. 106, 2015: 1149-1165.
- [3]GONZÁLEZ, GIL A, R. PALACIN, P. BATTY, E J.P. POWELL. "A systems approach to reduce urban rail energy consumption." Energy Conversion and Management, 80, 2014: 509-524.
- [4]MARTINS, R. W. C. "Sistemas de tração elétrica: análise e dimensionamento." Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1986, 311.
- [5]PIRES, CASSIANO LOBO. Engenharia elétrica ferroviária e metrorviária : do trólebus ao trem de alta velocidade. Rio de Janeiro: LTC, 2013.
- [6]PIRES, CASSIANO LOBO. "Simulação do Sistema de Tração Elétrica Metro-ferroviária." Tese (Doutorado em Sistemas de Potência) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006, 424.
- [7]TIAN ET AL., Z. "Energy evaluation of the power network of a DC railway system with regenerating trains." IET Electrical Systems in Transportation, vol. 6, no. 2, 2015: 41-49.
- [8]TIAN, T., G. ZHANG, N. ZHAO, S. HILLMANSEN, P. TRICOLI, E C. ROBERTS. "Energy Evaluation for DC Railway Systems with Inverting Substations." IEEE International Conference on Electrical Systems for Aircraft, Railway, Ship Propulsion and Road Vehicles & International Transportation Electrification Conference (ESARS-ITEC). Nottingham, 2018, 1-6.
- [9]TIAN, ZHONGBEI. "System Energy Optimisation Strategies for DC Railway Traction Power Networks." Junho de 2017: 1-214.
- [10]TIAN, ZHONGBEI, PAUL WESTON, NING ZHAO, STUART HILLMANSEN, CLIVE ROBERTS, E LEI CHEN. "System energy optimisation strategies for metros with regeneration." Transportation Research Part C: Emerging Technologies. 75, 2017.

\* Vitor Mazzei é Engenheiro Eletricista,  
Coordenador no Metrô-SP  
E-mail: vmazzei@metrosp.com.br

\*\* Carlos Alberto de Sousa é Engenheiro Eletricista,  
Supervisor de Manutenção no Metrô-SP  
E-mail: carlossousa@metrosp.com.br

\*\* Ruan Streitenberger Guedes é Engenheiro  
Eletricista, Engenheiro Especializado no Metrô-SP  
E-mail: rsguedes@metrosp.com.br

# SIGA NO FACEBOOK BRASIL ENGENHARIA





# Uso de modelagens digitais para organização e ocupação do subterrâneo de áreas metropolitanas

Uma aplicação à Região Metropolitana de São Paulo (RMSP)

JOÃO PAULO MANTOVANI ALVARENGA\* / WILSON SHOJI IYOMASA\*\* / TARCISIO BARRETO CELESTINO\*\*\* / MARCELO DENSER MONTEIRO\*\*\*\*

**RESUMO**  
A demanda para utilização de construções subterrâneas para a organização de aglomerados urbanos vem sendo intensificada nos principais centros metropolitanos ao redor do mundo. Como centro econômico brasileiro, São Paulo enfrenta desafios decorrentes da sobrecarga de infraestrutura viária e, portanto, necessita de novas construções e ampliações de sua malha de infraestrutura subterrânea. Portanto, é imperioso o conhecimento das características técnicas dos materiais que

compõem seu subsolo. Nesse contexto, atualmente recorre-se às ferramentas digitais, como os modelos geológicos tridimensionais com algoritmos de interpolação avançados, amplamente utilizados na indústria petrolífera e mineral, porém ainda limitado na indústria da construção civil. Por outro lado, Inglaterra e Finlândia vêm continuamente utilizando modelos 3D no auxílio de projetos de construção subterrâneas em centros urbanos, como por exemplo, o modelo do “Vale do Rio Tâmisa e Londres”. Este artigo apresenta modelos tridimensionais preliminares das linhas 1-Azul e 2-Verde da cidade de São

Paulo, desenvolvidos com a ferramenta Leapfrog®, com base em dados de sondagens fornecidas pela Companhia do Metropolitan de São Paulo - METRÔ. Ele demonstra vantagens e desafios a serem superados para a ampliação do seu uso na indústria da construção civil. Trata-se, portanto, de uma proposta inicial para a organização de dados e conhecimentos técnicos extraídos de obras já executadas, configurando-se em banco de dados geológico-geotécnicos com possibilidade de subsidiar o desenvolvimento de obras civis na cidade de São Paulo e em toda a região metropolitana no seu entorno.

## INTRODUÇÃO E PRINCIPAIS OBJETIVOS

Em 2022 o mundo atingiu a marca de 8 bilhões de pessoas, mais que três vezes a quantidade de pessoas em 1950. As previsões indicam que haverá 10 bilhões de pessoas até 2059, seguido por um período de declínio (Zeifman *et al.*, 2022). A demanda por melhores condições de vida promove o deslocamento da população rural para as grandes cidades, o que gera problemas sérios relacionados à infraestrutura urbana (Campos *et al.*, 2024; 2023; 2006). As construções de vias de acesso, estacionamentos, túneis viários/pedestres, de obras de adução e redes metroviárias procuram melhorar a qualidade da vida urbana, propiciando o livre espaço em superfície para o aproveitamento de moradias e lazer. O desafio de melhorar a infraestrutura urbana é um trabalho contínuo pela busca por espaço enfrentado pelas grandes cidades, como Londres, Nova Iorque, Xangai, Berlin, Cidade do México, Tóquio, São Paulo, entre outras.

A verticalização das moradias é a tendência natural encontrada para acomodar maior número de pessoas por unidade de área ocupada. O Plano Diretor Municipal, em vigor desde 2014, propõe construir edifícios mais altos, para adensar a popula-

ção, ao longo de corredores de transporte coletivo e nas proximidades de estações metroviárias (Prefeitura de São Paulo, 2014).

A ampliação das redes subterrâneas de infraestrutura (água, esgoto, transportes etc.) pode causar impactos à população, e até trazer em risco durante o período das construções, sobretudo limitar a locomoção das pessoas. Portanto, há necessidade de se conhecer detalhadamente o comportamento de solos e rochas que sustentam as construções civis. A exemplo de países como Reino Unido e Finlândia, a ideia de gerar modelos 3D das diferentes camadas de solos e rochas para auxílio da construção subterrânea é pujante e admissível para o Brasil.

Projetos de construção das linhas metroviárias de São Paulo são referência no Brasil e até no mundo quando se trata em qualidade técnica, porém ainda padecem da integração com outros tipos de projetos existentes. A utilização apenas de dados de perfis de sondagens disponibilizados de parte de cinco linhas metroviárias para confecção de um modelo 3D é o objetivo principal deste artigo e, portanto, entende-se que se trata do início da modernização em projetos geológico-geotécnicos, bem como da inserção de proposta de montagem de um banco de

dados centralizado e disponível à população, à semelhança do que ocorre em outros países, como mencionado.

## CONTEXTO PAULISTANO

Os registros históricos das construções subterrâneas no Brasil indicam que a empreitada teve início na segunda metade do século 19, porém foi no final da década de 1960 que as atividades de planejamento e construção do metrô subterrâneo da cidade de São Paulo, culminaram na primeira linha metroviária da capital (Linha 1-Azul), ligando os bairros da capital de norte a sul (Celestino e Rocha, 2011). Segundo Bilfinger *et al.* (2012), diversas práticas de projetos de túneis na cidade nos 20 anos antecedentes à publicação, destacaram projetos com diâmetros equivalentes superiores a 5m, que utilizaram tuneladoras ou o método NATM (*New Austrian Tunneling Method*), também denominado de escavação sequencial.

Em São Paulo existem centenas de túneis construídos, desde rodoviários, ferroviários, metroviários, além de túneis para adução de água/esgoto, redes elétricas de alta potência e até espaços para estacionamento de veículos. Atualmente, o Metrô de São Paulo é operado pela iniciativa privada (linhas 4-Amarela e 5-Lilás),

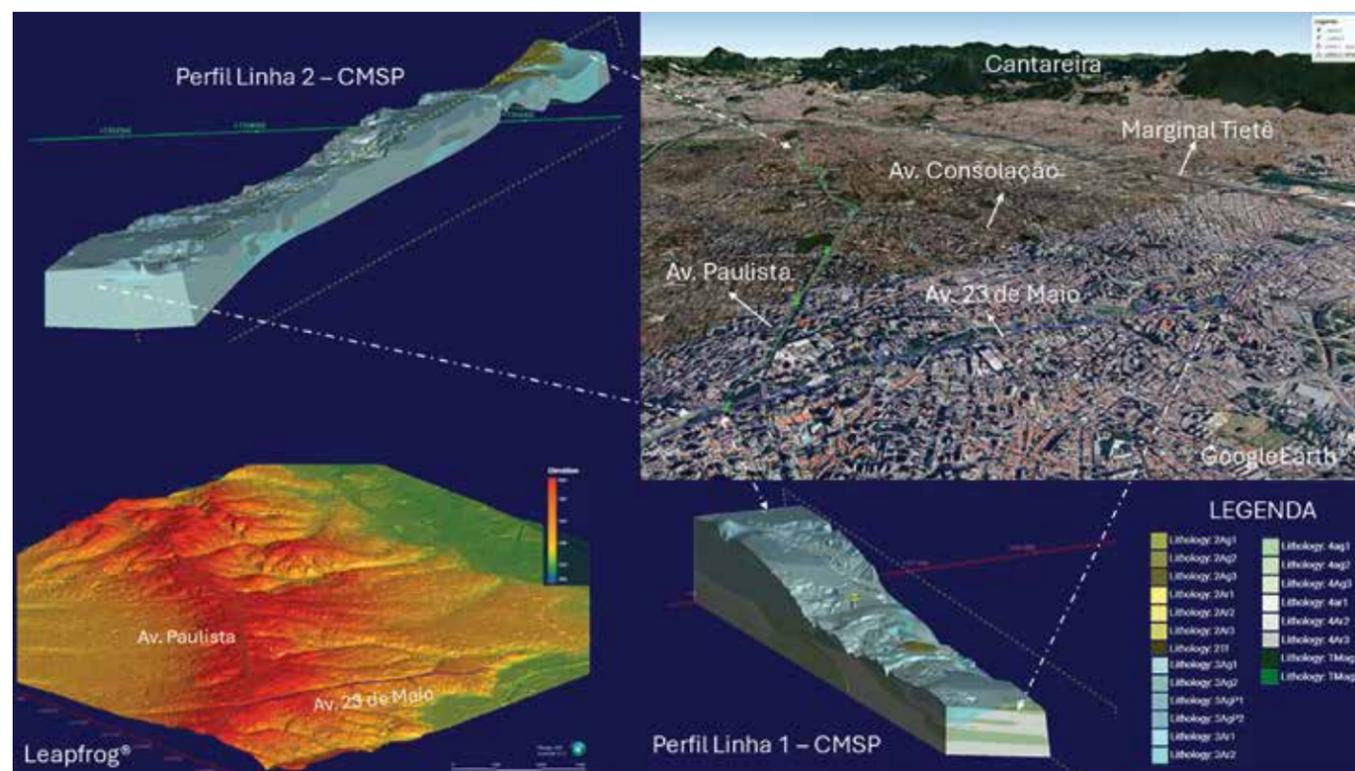


Figura 1 - Modelos preliminares tridimensionais gerados a partir do Leapfrog® das linhas 1 e 2 do CMSP.

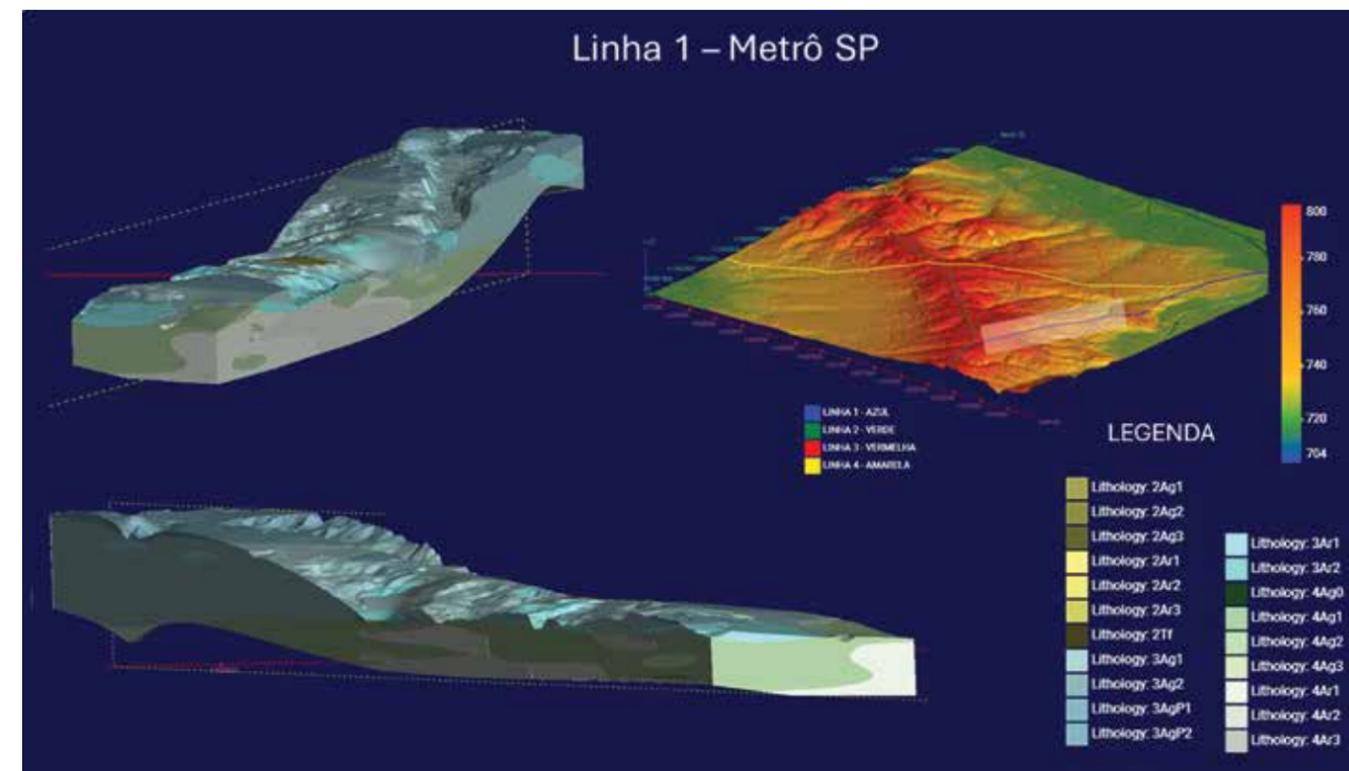


Figura 2 - Modelo preliminar desenvolvido no Leapfrog® da Linha 1-Azul do Metrô de São Paulo entre as estações Paraíso e Sé



e pela Companhia do Metropolitano de São Paulo - METRÔ (linhas 1-Azul, 2-Verde, 3-Vermelha e 15-Prata), órgão do Estado de São Paulo e referência para a Engenharia em projetos, planejamento e operação de construções subterrâneas. Como mencionado, a cidade possui cinco linhas metroviárias de subsuperfície, além da construção atual da sexta linha (Linha 6-Laranja), ampliação das linhas já existentes (linhas 2-Verde e 4-Amarela), duas linhas elevadas (linhas 17-Ouro e 15-Prata), e novas linhas em fase de projeto com o a Linha 19-Celeste (FONTE: Site CMSP).

### A MODELAGEM SUBTERRÂNEA COMO FERRAMENTA NO PLANEJAMENTO URBANO

O conhecimento da composição dos materiais do subterrâneo é fundamentado em dados coletados no campo (sondagens) e ensaios laboratoriais. Em áreas densamente urbanizadas, há situações que requerem dos técnicos a adoção de hipóteses e modelos teóricos que permitam inferir a composição e seus parâmetros, com base em estudos da geologia e geotecnia local. É evidente a impossibilidade de se realizar a observação direta da constituição

subterrânea dos tipos de solos e rochas pela opacidade dos materiais sobrejacentes, portanto recorre-se a métodos diretos e indiretos (invasivos ou não invasivos), de investigação que buscam estimar, com algum grau de incerteza, as propriedades e características dos constituintes do subsolo. Para tentar reduzir os riscos relacionados a essas incertezas, os pesquisadores de diversas áreas do conhecimento da engenharia e geociências utilizam diversas ferramentas (mapeamento de campo, sondagens, ensaios de laboratório, levantamentos geofísicos etc.), com a finalidade em constituir um modelo do terreno para viabilizar a elaboração de um projeto seguro e sustentável sob a ótica de impactos ao meio ambiente e à população diretamente afetada, e que seja viável do ponto de vista técnico e econômico de uma obra subterrânea urbana.

Para auxiliar no modelo geológico e geotécnico do terreno, recorre-se à geomodelagem "...que consiste no conjunto de métodos matemáticos que permitem modelar, de uma maneira unificada, a topologia, a geometria e as propriedades físicas de um objeto geológico..." [tradução própria do texto escrito por Mallet (2002, p.4)].

Ferramentas disponíveis, como o CAD (*computer-aided design and drafting*), não foram desenvolvidas para modelar materiais encontrados na natureza. São ótimas ferramentas para desenho técnico, e algumas dispõem de recursos para visualização em 3D. Esse tipo de ferramenta não permite inserir variações laterais e verticais, tampouco considera as restrições impostas pela qualidade do dado obtido (Mallet, 1997, 2002). Portanto a necessidade de se desenvolverem técnicas baseadas em "elementos discretos", que descrevem bem as superfícies suaves e regulares, foi o indutor que impulsionou a tecnologia digital no sentido de desenvolver e aprimorar ferramentas específicas e próprias para alcançar a melhor geomodelagem do terreno.

Historicamente, pode-se afirmar que os primeiros pacotes de *software* de modelagem computacional para modelagem de uma bacia sedimentar datam da década de 1980, aplicados para o setor de hidrocarbonetos. Segundo Yüklér *et al.* (1979), a modelagem foi utilizada para entendimento da evolução das pressões de fluido nos poros da rocha. Somente em 1998 uma nova geração de *software* possibilitou

a confecção de modelos totalmente tridimensionais para caracterização de reservatórios, porém ainda dependiam de modelos geométricos simplificados, em vista da alta demanda computacional (HANTSCHER; KAUEAUF, 2009).

A primeira década dos anos 2000 é considerada a mais importante no desenvolvimento da geomodelagem, já que os pacotes de *software* puderam ser instalados em "computadores pessoais", além da drástica redução nos custos de seu uso, e de sua disseminação para os setores "menos abastados" do que os setores das mineradoras e das petrolíferas, como é o da construção civil (KESSLER *et al.*, 2008).

Trabalhos desenvolvidos pelo *British Geological Survey* (Serviço Geológico Britânico), no Reino Unido, podem ser considerados como pioneiros da modelagem tridimensional de subsuperfície em espaço urbano. Modelos empregados no Vale do Rio Tâmis e Londres (*figura 1*) (FORD *et al.*, 2008, KESSLER *et al.*, 2008, MATHERS *et al.*, 2014), e em Glasgow, na Escócia (ENTWISLE *et al.*, 2008, MONAGHAN; TERRINGTON; MERRITT, 2012), tornaram o BGS uma referência no assunto.

A ideia de universalização dos dados geotécnicos, sobretudo de áreas urbanas, já é fato em países desenvolvidos. A Finlândia, por exemplo, com vasto histórico em pesquisa mineral, possui legislação nacional que obriga as empresas responsáveis pela pesquisa, ou levantamento de dados de campo, a compartilharem anualmente com o órgão competente (*Chemical and Safety Authority*), dados das prospecções, além dos resultados da exploração das áreas licenciadas. Tais dados são transferidos pelo *GTK (Serviço Geológico Finlandês)*, para o repositório nacional e se tornam de livre acesso ao público após o término da licença.

O trabalho de dissertação de Mesurado, em desenvolvimento, do primeiro autor da presente publicação visa desenvolver um modelo geológico-geotécnico, em 3D, a partir de perfis de sondagens a percussão gentilmente cedidos pela CMSP e com licença de *software* para uso acadêmico cedida pela Empresa Seequent (*Figura 1*). A ferramenta utilizada é o Leapfrog®, com ajustes técnicos para sua aplicação, e está na etapa de simulações de mo-

delagens (3D) de uma área da cidade de São Paulo delimitada pelas linhas 1-Azul, 2-Verde, 3-Vermelha, 4-Amarela e Linha 6-Laranja (projeto básico). O resultado alcançado na modelagem 3D de subsuperfície visa permitir atualização continuamente com a inserção de novas sondagens. O produto do referido estudo poderá ser base para outros tipos de projetos futuros na área, como novas obras subterrâneas, fundações de edifícios e será útil na tomada de decisões de engenharia para caracterização da geologia e geotecnia do subsolo.

Na figura 2 é mostrado um segmento do modelo típico gerado pelo *software Leapfrog®* nos entornos da Linha 1-Azul do Metrô de São Paulo. As informações utilizadas nesse modelo, ainda preliminares, são provenientes dos perfis de sondagens da Linha 1-Azul e da Linha 2-Verde, nas proximidades da Estação Paraíso, e dos perfis de sondagens do projeto básico da Linha 6-Laranja, próximo à Estação São Joaquim. E completando, na área da importante Estação Sé, foram utilizados os perfis de sondagens da Linha 3-Vermelha. No segmento apresentado, a nomenclatura

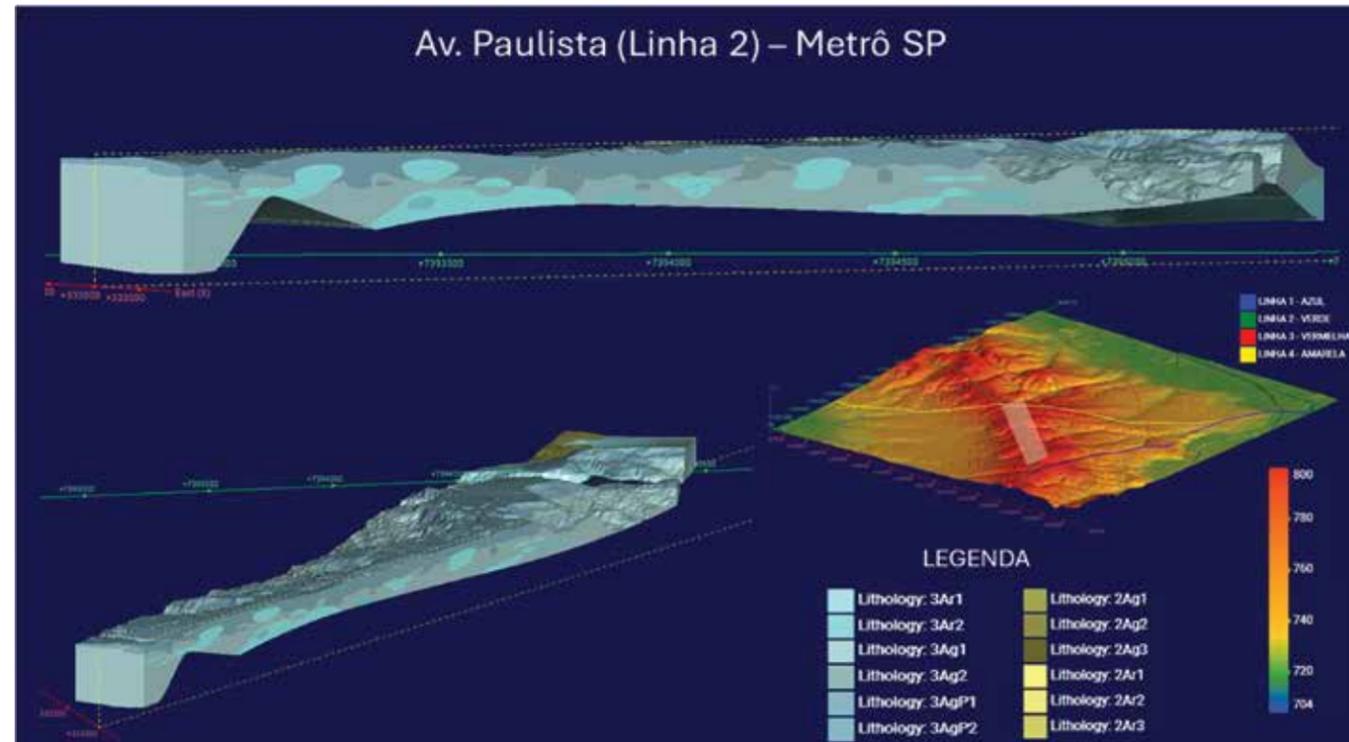


Figura 3 - Modelo preliminar desenvolvido no Leapfrog® da Av. Paulista com dados da Linha 2-Verde do Metrô de São Paulo entre as estações Paraíso e Consolação

# Intertechne

QUALIDADE e EXPERIÊNCIA em Engenharia de Projetos e Gerenciamento de OBRAS de INFRAESTRUTURA



ra das unidades geológico-geotécnicas, é a mesma utilizada nos projetos metroviários da capital, e estão delineadas as camadas de sedimentos Terciários da Bacia de São Paulo.

Na figura 3 é apresentado um segmento do modelo 3D do entorno da Av. Paulista, a partir de dados de sondagem da Linha 2-Verde do Metrô de São Paulo. As informações utilizadas fazem parte do conjunto de dados disponibilizados pela CMSP do mesmo conjunto da figura 2.

É importante registrar que a coleta de dados em perfis de sondagens, sem acesso aos testemunhos, traz dificuldades na organização e interpretação geológico - geotécnica. No entanto, descrições bem elaboradas e detalhadas, como os perfis de sondagem da Linha 1-Azul (final da década de 1960) e Linha 2-Verde (décadas de 1970 e 1980), permitem realizar as interpretações com certa facilidade, inclusive reconhecer e distinguir as camadas de sedimentos das Formações São Paulo e Resende. Essas distinções começaram a ser amplamente desenvolvidas no meio técnico, principalmente nos projetos de Metrô a partir da década de 1990 (linhas 4-Amarela e 5-Lilás), com as contribuições, principais, de RICCOMINI (1989), RICCOMINI e COIMBRA (1992) e KUTNER e BJORNBERG (1997).

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados preliminares alcançados no estudo, em desenvolvimento, indicam que o produto 3D pode ser obtido sem demanda elevada de tempo para o processamento computacional, comum no caso de uso de *software* das indústrias de mineração e do setor petrolífero. Para o estudo de projetos de obras civis subterrâneas, sem a inserção de todos os parâmetros geológicos, geotécnicos e geomecânicos, em princípio, a ferramenta empregada mostrou-se bastante eficiente e rápida no processamento.

Importante interface de aplicação da modelagem digital do meio físico está relacionada ao processo BIM. O decreto 9.377, de 17 de maio de 2018, institui a estratégia nacional de disseminação do BIM, inclusive atuando para que programas, projetos e iniciativas de órgãos e entidades públicas que contratam e executam obras sejam adequadas às rotinas BIM, dessa forma

o aperfeiçoamento da modelagem digital encontra vasto cenário de demandas nas próximas décadas.

No entanto, o uso da ferramenta, que requer ajustes em sua aplicação, necessita de:

-Critérios bem estabelecidos e padronização nas descrições dos testemunhos de sondagens, sejam solos ou rochas.

-Padronização da digitalização (ex.: *AGS file format*):

a) amadurecimento das empresas executoras de sondagens para inserção de rotinas de digitalização dos dados de investigações geológico-geotécnicas. São pouquíssimas as empresas que fornecem os resultados das sondagens em formato digital estruturado.

b) sensibilização dos grandes contratantes de sondagens para que insiram em suas contratações a necessidade de entrega dos dados de investigações nesses formatos.

-Criação de um banco de dados com todas as sondagens certificadas de construção homologadas pelo poder público/concedente.

-Criação ou atribuição a uma agência

ou órgão, por ex. o Serviço Geológico do Brasil (CPRM/SBG), que possa armazenar e disponibilizar, bem como cadastrar e organizar resultados de investigações do subsolo para certificar a qualidade técnica dos dados e informações disponibilizadas para uso da comunidade em futuros empreendimentos seja, para projetos de fundações de edifícios, estações/ estocagens subterrâneas e obras de infraestrutura em geral.

\* **João Paulo Mantovani Alvarenga** é Engenheiro Geotécnico na Promon Engenharia, mestrando em Geotecnia pela EESC-USP

E-mail: joaopaulo.alvarenga@usp.br

\*\* **Wilson Shoji Iyomasa** é Geólogo no IPT,

Pesquisador, Cidades, Infraestrutura e Meio Ambiente

E-mail: wsi@ipt.br

\*\*\* **Tarcísio Barreto Celestino** é Professor da Universidade de São Paulo – USP, consultor na Themag Engenharia e Gerenciamento, foi presidente do International Tunnelling and Underground Association (ITA)

E-mail: tbcelest@usp.br

\*\*\*\* **Marcelo Denser Monteiro** é Geólogo –

Geotécnico de Projeto Civil no Metrô de São Paulo

E-mail: mdmonteiro@metros.com.br

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- **BILFINGER**, Werner, SILVA, Marco Aurélio Abreu Peixoto da, ROCHA, Hugo Cássio, CELESTINO, Tarcísio Barreto. Túneis em São Paulo. 2012. In: NEGRO JR, Arsênio et al. (ed.) Twin Cities: Solos da cidade de São Paulo e Curitiba. p. 435-451. Fundações & Obras Geotécnicas. 2013.
- **CAMPOS, G. C.; IYOMASA, W.S.; ALBARELLI, D. S. N. A.; NISHIJIMA, P. S. T.; SANTOS, F. S.** Desafios para ocupação do espaço subterrâneo urbano. Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (RBGEA), v. 13, p. 26-36, 2024.
- **CAMPOS, GISLEINE COELHO DE; IYOMASA, WILSON SHOJI; ALBARELLI, DANIEL SEABRA NOGUEIRA ALVES; NISHIJIMA, PAULA SAYURI TANABE; SANTOS, FELIPE SCHAEFER.** DESAFIOS PARA OCUPAÇÃO DO ESPAÇO SUBTERRÂNEO URBANO. REVISTA BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, v. 13, p. 26-36, 2023.
- **CAMPOS, G.C., IYOMASA, W.S.; SANTOS, A. J. G.; MARTINS, J. R. S.; MENEZES, M.** O 'invisível' espaço subterrâneo urbano. São Paulo em Perspectiva (Impresso), v. 20, p. 147-157, 2006.
- **CELESTINO**, Tarcísio B.; ROCHA, H. C. Main Articles -Tunnelling Market in Brazil. Tunnel, n. 5, p. 10, 2011.
- **HANTSCHER**, Thomas; KAUEAUF, Armin I. Fundamentals of basin and petroleum systems modeling. Springer Science & Business Media, 2009.
- **KESSLER**, Holger et al. Unlocking the potential of digital 3D geological subsurface models for geotechnical engineers. 2008.
- **KUTNER, A. S.; BJORNBERG, A. J. S.** Con-

- tribuição para o conhecimento geológico-geotécnico da bacia de São Paulo: litotipos, notação estratigráfica e feições estruturais relevantes. Engenharia, v. 54, n. 522, p. 65-73, 1997.
- **LUBOV ZEIFMAN, SARA HERTOG, VLADIMIRA KANTOROVA AND JOHN WILMOTH**, Population Division, UN DESA. Publicado em outubro de 2022. Disponível em: [https://www.un.org/development/desa/dpad/wp-content/uploads/sites/45/publication/PB\\_140.pdf](https://www.un.org/development/desa/dpad/wp-content/uploads/sites/45/publication/PB_140.pdf). Acesso em: 17 mar. 2024.
- **MALLET**, Jean-Laurent. Geomodeling. Oxford University Press, 2002.
- **MALLET**, Jean Laurent. Discrete modeling for natural objects. Mathematical geology, v. 29, p. 199-219, 1997.
- **PREFEITURA DE SÃO PAULO**. Lei Nº 16.050 DE 31 DE JULHO DE 2014. Disponível em: <https://legislacao.prefeitura.sp.gov.br/leis/lei-16050-de-31-de-julho-de-2014>. Acesso em 17 mar. 2024.
- **RICCOMINI, C.** O rift continental do sudeste do Brasil. São Paulo, 256p. 1989. Tese de Doutorado. Tese de Doutorado-Instituto de Geociências/USP.
- **RICCOMINI, C.** O rift continental do sudeste do Brasil. São Paulo, 256p. 1989. Tese de Doutorado. Tese de Doutorado-Instituto de Geociências/USP.
- **YÜKLER, M. A.**, Cornford, C., Welte, D., Simulation of geologic, hydrodynamic, and thermodynamic development of a sediment basin – a quantitative approach. In U. von Rad, W. B. F. Ryan, and al., editors, Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, pages 761–771, 1979.

# InovAçãoBIM® no projeto da Linha 19-Celeste do Metrô de São Paulo

JÚLIO CÉSAR FRANCO JÚNIOR\* / ANTONIO IVO DE BARROS MAINARDI NETO\*\*

## PROJETO INTEGRADO BIM

A Linha 19-Celeste do Metrô de São Paulo é o primeiro empreendimento de infraestrutura de transporte de passageiros de grande porte e complexidade do Brasil desenvolvido totalmente em BIM (*Building Information Modeling*). Entre as principais características, o projeto compreende um traçado de grande extensão, integração com linhas existentes, inserção urbana em áreas adensadas, reurbanização e integração modal complexas, condições geológicas e topográficas exigentes, necessidade de diferentes métodos construtivos, estações de alta capacidade, poços e valas de grandes dimensões em áreas limitadas e escopo técnico rigoroso. Isso faz da Linha 19-Celeste um projeto desafiador na história recente do Metrô de São Paulo.

O projeto básico da Linha 19-Celeste abrangiu um conjunto significativo de disciplinas e equipes técnicas, tanto internas do Metrô quanto de empresas consorciadas. Numerosos conjuntos de informações foram criados ao longo do desenvolvimento para simulação e validação das soluções técnicas adotadas. Nesse desafio houve um significativo esforço técnico-organizacional da Gerência de Projetos da Diretoria de Engenharia

do Metrô (DE-GPR) no emprego de BIM, para a coordenação e integração de projetos (*figura 1*), em uma estratégia para atender critérios de qualidade, segurança, prazos e custos do programa do empreendimento.

A estratégia BIM abrangiu o uso extenso de tecnologias digitais de projeto, reunindo métodos para aprimorar a coordenação espacial entre disciplinas, sistematizar a utilização de dados, estabelecer fluxos integrados de análise, favorecer a colaboração entre partes interessadas e, como desígnio, minimizar riscos do projeto.

Com esse ímpeto, partiu-se do trabalho de planejamento “a quatro mãos” (entre o Metrô e a coordenação BIM do consórcio), para estabelecer um Plano de Execução BIM (EB) consistente e arrojado, incluindo os principais pontos seguintes:

- Definição de objetivos BIM do projeto;
- Estabelecimento de Ambiente Comum de Dados;
- Delimitação de produtos e usos BIM de cada disciplina;
- Definição de estratégias de modelagem e georreferenciamento;
- Estabelecimento de plano de comunicação e processos de intercâmbio de arquivos;
- Especificação de softwares, formatos nativos e OpenBIM;
- Codificação de arquivos e estrutura de pastas;
- Estabelecimento de procedimentos de con-

trole de qualidade e auditoria de modelos BIM;

• Definição de fluxos de análise e aprovação. Como alicerce para a sistematização de informações de projeto, foi desenvolvida uma base de dados de parâmetros BIM a serem aplicados nos projetos. Essa base, nomeada MetroData (*figura 2*), especifica quais metadados devem ser utilizados para cada classe de objetos BIM. Isso abrange tanto parâmetros já nativos dos softwares de modelagem como conjuntos de propriedades estendidas e customizadas para o Metrô.

Além disso, pela MetroData é estabelecido o mapeamento de parâmetros entre softwares, para garantir a interoperabilidade entre diferentes formatos de dados. Para isso, empregou-se o padrão aberto IFC (*Industry Foundation Classes*), especificando os padrões de exportação para cada disciplina. Com modelos em IFC, o leque de ferramentas aplicáveis ao projeto foi ampliado e, conseqüentemente, as possibilidades e métodos de análise também.

Toda documentação de desenvolvimento do projeto foi armazenada e disponibilizada via plataforma *Trimble Connect*, um Ambiente Comum de Dados (*Common Data Environment, CDE*) baseado em nuvem e com funcionalidades específicas para indústria da construção. Para garantir que informações em uso sejam as mais



Figura 1 - Modelo BIM Federado da Estação Itapegica, uma das 36 unidades construtivas da Linha 19-Celeste



Figura 2 - MetroData: base de dados de parâmetros BIM



Figura 3 - Lista de issues no BIMCollab durante o desenvolvimento de projetos da Estação Jardim Brasil

atualizadas, adotou-se como regra geral que os documentos compartilhados não poderiam ser armazenados em máquinas ou servidores locais e comunicações por e-mail deveriam utilizar links do CDE em vez de anexos.

A comunicação entre projetistas e analistas foi baseada em BCF (BIM Collaboration Format), formato de arquivo estruturado para comunicar e rastrear problemas nos modelos de informação da construção. O BIMCollab (figura 3), foi a ferramenta adotada para esse fim, sendo toda comunicação e gerenciamento de issues (questões) feito por meio dela, onde os dados foram diretamente integrados aos modelos (figura 4).

Complementarmente, os dados de acompanhamento de entregas e de gerenciamento de issues foram conectados a painéis BI (figura 5), para acompanhamento de métricas mais específicas, centradas nos fluxos de trabalho estabelecidos para o projeto.

Cabe ressaltar que essas abordagens para Projeto BIM tiveram como princípios:

- Informação visual;
- Dados estruturados, integrados e interoperáveis;
- Linguagem comum de comunicação;
- Gerenciamento baseado em dados;
- Rastreamento de mudanças;
- Transparência de problemas e resoluções.

**COORDENAÇÃO DIGITAL E OPENBIM**

Em função da utilização de softwares distintos de projeto, diferentes formatos de arquivos são gerados. Tais formatos não necessariamente podem ser transferidos diretamente entre os softwares, seja para análises específicas ou de coordenação interdisciplinar.

Por essa razão, no desenvolvimento dos projetos da Linha 19-Celeste todas as

entregas originárias de modelos de projeto foram baseadas em OpenBIM, no formato IFC, para ampliar os usos de modelos BIM. Com exceção para softwares cujo suporte a OpenBIM tenha apresentado alguma deficiência para o processo de projeto em questão. Nesse caso as entregas foram baseadas em arquivos DWG com propriedades estendidas através de PropertySets específicos. A customização de PropertySets possibilitou a padronização de dados de forma que (i) a leitura deles pudesse ser feita em qualquer software e (ii) o feramental de análise pudesse ser ampliado.

As entregas em IFC e DWG foram combinadas em modelos federados para análise de compatibilidade e das propriedades de cada elemento de projeto. Como no caso do projeto do Pátio Vila Medeiros (figura 6), em que o gabarito dinâmico de livre passagem de trens foi modelado e utilizado na compatibilização de disciplinas, abordagem inovadora desenvolvida para o projeto de via permanente.

Dois softwares principais foram utiliza-

dos para coordenação de projetos:

O Autodesk Navisworks foi empregado para integrar todas as disciplinas, tanto arquivos nativos quanto abertos. Além disso, foi utilizado para combinar as nuvens de ponto vindas do escaneamento a laser (figura 7), na modelagem de condições existentes de estações de integração com outras linhas. Também foi utilizado para geração de modelos de coordenação para retroalimentar modelos de projeto em desenvolvimento no Autodesk Revit.

O Solibri foi utilizado na coordenação de disciplinas para combinar modelos IFC e aplicar uma série de análises de qualidade. Incluem-se nisso a federação de modelos (figura 8), verificação de propriedades de objetos de cada disciplina, análise de metadados, validação da classificação de objetos para fins de quantitativos, análise de interferências, extração de informações geométricas e semânticas, análise de compatibilidade, entre outros.

Este software possui ferramentas de clas-

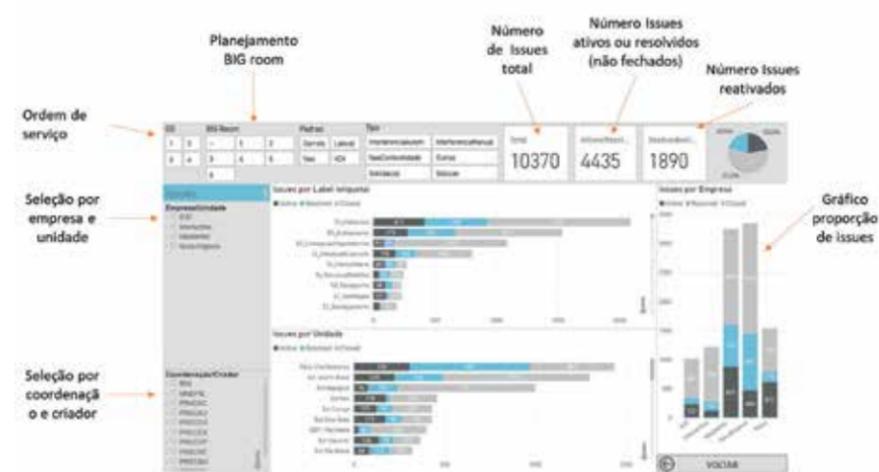


Figura 5 - Painel BI de gerenciamento de issues durante o desenvolvimento de projetos



Figura 4 - Exemplo de comunicação de issues em BCF via BIMCollab

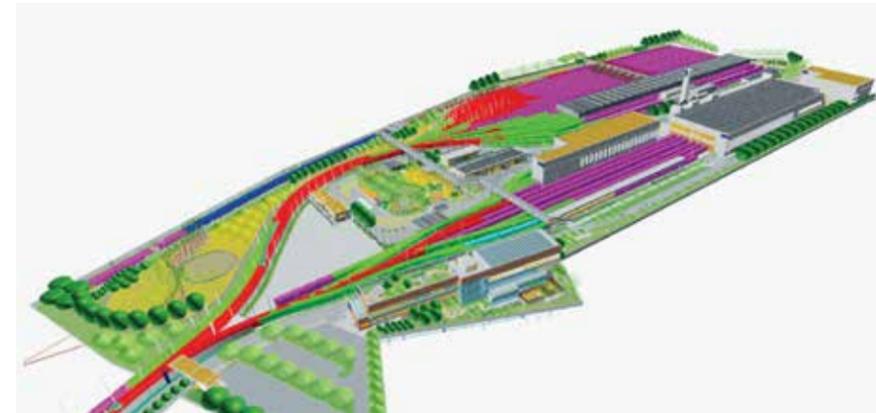


Figura 6 - Modelo Federado do projeto do Pátio Vila Medeiros no Autodesk Navisworks

sificação e análise robustas. Além disso, permite flexibilidade na configuração de regras de verificação, em uma interface mais intuitiva e moderna. Em síntese, sua aplicação permitiu agilidade na extração de informações projetuais, além de automações de tarefas de verificação em massa, o que resultou em economias significativas nas atividades de análise de projetos da Linha 19-Celeste.

**VERIFICAÇÃO DE REGRAS**

Os modelos em IFC foram utilizados nas verificações de regras projetuais via Solibri. O Solibri possui uma ampla biblioteca de regras de verificação, ajustáveis a diferentes necessidades de análise de projeto. As verificações foram aplicadas em modelos federados de cada unidade construtiva sendo organizadas por disciplinas e/ou temas específicos de análise, como exemplo na figura 9 do modelo da Estação Silva Teles.

O processo de verificação de regras foi automatizado utilizando o Solibri Autorun (figura 10), pelo qual as tarefas de rotina passaram a ser disparadas conforme pro-

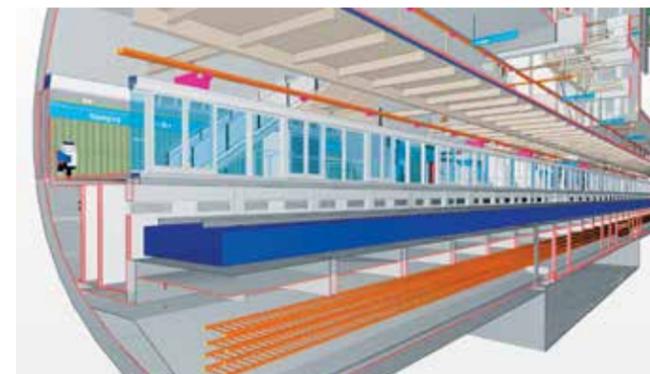


Figura 8 - Modelo Federado da Estação Itapegica para análise no Solibri



Figura 9 - Verificação de regras no modelo federado da Estação Silva Teles



Figura 7 - Perspectiva parcial de nuvem de pontos de escaneamento 3D a laser do acesso à Estação Anhangabaú;

review foram aplicadas nas fases de concepção; visitas do corpo técnico às equipes externas consorciadas (e vice-versa) ocorreram nas fases intermediárias de desenvolvimento e; por fim, Big Rooms (figura 12), foram realizadas para acelerar resoluções projetuais. Aqui cabe ressaltar a última abordagem.

As Big Rooms foram sessões técnicas realizadas com objetivo de reunir profissionais chave para a resolução de issues (questões) de projeto em um ambiente de comunicação ágil, presencialmente na Estação de Construção Digital do Metrô. Os profissionais mobilizados abrangeram projetistas e tomadores de decisão das empresas consorciadas, além de especialistas e gestores do Metrô, de forma a propiciar um ambiente de colaboração multi-inter-disciplinar para analisar entraves, validar soluções e implementá-las resolutivamente em cada disciplina de projeto. Essa abordagem buscou reduzir distâncias físicas, digitais e institucionais entre as partes diretamente interessadas no desenvolvimento do projeto.

Com isso, foi possível intensificar a resolução de problemas técnicos, compatibilizar projetos com mais agilidade e, assim, reduzir perdas nos processos de análise e validação

gramado via código em XML. Os códigos desenvolvidos abrangeram buscar arquivos IFC no CDE para atualização de modelos federados, aplicação de classificação de objetos, execução de verificações, exportação de relatórios, extração de informações e quantitativos, entre outras.

Além disso, os resultados das verificações foram integrados a painéis BI de acompanhamento de qualidade do desenvolvimento de projetos, cuja automatização de processos de rotina foi fundamental para acompanhar a dinâmica intensa de geração e verificação de dados projetuais BIM. A figura 11 apresenta, por exemplo, o painel usado para acompanhar a verificação de interferências entre o gabarito da superestrutura da via com elementos estruturais contíguos.

**COLABORAÇÃO APRIMORADA**

Ao longo do desenvolvimento do Projeto Básico da Linha 19-Celeste os modelos BIM foram base para diversas abordagens de coordenação e colaboração entre equipes. Entre abordagens, sessões de design



Figura 10 - Processo de automatização de verificação de regras e extração de informações via Solibri

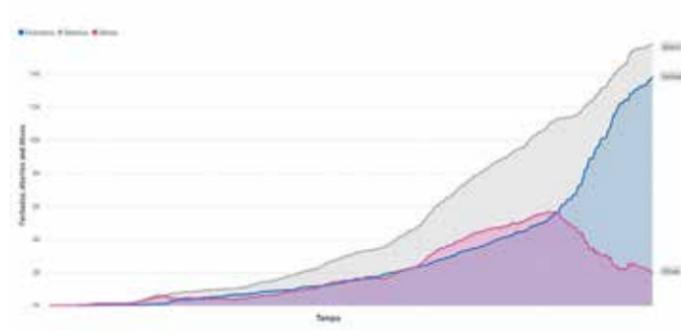


Figura 13 - Curvas de issues Fechados, Abertos e Ativos da Linha 19-Celeste

projetuais. Isso resultou em maior colaboração e eficácia no atendimento ao rigor técnico de entregas, agregando qualidade ao processo de projeto.

Numericamente os resultados foram

acompanhados do aumento da taxa de issues fechados e da diminuição da taxa de issues ativos, cujo cruzamento das curvas correspondentes (figura 13), aponta o início das Big Rooms com pontos de inflexão significativos.

Tais métricas foram acompanhadas ao longo de todo o desenvolvimento do projeto.

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

As abordagens de Integração, Coordenação e Colaboração apresentadas buscaram robustecer práticas de desenvolvimento de projetos ante aos desafios enfrentados na estruturação de processos sociotécnicos, na complexidade de soluções projetuais e na definição precisa de quantitativos de serviços e materiais a partir de modelos BIM. Respeitando ao mesmo tempo diretrizes e responsabilidades.

Nesse contexto, a transformação digital impactou todas as frentes de trabalho, refletindo novos paradigmas relacionados à inovação no desenvolvimento de projetos de infraestrutura de grande envergadura como a Linha 19-Celeste.

O Metrô, pela sua dimensão, importância, diversidade e temporalidade, tem sido catalisador dessa transformação, desenvolvendo de forma proativa, juntamente com seus parceiros, as competências para utilização de tecnologias inovadoras na cadeia de construção metroferroviária, notadamente aqui, por meio de tecnologias BIM.

Impulsionar a inovação é fundamental para aumentar a eficiência e diminuir riscos, o que em projeto tem significado promover a utilização de novas tecnologias como BIM. Para além disso, esse anseio se renova frente aos próximos capítulos da Linha 19-Celeste do Metrô de São Paulo. 🚇

\* **Júlio César Franco Júnior** é Engenheiro Civil, exerce o cargo de Supervisor na Gerência de Projetos do Metrô-SP  
E-mail: julio.franco@metrosp.com.br

\*\* **Antonio Ivo de Barros Mainardi Neto** é Arquiteto, exerce o cargo de Supervisor na Gerência de Projetos do Metrô-SP  
E-mail: imainardi@metrosp.com.br

Gabarito lateral da via					Gabarito Via e Plataforma				
EGT					EGT				
1	0	0	0	0	2	0	0	0	0
0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
Intertechne					Intertechne				
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Maubertec					Maubertec				
1	0	0	1	0	2	0	1	2	0
1	1	0	0	0	0	2	0	0	0
Nova Engerix					Nova Engerix				
0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 11 - Painel de resultados de análise de interferências entre disciplinas



Figura 12 - Big Room da Linha 19-Celeste em andamento na Estação de Construção Digital do Metrô-SP

## RSS-Series



### ► Tesoura de sucata Rotar

Uma tesoura de sucata de nova geração que lida facilmente com as circunstâncias mais difíceis em pátios de sucata industrial.

Um cilindro potente em combinação com a garantia da válvula de velocidade integrada.

Uma excelente força de corte.

Hidráulica bem equilibrada juntamente com uma construção resistente ao desgaste, que se transforma em um valioso equipamento com ótimo desempenho.



### ► Algumas aplicações são:

- Sucatas
- Demolições
- Reciclagem
- Naufrágios.

### ► Características

- Força de corte extrema (potência)
- Tempos de ciclo rápidos
- Rotação de 360°
- Arestas de corte indexáveis
- Lâminas de bolso totalmente protegidas
- Adaptador parafusado
- Atendimento no Brasil



☎ 11 99900-5433 / 11 999371995

getefer@getefer.com.br  
www.getefer.com.br





## Evolução da maturidade do novo processo de gestão do cronograma na implantação das obras da Linha 2-Verde

CAMILA DE CASTRO JACINAVICIUS\* / LUIZ FELIPE PENTEADO FRANCISCO\*\*  
MARCOS EDUARDO REGINATO FERNANDES FILHO\*\*\*

### INTRODUÇÃO

O cronograma do projeto fornece um plano detalhado que representa como e quando o projeto vai entregar os produtos, serviços e resultados definidos no escopo, servindo como ferramenta de comunicação com as partes interessadas e como base para emissão de relatórios de desempenho (PMI, 2017).

O gerenciamento do cronograma tem como objetivo garantir o término pontual dos projetos, porém em empreendimentos de construção a ocorrência de atrasos é bastante frequente, considerado um fenômeno global por diversos autores (Cantarelli, Flyvbjerg e Buhl, 2012; Crotty 2012, apud Daniel et al., 2017; Lee, 2008; Steininger, Groth e Weber, 2021).

Steininger, Groth e Weber (2021) citam que a complexidade dos empreendimentos de infraestrutura cresce proporcionalmente ao seu

tamanho. No caso dos empreendimentos do Metrô de São Paulo, fatores como impactos em uma das metrópoles mais populosas do mundo, interferências com redes de concessionárias, necessidade de autorizações de inúmeros órgãos em diversas esferas, existência de áreas contaminadas, achados arqueológicos e complexidade no licenciamento ambiental dos empreendimentos, necessidade de desapropriações, grande quantidade de partes interessadas e muitos contratos sendo geridos simultaneamente em um ciclo de produção extenso, aumentam a complexidade e tornam o gerenciamento ainda mais desafiador.

Visando aumentar as chances de sucesso dos seus empreendimentos, em 2019 a Diretoria de Engenharia e Planejamento do Metrô de São Paulo desenvolveu um processo padronizado para fiscalizar e gerenciar os cronogramas da fase de implantação de seus empreendimentos baseado no sistema *The Last Planner System* (BALLARD, 2000).

O *Last Planner System* (LPS) é considerado um sistema para o planejamento e controle da produção, que visa criar um fluxo de trabalho contínuo e estável nas obras a partir do conceito de planejamento em ondas sucessivas e de planejamento puxado, envolvendo as partes interessadas responsáveis pela execução das atividades na etapa planejamento. Perez e Ghoshi (2018) citam que o LPS é uma das principais técnicas para atingir os objetivos da Construção Enxuta ou *Lean Construction*.

Resumidamente, o processo definido para a gestão dos cronogramas da fase de implantação dos empreendimentos contempla as seguintes etapas:

**Cronograma Físico de Longo Prazo (CFLP):** cronograma que abrange todo o escopo contratado trazendo marcos e durações em alto nível, servindo como diretrizes para o detalhamento do planejamento;

**Planejamento Físico de Médio Prazo (PFMP):** detalhamento do CFLP para o hori-

zonte dos próximos 6 meses, com o objetivo de antecipar tratativas para remoção de restrições que possam impactar a execução no curto prazo e fornecer subsídios para acompanhamento das metas do longo prazo;

**Cronograma Físico de Curto Prazo (CFCP):** detalhamento do PFMP para o horizonte de 6 semanas, considerando o status das restrições gerenciadas e as contribuições das equipes de produção e fiscalização de campo em uma rotina semanal de atualização.

### IMPLEMENTAÇÃO DO PROCESSO NA EXPANSÃO DA LINHA 2-VERDE

Após a definição do novo processo de gestão do cronograma, a Diretoria de Engenharia e Planejamento forneceu uma capacitação específica para as equipes envolvidas das Gerências de cada um dos empreendimentos em implantação.

As capacitações ocorreram entre outubro de 2019 e março de 2020, quando foram paralisadas devido às restrições decorrentes da pandemia de COVID-19. Ao todo foram capacitados 231 profissionais, o que correspondeu a 84% do público-alvo.

Além disso, para colocar em prática o processo estabelecido para gerenciar as

obras civis da Linha 2-Verde, a Gerência responsável pelo empreendimento decidiu desenvolver um projeto específico.

Ao todo foram identificadas 24 partes interessadas neste projeto, agrupadas em grupos de interesse, sendo as prioritárias a equipe do projeto, os líderes e os usuários do procedimento (contratante e contratada).

Primeiramente buscou-se o engajamento das lideranças. Foram realizadas apresentações da metodologia, demonstrando os benefícios e solicitando colaboração e apoio junto às equipes. Salles (2018) mencionou que mudanças ocorrem apenas se as lideranças forem modelos para suas equipes. Houve uma participação de 100% dos líderes nas apresentações. Essa participação foi mencionada nas demais etapas para motivar e engajar os usuários do procedimento.

Para engajamento dos usuários do procedimento, foi realizada capacitação técnica específica, desenvolvida especificamente no âmbito da Gerência responsável pelo empreendimento da Linha 2-Verde, com um enfoque mais prático e de uniformização dos conceitos. Segundo Salles (2018) antes de responsabilizar as pessoas por novos comportamentos em uma mudança é necessário ensiná-las. Os trei-

namentos tiveram um aproveitamento excelente considerando a aderência de 100%.

O início da aplicação do procedimento foi marcado por uma reunião "kick-off" entre contratada e contratante, para alinhamento e formalização da periodicidade e do formato das entregas de documentos, bem como das reuniões semanais de curto prazo. Paralelamente foram detalhados os processos de trabalho no âmbito do empreendimento.

Na entrega das documentações de planejamento de médio prazo a aderência foi acompanhada por período e por contrato conforme a tabela 1. No início do projeto, ano de 2020, a média da aderência entre os contratos foi de 48%, considerada ruim, em 2021 a média da aderência subiu para 74% e em 2022 atingiu 100%. Observou-se uma resistência entre as partes (contratada e contratante), sendo que a maior alegação era a falta de tempo para realizar essas atividades.

Com relação às reuniões de curto prazo foram consideradas as aderências relacionadas à realização das reuniões e à participação por contrato ao longo do tempo. Na tabela 2 foram mostrados os dados relacionados à realização das reuniões. A média de aderência entre os contratos no ano de 2020 foi de 25%, considerada ruim, em 2021 foi de 55%, considerada regular e em 2022 atingiu-se a excelência com 100% de aderência às realizações das reuniões.

Na tabela 3 foram apresentados os dados referentes à quantidade de participantes nas reuniões, pois, não bastavam apenas que as reuniões acontecessem, mas que também as pessoas de interesse participassem das reuniões. Em 2020 a média dos contratos com relação à aderência na participação foi de 77%, considerada regular, em 2021 essa média subiu para 81%, sendo considerada ótima e em 2022 a média da aderência foi de 92%.

Cabe ressaltar, que apesar da aderência em 2022 não ter sido 100% na média anual, o Contrato Y aderiu à participação em sua plenitude a partir do mês de maio e o Contrato Z a partir de agosto. Logo, considerou-se que a excelência foi atingida a partir deste momento.

Essa mudança de processo foi determinada no âmbito da Diretoria de Engenharia e Planejamento e, apesar de ter tido a participação ativa das Gerências responsáveis pelos empreendimentos, pode ser considerada uma mudança "top down", ou seja, de cima para baixo, envolvendo autoridade e obediência.

Mudanças desse tipo são chamadas de mudanças dirigidas, onde se faz necessário lidar com as respostas emocionais das partes interessadas (Kerber & Buono, 2005). Esse tipo de mudança é mais rápida para ser introduzida em uma organização, porém pode gerar reações de resistência (Gerolamo, 2019).

**Tabela 1 - Aderência das contratadas nas entregas das documentações de Planejamento de Médio Prazo por ano (Fonte: Metrô de São Paulo)**

CONTRATO	ADERÊNCIA – 2020 (%)	ADERÊNCIA – 2021 (%)	ADERÊNCIA – 2022 (%)
Contrato X	67	75	100
Contrato Y	44	64	100
Contrato Z	33	83	100

**Tabela 2 - Aderência nas realizações das reuniões de curto prazo por ano (Fonte: Metrô de São Paulo)**

CONTRATO	ADERÊNCIA – 2020 (%)	ADERÊNCIA – 2021 (%)	ADERÊNCIA – 2022 (%)
Contrato X	33	83	100
Contrato Y	25	44	100
Contrato Z	17	40	100

**Tabela 3 - Aderência na participação das reuniões de curto prazo por ano (Fonte: Metrô de São Paulo)**

CONTRATO	ADERÊNCIA – 2020 (%)	ADERÊNCIA – 2021 (%)	ADERÊNCIA – 2022 (%)
Contrato X	81	94	100
Contrato Y	75	75	91
Contrato Z	75	75	84

Segundo Roic e Abrantes (2022), pesquisadores têm estudado a psicologia da mudança das organizações, comparando os sentimentos decorrentes dos estágios do luto, descritos por Kubler-Ross (1969), com sentimentos de mudanças organizacionais, assim como ilustrado pelo gráfico da figura 1.

Durante a fase de resistência, foram observadas as reações de negação e raiva e, então, foram realizadas reuniões para alinhamento e lembrar os benefícios que a metodologia poderia trazer a longo prazo no acompanhamento dos prazos. Foi trabalhado também a questão de conscientização quanto a necessidade da padronização do processo para se ganhar tempo, já que a falta de tempo para dedicação ao projeto era um motivo de resistência.

Além de trabalhar a motivação lembrando o propósito do projeto, também foram realizadas reuniões de “feedback” para entender as necessidades e as dificuldades dos usuários do procedimento.

Neste momento, observou-se que as partes interessadas identificadas como um grupo de usuários do procedimento deveriam ser tratadas individualmente. Essa ação foi importante porque apesar de fazerem parte de um grupo comum e terem características semelhantes cada pessoa tinha percepções, anseios, comportamentos e opiniões distintas. Desta forma, ao identificar cada pessoa do grupo foi possível verificar quais pessoas eram aliadas ou desaceleradores, estabelecendo assim gerenciamentos individuais.

Para os aliados buscou-se maior aproximação com os demais envolvidos, de forma que pudessem relatar os benefícios encontrados com o processo e influenciar outras partes interessadas, principalmente os desaceleradores.

Com relação aos desaceleradores foi necessário monitorar com mais frequência a participação e o engajamento nas reuniões. Observou-se uma melhora com o passar do tempo, mas estas pessoas demandaram maior energia para implementação do processo. Uma ação positiva para o engajamento foi a solicitação do patrocinador em receber periodicamente de cada usuário do procedimento por parte da contratante os resultados dos acompanhamentos de cronograma dos seus contratos. Essa ação gerou maior interesse e participação.

A aceitação ocorreu ao longo do tempo e na proporção que o processo entrou na rotina dos usuários, atingindo uma aderência de 100%.

### RESULTADOS ALCANÇADOS

Com o empreendimento ainda em implantação, e com atividades em desenvolvimento de outras fases do ciclo de vida não

cobertas pelo processo de gerenciamento do cronograma descrito neste artigo, como desapropriações, licenciamento ambiental e contratações, não é possível mensurar benefício de forma direta. Contudo, é possível avaliar algumas métricas e a percepção da equipe envolvida no gerenciamento do empreendimento.

Com relação ao indicador Percentual do Programado Concluído (PPC), que mede a qualidade do Planejamento de Curto Prazo, analisando dados entre agosto de 2021 e setembro de 2022, observou-se um resultado acumulado de 82,8%, acima dos valores citados como referência na bibliografia.

A estabilidade do indicador foi atingida a partir da semana 41, conforme gráfico da figura 2. Um resultado bastante importante, considerando que um dos principais objetivos da metodologia é garantir um fluxo de produção contínuo.

Foi possível observar que atividades cíclicas

(tais como escavações de túneis e poços, ou que já foram executadas anteriormente, tendem a apresentar melhor PPC dos que atividades novas e que possuem mais variações (como por exemplo escavações de valas e execução de estruturas de concreto). Vale ressaltar, que o comportamento da equipe de produção também influencia no indicador, frentes com equipes mais comprometidas com planejamento tendem a ter um indicador melhor do que as menos comprometidas.

Com relação à percepção da equipe, o primeiro aspecto que se destaca é a evolução da maturidade do processo, atualmente se fala sobre planejamento e cronograma no dia a dia da fiscalização.

A participação das equipes de produção e planejamento no processo e nas reuniões foi de vital importância, no início houve resistência, principalmente por parte das equipes de produção e fiscalização. A justificativa muitas vezes era falta de tempo,

mas observou-se que se tratava mais de uma percepção de acreditar que planejamento era responsabilidade da área de planejamento por parte dessas pessoas. A participação se tornou mais efetiva quando as pessoas entenderam que fazem parte do processo, e que a integração das áreas contribui para um planejamento mais confiável.

A metodologia prevê que o foco dessas reuniões seja planejamento, sendo que assuntos específicos como critérios de qualidade, segurança do trabalho, projetos executivos, aspectos de meio ambiente, tratativas com comunidade lindeira, entre outros, podem ser apontadas na reunião como uma restrição ou justificativa, mas devem ser tratados em paralelo, em reuniões específicas sobre os assuntos.

No início, por questões culturais, era comum a abordagem desses assuntos de forma detalhada, mas cabia à moderação da reunião, no caso o líder do escritório de projetos da gerência, efetuar o direcionamento dos participantes para o foco da reunião: planejamento. Com o passar do tempo, os próprios participantes começaram a se corrigir quando mencionavam questões não relacionadas à reunião.

Com relação ao planejamento físico de médio prazo e ao mapeamento das restrições, verificou-se que a identificação de restrições passou a ser algo observado no planejamento, uma preocupação que não havia anteriormente. Por consequência, poucas atividades não são executadas por restrições e o planejamento fica mais confiável.

A validação do que foi executado é realizada em conjunto pela contratada e pela contratante, e desta forma a apuração dos dados de avanço físico, bem como datas de início e término das atividades ficam registradas em comum acordo.

Com relação aos outros indicadores do processo, o Desempenho do Avanço Físico (DAF), que é a razão entre o avanço físico previsto e realizado acumulado, e o Desvio de Prazo (DP), que traz a diferença em dias entre o avanço físico previsto e o realizado na curva “S”, por meio deles tem sido possível observar desvios no planejamento de maneira antecipada, permitindo a elaboração de planos de ação para manutenção das metas do cronograma físico de longo prazo.

### CONCLUSÃO

O novo processo de gestão do cronograma tem trazido benefícios para o em-

preendimento da Linha 2-Verde do Metrô, sendo os principais:

- Maior colaboração entre contratante e contratada e entre as equipes de campo (fiscalização e produção) e planejamento;
- Maior confiabilidade no planejamento e um fluxo de produção mais estável;
- Monitoramento e controle mais efetivos do cronograma dos contratos e do empreendimento;
- Diagnóstico mais preciso e precoce de restrições com capacidade de impacto à produção;
- Gerenciamento das restrições em documentos periodicamente atualizados e monitorados;
- Coleta e registro das justificativas de desvio em comum acordo entre contratada e contratante no momento da ocorrência deste;
- A aderência de todas as programações adotadas em campo com o CFLP e PFMP.

A partir da experiência adquirida foi possível uma primeira onda de melhoria, com a revisão do processo publicada em 2024 e a incorporação de novas especificações para o gerenciamento do cronograma dos novos contratos do Metrô.

A evolução e a maturidade deste pro-

cesso é uma ação contínua e que depende do envolvimento das partes interessadas, do apoio das lideranças, da resiliência das equipes de planejamento e do escritório de projetos e da conscientização e uso dos documentos pelas equipes de produção e fiscalização como partes integrantes do processo. A partir do momento que vira rotina e as pessoas conseguem perceber os benefícios, o processo flui de uma forma constante.

\* **Camila de Castro Jacinavicius** é Engenheira Civil do Escritório de Projetos da Gerência do Empreendimento da Linha 2-Verde do Metrô-SP  
E-mail: ccjacinavicius@metrospp.com.br

\*\* **Luiz Felipe Penteadó Francisco** é Engenheiro Civil, Coordenador do Escritório de Projetos da Diretoria de Engenharia e Planejamento do Metrô-SP  
E-mail: lfpfrancisco@metrospp.com.br

\*\*\* **Marcos Eduardo Reginato Fernandes Filho** é Engenheiro Civil, Coordenador do Escritório de Projetos da Gerência do Empreendimento da Linha 2-Verde do Metrô-SP  
E-mail: marcosreginato@metrospp.com.br

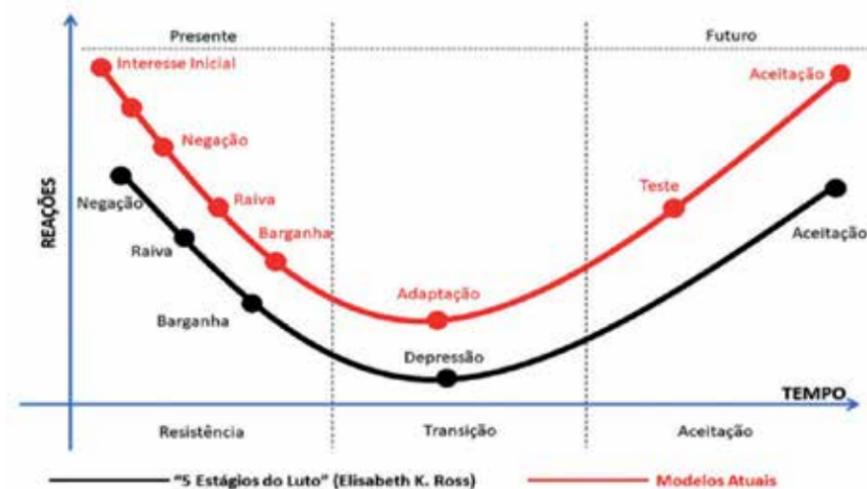


Figura 1 - Curva de estágios de mudança [Fonte: Miller (2012) adaptado por Roic e Abrantes (2022)]

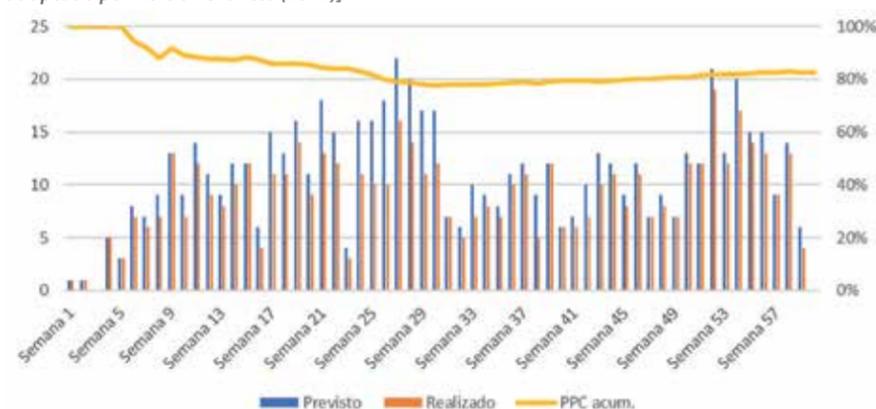


Figura 2 - Resultado do indicador PPC do empreendimento no período entre a semana 1 e a 59 [Fonte: Metrô de São Paulo]

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BALLARD, H. G. The Last Planner System of Production Control. Tese (Doutorado) – Universidade de Birmingham – Faculdade de Engenharia – Escola de Engenharia Civil. Inglaterra, 2000.
- [2] CANTARELLI, C. C.; FLYVBJERG, B.; BUHL, S. L. Geographical variation in project cost performance: the Netherlands versus worldwide. Journal of Transport Geography, v. 24, p. 324–331, 2012.
- [3] DANIEL, E. T.; PASQUIRE, C.; DICKENS, G.; BALLARD, H. G. The relationship between the last planner® system and collaborative planning practice. Engineering, Construction and Architectural Management, v. 24, n. 3, p. 407-425, 2017.
- [4] GEROLAMO, M. C. Gestão da mudança na perspectiva do comportamento organizacional e da liderança: proposta de um framework teórico e avaliação de iniciativas acadêmicas. Tese de Livre-Docência. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil, 2019.
- [5] KERBER, K.; BUONO, A. F. Rethinking organizational change: reframing the challenge of change management. Organizational Development Journal, 23(3): 23-38, 2005.
- [6] KUBLER-ROSS. On death and dying. 1ed. The Macmillan Company. New York, USA, 1969.
- [7] LEE, J. Cost Overrun and Cause in Korean Social Overhead Capital Projects: Roads, Rails, Airports, and Ports. Journal of Urban Planning and Development, v. 134 iss:2, 59-62, 2008.
- [8] PEREZ, A. M.; GHOSHI, S. Barriers faced by new-adopter of Last Planner System®: a case study. Engineering, Construction and Architectural Management, Emerald, v. 25, n. 9, pp. 1110-1126, 2018.
- [9] PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE (PMI). Um guia do conhecimento em gerenciamento de projetos (Guia PMBOK). 6ª edição, Estados Unidos, 2017a.
- [10] ROIC, E., ABRANTES, M. L. M. Gestão de mudança: o papel da liderança na condução das pessoas e das organizações para atuarem com qualidade em serviços 4.0. In: Congresso da Qualidade Qualite-se Brasil, 2022, Brasil, 2022.
- [11] SALLES, J. R. M. Gestão da mudança de cultura organizacional: a perspectiva da alta gestão. Dissertação (MPA). Escola de Administração de Empresas de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil, 2018.
- [12] STEININGER, B. I.; GROTH, M.; WEBER, B. L. Cost overruns and delays in infrastructure projects: the case of Stuttgart 21. Journal of Property Investment & Finance, Emerald, v. 39, n. 3, p. 256-282, 2021.



# Sinalização de trens, eficiência e sustentabilidade à serviço do passageiro

CARLOS ALBERTO DE FREITAS TIMÓTEO\* / GLAUCO FERNANDES LOPES\*\*

## A IMPORTÂNCIA DO SISTEMA DE SINALIZAÇÃO SOB OS ASPECTOS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SUSTENTABILIDADE

Quando se pensa em Sistema de Sinalização no setor metroferroviário associa-se esse sistema à sua principal finalidade que é garantir a movimentação confiável e segura dos trens. Entretanto, com o avanço tecnológico dos sistemas de comunicações foi possível estabelecer um canal de comunicação “em tempo real” entre os equipamentos do trem e os equipamentos de via, de estações e do centro de controle e, com isso, foi possível um controle dos trens em malha fechada. Ou seja, esse avanço tecnológico possibilita ao centro de controle alterar parâmetros de tempo de percurso, de aceleração e de frenagem dos trens em tempo real, assim como monitorar as condições dos

equipamentos do trem. Os Sistemas de Sinalização com tecnologia ETCS – *European Train Control System* (mais utilizado em ferrovias de passageiros e de carga) e CBTC – *Communication Based Train Control* (mais utilizado em transportes urbanos de passageiros), por estarem apoiados em sistemas de comunicação digital, possibilitam oferecer um meio de transporte cada vez mais eficiente, seguro e sustentável aos passageiros.

Essas novas tecnologias, além de oferecer altos níveis de segurança, permitem um aumento da capacidade de transporte, por possibilitar uma maior aproximação entre trens (menor *headway*) e maior pontualidade no sistema de transporte devido a maior flexibilidade para recuperar atrasos e evitar interrupções na operação da linha.

Uma característica que se observa nesses sistemas de sinalização é a sua

condição de contribuir para que a viagem do passageiro possa ser feita de forma suave, ou seja, evitando acelerações e frenagem bruscas durante a viagem. O controle mais efetivo dos sistemas de tração e frenagem do trem que os sistemas CBTC e ETCS propiciam, contribuem para a redução do consumo de energia elétrica utilizada pelos trens, redução do desgaste de equipamentos do trem (motores, equipamentos de freio, rodas), e de via (Aparelhos de Mudança de Via e trilhos), assim como contribuem com redução do custo de manutenção do sistema de transporte.

Além disso, o sistema CBTC permite que os trens possam ser operados com grau de automação GoA3 – Operação sem operador na cabine ou GoA4 –, Operação sem operador a bordo, que é mais eficiente em termos energéticos que a operação manual tradicional. Utilizando

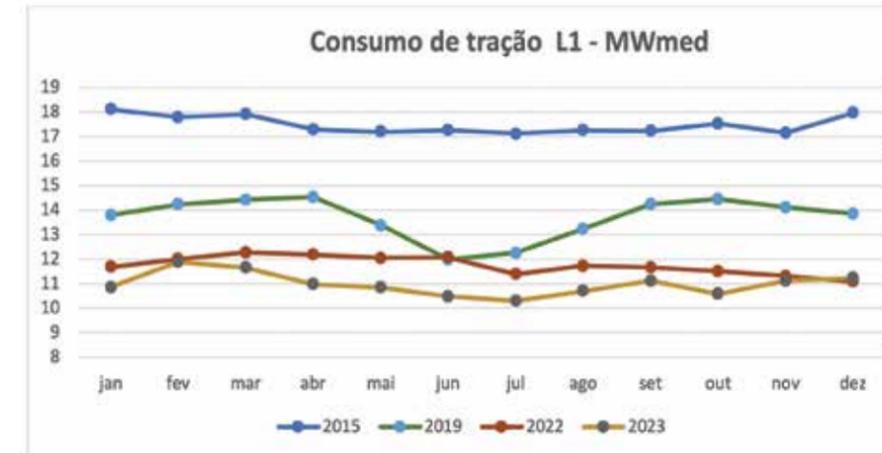


Figura 2 - Consumo de tração Li - MWmed

operando automática em GoA3 ou GoA4 não são necessárias acelerações e frenagens desnecessárias do trem. Essa característica possibilita uma razoável economia de energia e contribui para a sustentabilidade de todo o sistema de transporte.

Como mencionado, essas características do Sistema CBTC contribuem diretamente com a sustentabilidade e redução de interferências às mudanças climáticas do sistema de transporte metroferroviário e à medida que novos avanços tecnológicos forem incorporados nesse sistema maiores serão os ganhos para o transporte metroferroviário, pois tornará esse tipo de transporte mais atrativo contribuindo de forma direta com a redução de congestionamentos nas cidades e com extrema redução de emissões de carbono na ordem de milhões de toneladas. A tendência é que cada vez mais as pessoas façam a opção por meios de transportes rápidos, seguros, confiáveis e que sejam sustentáveis e a utilização de novas tecnologias como o CBTC e o ETCS são uma tendência no setor metroferroviário mundial.

## A EXPERIÊNCIA DO METRÔ DE SÃO PAULO COM O SISTEMA DE SINALIZAÇÃO CBTC

A primeira experiência do Metrô de São Paulo com o Sistema CBTC ocorreu na Linha 2-Verde que passou a operar em toda a sua extensão com essa tecnologia em fevereiro de 2016 e, posteriormente, na Linha 1-Azul em novembro de 2022. As vantagens em se utilizar sistemas de sinalização com tecnologia CBTC não se resumem somente no aumento da

disponibilidade do serviço de transporte que se dá pela utilização de equipamentos redundantes e com maior confiabilidade, mas também nos ganhos (in) diretos relacionado ao menor consumo de energia elétrica de tração e menores desgastes de equipamentos dos trens e da via por utilizar perfis contínuos de velocidade. Esses perfis contínuos de velocidade permitem um controle mais otimizado das curvas de tração e frenagem e consequentemente, resultam numa viagem mais confortável ao passageiro e mais eficiente sob o ponto de vista energético e ambientalmente correta.

Na figura 1 é apresentada a arquitetura básica do Sistema CBTC implantado nas linhas 1-Azul e 2-Verde do Metrô de São Paulo, contemplando os equipamentos de controle do Intertrovamento (IXL) que são responsáveis pelo controle de rotas e funções de

proteção automática de trens (ATP), de movimentação automática e segura dos trens (ATC), de supervisão e controle dos trens (ATS), dos módulos de interface com os equipamentos de via/ estação (Remote IO), dos rádios que permitem o link de comunicação entre os trens e os equipamentos fixos de via, de estação e de pátio e na via são distribuídos equipamentos passivos, denominados de balizas que são utilizadas pelos trens para aferição de sua posição exata, ou seja, quando o trem passa por uma baliza ele atualiza a posição calculada e medida pela sua odometria. Devido a essa característica de conhecer a posição precisa do trem na via, o Sistema CBTC possibilita um melhor controle de tração e frenagem do trem e, como isso, contribui substancialmente para a eficiência energética nos sistemas de tração desde as subestações elétricas até aos motores do trem (redução no consumo de energia de tração pelo trem).

Os benefícios relacionados à eficiência energética se ampliam quando se programa no Sistema CBTC tabelas horárias que priorizam velocidades mais baixas em horários em que a demanda é menor para não trazer impacto aos passageiros. Como o consumo de energia varia com o quadrado da velocidade, utilizar velocidades mais baixas no trajeto propiciam uma redução significativa no consumo de energia de tração pelos trens e contribuem para uma maior eficiência operacional.

O Metrô de São Paulo depois da crise energética de 2015, que elevou

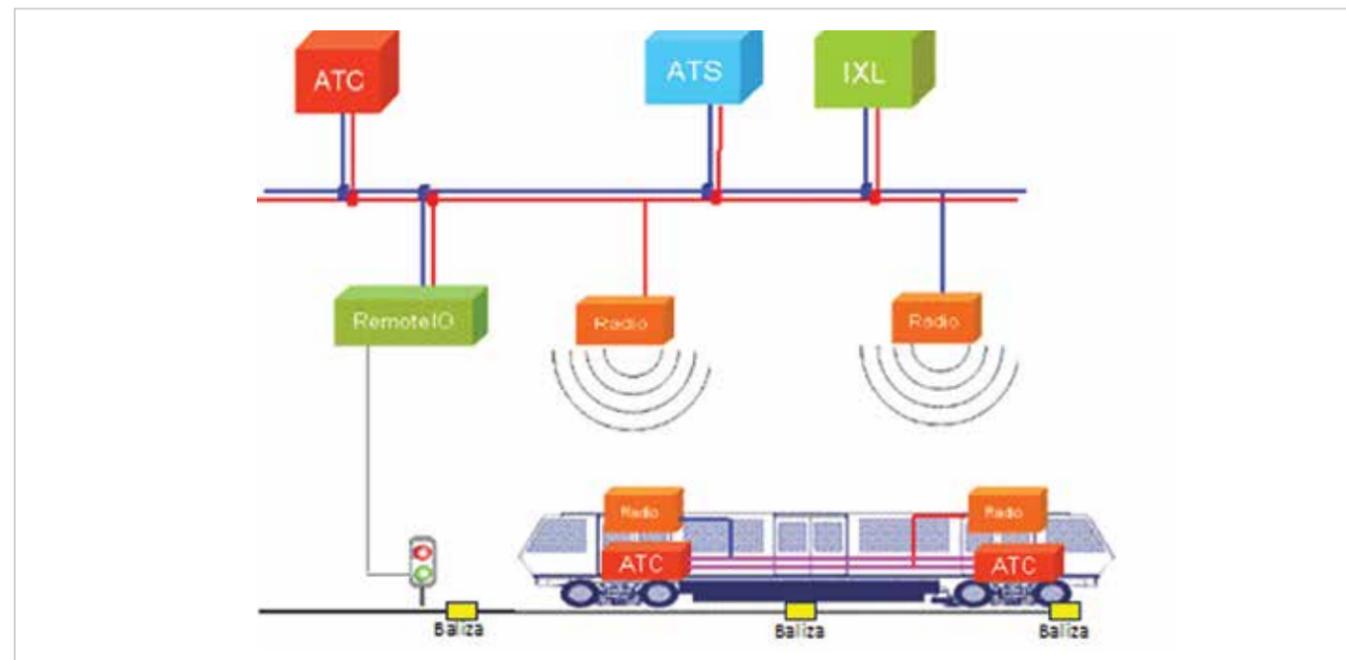


Figura 1 - Arquitetura Básica do Sistema CBTC

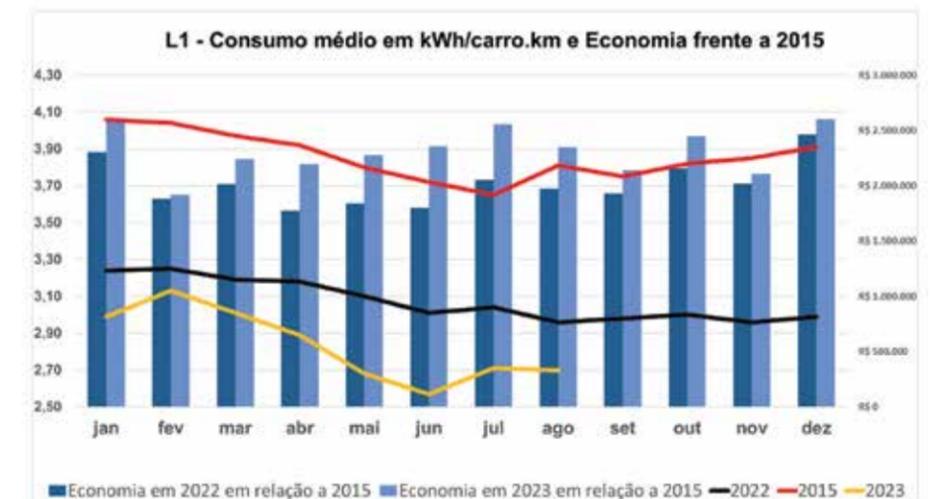


Figura 3 - L1 - Consumo médio em kWh/carro.km e Economia frente a 2015

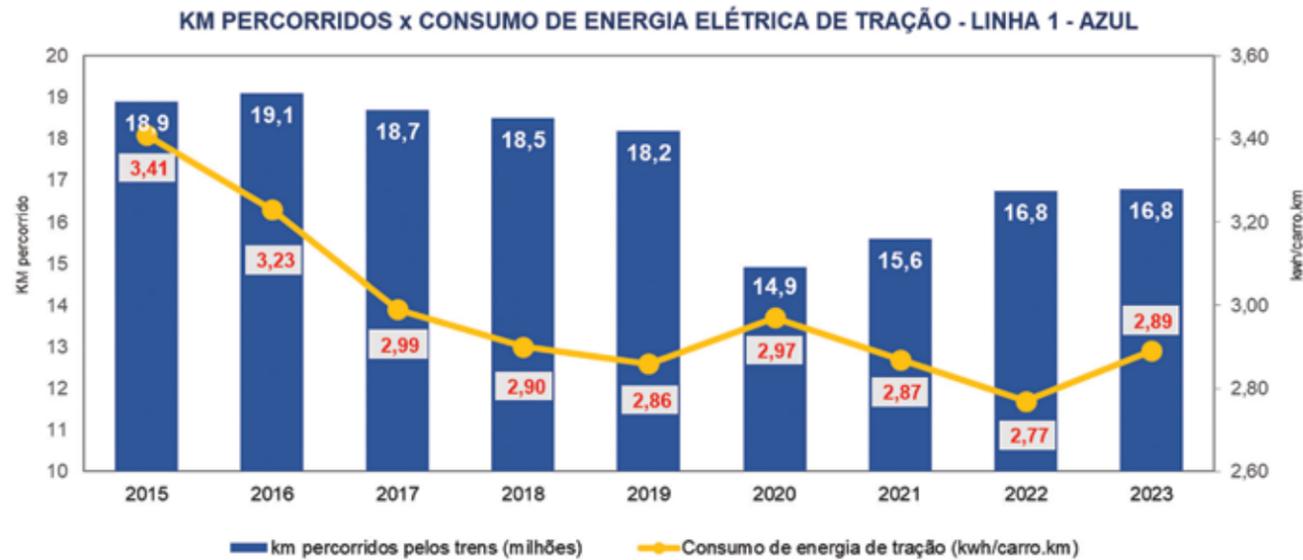


Figura 4 - Redução do consumo de tração (kWh/car.km) na Linha 1-Azul

substancialmente as tarifas de energia elétrica, criou um comitê interno para estudar e propor ações para reduzir o consumo de energia elétrica. Uma primeira ação no sentido de reduzir o consumo de energia foi a implantação do Sistema CBTC na Linha 2-Verde em fevereiro de 2016 e, posteriormente, outras ações foram direcionadas ao Sistema de Sinalização das linhas 1-Azul e 3-Vermelha, como por exemplo, modificar o ajuste dos níveis de desempenho do trem, no percurso entre estações, e as tabelas horárias utilizadas durante a operação comercial. Em novembro de 2022 foi implantado o Sistema CBTC na Linha 1-Azul em substituição ao antigo Sistema de Sinalização que, como veremos, também contribuiu para melhorar a eficiência energética do sistema.

No gráfico da figura 2 é possível observar que o consumo médio anual de tração na Linha 1-Azul em 2015, época da crise hídrica, era de 17.500 MWmed, em 2019 esse consumo médio anual foi reduzido para 13.700 MWh, em 2022 foi reduzido para 11.700 MWh e em 2023, depois da implantação do Sistema CBTC, esse valor foi reduzido ainda mais para 11.000 MWh, ou seja, entre 2015 e 2023 houve uma redução no consumo de energia elétrica em torno de 37% que, em grande parte, foi possível de ser atingida devido a adequações no Sistema de Sinalização.

Por ser um elo fundamental no sistema de transporte metroferroviário,

constatamos sob o ponto de vista de eficiência energética, que o consumo médio em kWh.km vem sendo reduzido significativamente desde 2015, conforme figura 3, e que o Sistema de Sinalização foi um elo fundamental nessa conquista.

O Sistema CBTC implantado nas linhas 1-Azul e 2-Verde, demonstrou que é possível melhorar a eficiência energética utilizando curvas de velocidade mais otimizadas que possibilitam ao passageiro uma viagem mais tranquila e eficiente sob o ponto de vista energético. Na figura 4 pode-se observar a redução do consumo de tração (kWh/car.km) na Linha 1-Azul.

O Metrô de São Paulo, continua buscando melhorias no Sistema CBTC, para tornar o transporte de passageiros na cidade de São Paulo cada vez mais atrativo e sustentável, seja aumentando o grau de automação da linha ou mesmo melhorando ainda mais o controle da viagem entre estações. Novas oportunidades de melhoria no sistema já foram observadas e podem ser implantadas nos próximos anos, como por exemplo sincronizar as chegadas de um trem na plataforma com a partida de outro trem na plataforma adjacente. Ao sincronizar as partidas e chegadas de trem nas estações, a energia gerada no processo de frenagem de um trem que chega na estação pode ajudar um trem que parte da estação a acelerar, aumentando ainda mais a eficiência energética do sistema.

A tecnologia CBTC está amadurecen-

do e a possibilidade de aumentar o automatismo com mais inteligência a bordo do trem, e menos nos equipamentos de via, vem permitindo uma redução dos custos de manutenção e, em economia de centena de quilômetros de cabos de cobre em função da menor quantidade de equipamentos ativos ao longo da via. Um ambiente de via mais enxuto significa custos mais baixos (menor OPEX) e menor tempo de implantação (menor CAPEX), que são considerações importantes para impulsionar a construção e ampliação de linhas de metrô e ferrovia, contribuindo com o propósito de reduzir congestionamentos e a poluição ambiental e aumentar a oferta de transporte para os passageiros.

No Metrô de São Paulo a tecnologia CBTC, juntamente com a instalação de portas de plataforma nas estações, permitirá em futuro próximo aumentar ainda mais a automação do sistema e, com isso, aumentar a capacidade de transporte e a pontualidade do sistema. Numa operação mais automática e autônoma do sistema haverá uma maior facilidade em atender acréscimos ou diminuições de demanda "em tempo real", em face de não haver mais vinculação com operadores nos trens.

\* **Carlos Alberto de Freitas Timóteo** é Engenheiro da Companhia do Metropolitano de São Paulo

E-mail: [ctimoteo@metrosp.com.br](mailto:ctimoteo@metrosp.com.br)

\*\* **Glauco Fernandes Lopes** é Engenheiro da Companhia do Metropolitano de São Paulo

E-mail: [glopes@metrosp.com.br](mailto:glopes@metrosp.com.br)



NOSSA MISSÃO:

## Viabilizar estruturas para grandes estações de metrô

O adensamento das cidades, os desafios da mobilidade urbana e a sustentabilidade demandam uma nova infraestrutura metroviária. Nosso desafio é desenvolver estruturas capazes de atender às demandas técnicas, econômicas e sociais.



PIONEIRISMO NO USO DO  
BUILDING INFORMATION MODELING

[www.cagen.com.br](http://www.cagen.com.br)

# Aspectos construtivos da Estação Aricanduva da Linha 2-Verde do Metrô de São Paulo

CAIO NOGAROLI BOECKER\* / JOÃO LUÍS CASAGRANDE\*\* /  
 MASSARU TAKEUCHI\*\*\* / DANTON SOARES JUNIOR\*\*\*\* / SERGIO AUGUSTO DE LIMA\*\*\*\*\*

## INTRODUÇÃO

A expansão da Linha 2-Verde consiste em uma das principais obras de mobilidade urbana atualmente em curso na cidade de São Paulo, que permitirá aos usuários do sistema uma gama maior de possibilidades de trajeto, reduzindo o tempo de deslocamento e redistribuindo os fluxos de passageiros de maneira mais eficiente. Após a conclusão desta etapa da extensão, essa se tornará a mais extensa linha da rede, alcançando mais de 23 quilômetros de extensão, com a inclusão de 8 novas estações e

conexões com a Linha 3-Vermelha do Metrô e com a Linha 11-Coral da CPTM.

Entre as novas estações previstas está a Estação Aricanduva, localizada em frente à movimentada avenida de mesmo nome. A futura parada terá grande importância para a região, pois representará ponto de integração com o futuro corredor BRT Aricanduva, possibilitando o acesso de passageiros advindos de pontos mais distantes para a rede do Metrô.

A obra, ilustrada na Figura 1, se encontra em desenvolvimento por um consórcio formado pelas construtoras Acciona, Cetenco e Agis e conta com técnicas inovadoras de projeto e construção no Brasil, permitindo a redução simultânea de riscos e custos de construção. A singularidade e o desafio do projeto são influenciados não somente pela metodologia executiva, como também pelas condições geotécnicas locais.

## CARACTERÍSTICAS GERAIS E MÉTODO CONSTRUTIVO

Em vez de utilizar método mais convencional de escavação em "Vala a Céu Aberto" (VCA) retangular, com paredes diafragma retas apoiadas lateralmente por tirantes ancorados no terreno ou estroncas de aço, para a Estação Aricanduva utilizou-se a metodologia por "Poços Secantes Circulares Múltiplos" e optou-se por uma solução intermediária, ou seja, vala escorada com paredes curvas, configurando "poços" e sem o uso de tirantes. Trata-se de uma solução inédita que apesar de aumentar a

área de ocupação da superfície, toma partido de sua geometria para uma maior eficiência estrutural, sendo a primeira vez em que se utiliza essa solução com seis poços para uma estação do Metrô de São Paulo.

A metodologia construtiva da Estação Aricanduva consiste na execução de seis poços com 33m de diâmetro e 32m de profundidade, superpostos de maneira secante para formar um conjunto que alcança 148m de comprimento. A estrutura principal de contenção adota solução em paredes diafragma formadas por painéis perimetrais (lamelas) construídos em forma de arco, permitindo assim que o empuxo lateral do terreno seja distribuído por meio de compressão circunferencial até 10 painéis principais em formato de seta, denominados Barretes. Os Barretes são apoiados lateralmente por grandes vigas de travamento (estroncas) em concreto armado, espaçadas verticalmente em cerca de 5m a 6m de centro a centro, com três camadas de travamento na parte mais rasa ou quatro camadas na parte mais profunda da escavação, até atingir a laje de fundo. Isso é ilustrado na seção transversal apresentada na Figura 2.

O sistema descrito forma uma estrutura auto equilibrada com inúmeras vantagens. É dispensada, por exemplo, a necessidade de

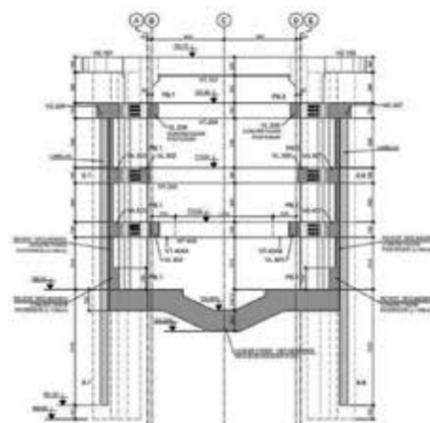


Figura 2 - Corte transversal da Estação Aricanduva

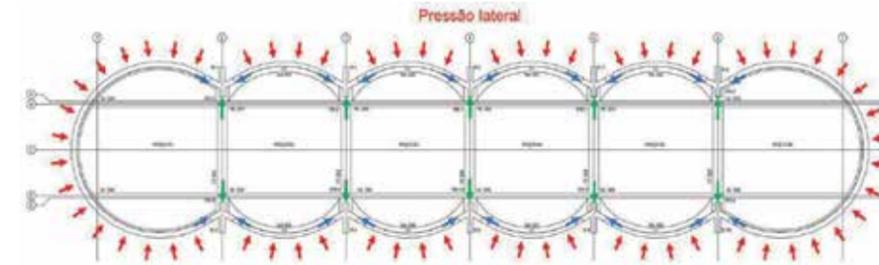


Figura 3 - Distribuição de forças na estrutura de contenção

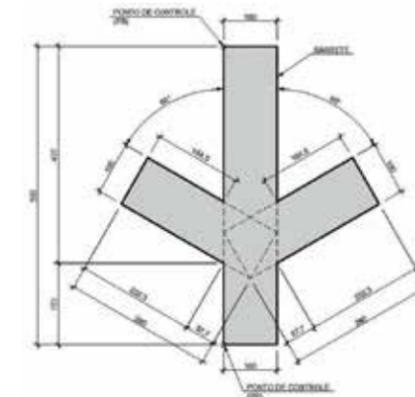


Figura 4A - Geometria dos Barretes em formato de seta



Figura 4B - Montagem da armação dos Barretes em formato de seta

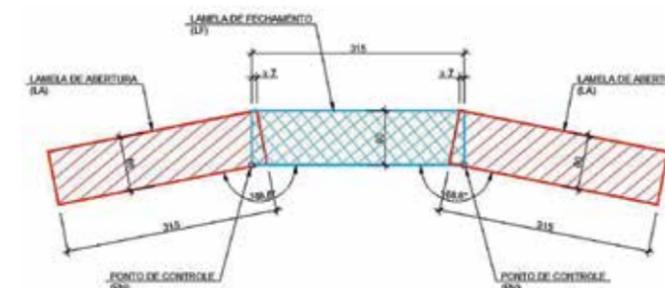


Figura 5 - Detalhe de fechamento das lamelas executadas com Hidrofresa

tirantes com elevado custo nas paredes de contenção. O estroncamento utilizando elementos em concreto armado permite atingir espaçamento horizontal longitudinal de 23m que, ao contrário das estroncas de aço menos espaçadas, permite que os trabalhos de escavação ocorram sem restrições e com espaço suficiente para movimentação de equipamentos e operações de içamento. Além disso, como a maior parte das solicitações impostas à contenção são transmitidas por meio de esforços de compressão na estrutura (Figura 3), foi possível adotar menores seções de concreto e reduzir o consumo de aço, diminuindo assim o impacto ambiental da obra.

## SEQUÊNCIA EXECUTIVA

A sequência de construção da estação se inicia com a execução ao nível do terreno dos Barretes (Figura 4) e das lamelas da parede diafragma com 41m de profundidade, ambos pertencentes ao revestimento primário dos poços. Nos trechos iniciais de solo mole, a execução das lamelas de abertura foi realizada com equipamento tipo Clamshell, sendo realizada a troca para Hidrofresa nos trechos de maior profundidade e para execução das lamelas de fechamento.

A escolha da Hidrofresa como equipamento foi fundamental para o sucesso da construção. Esse equipamento, além de garantir melhor verticalidade das lamelas (requisito essencial para o funcionamento do sistema de contenção, como será detalhado mais adiante), é capaz de escavar o concreto já endurecido das lamelas adjacentes, permitindo o contato entre os painéis (Figura 5). Isso garante uma baixíssima permeabilidade à parede que dispensa o rebaixamento do lençol freático da região.

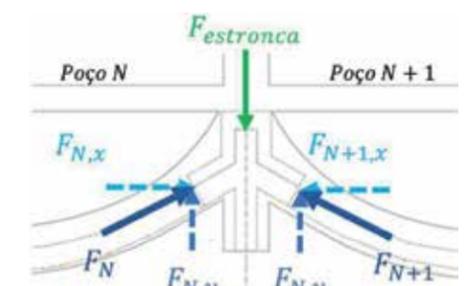


Figura 6 - Equilíbrio Nodal de forças no Barrete

Com o avanço da escavação, executa-se o travamento horizontal da contenção, por meio da construção de cinco estroncas em concreto armado por nível, com seções transversais que variam entre 1,80m x 1,80m e 2,32m x 1,80m, e capazes de transmitir forças de compressão de até 60.000 kN. Além dessas, vigas em arco construídas no perímetro interno dos poços conduzem as pressões laterais recebidas pelo revestimento primário da estação até o nó de ligação das estroncas com os barretes, garantindo o equilíbrio local como indicado na Figura 6.

Ao fim da escavação, é executada a laje de fundo da estação que, além de apoiar a via permanente, as plataformas e fornecer a última linha de travamento horizontal da contenção, também atua no combate à subpressão proveniente do empuxo hidrostático. Sua geometria complexa, com seções variáveis e diversas aberturas para acomodação de peças permite o apoio e montagem da tuneladora, recebendo ainda consideráveis cargas de reação para arranque do TBM. Destaca-se com isso um caso típico no qual a utilização da modelagem BIM, como apresentada na Figura 7, foi imprescindível para correta avaliação e detalhamento eficiente da estrutura.

Após a conclusão de toda a contenção (fase de descida) e a passagem do TBM, inicia-se a fase de subida, com a execução do revestimento secundário, e todos os demais elementos que compõem os pavimentos e mezaninos internos da estação, apoiados sobre as vigas de travamento (estroncas) previamente construídas.

## MODELAGEM COMPUTACIONAL

Uma obra de escavação com tamanha escala e importância necessitou das mais avançadas técnicas disponíveis em modelagem e análise computacional, que estão sendo desenvolvidas nos escritórios da Casagrande Engenharia localizados no



Figura 1A - Estação Aricanduva em construção



Figura 1B - Estação Aricanduva em construção

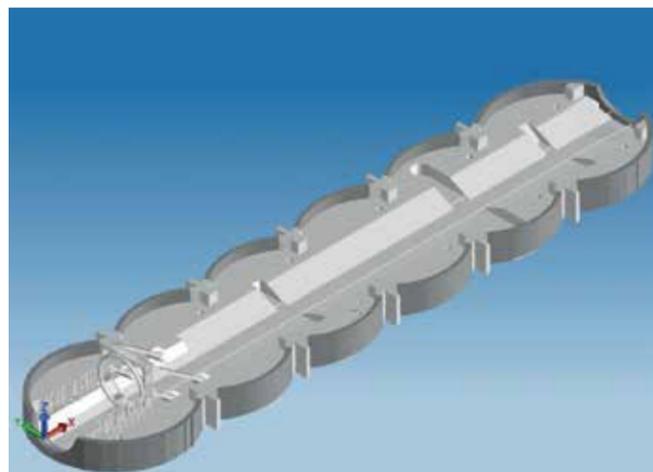


Figura 7 - Modelo BIM da Laje de Fundo

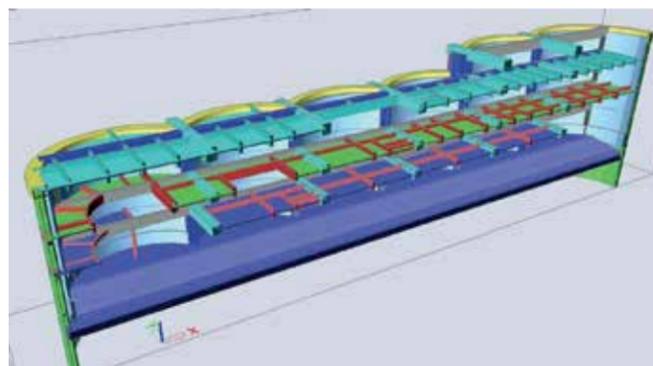


Figura 8 - Modelo global da estrutura em elementos finitos

Brasil e em Portugal. Nesse contexto, merece destaque a alta complexidade das análises de interação solo-estrutura elaboradas e a grande influência que a sequência executiva exerce na distribuição de esforços entre os diferentes elementos estruturais.

A modelagem do solo utilizou o programa específico de elementos finitos que leva em consideração a interação solo-estrutura, o perfil geológico de cada poço e as etapas de escavação para avaliar o empuxo de solo, o empuxo hidrostático e a rigidez equivalente das molas do solo.

Análises estruturais tridimensionais do conjunto de poços foram conduzidas utilizando outro programa de elementos finitos, no qual a representação dos componentes foi feita por uma série de elementos de barra (estroncas, vigas, pilares etc.) ou casca (parede diafragma, barretes, lajes etc.) como ilustrado na Figura 8. O terreno que circunda toda a parede diafragma foi representado por molas funcionando apenas à compressão e associadas aos respectivos elementos de

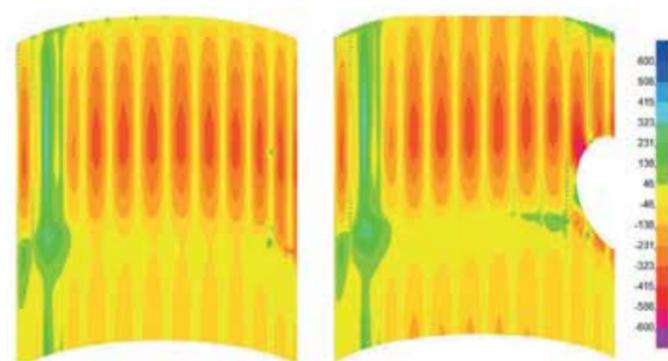


Figura 9 - Distribuição de momentos fletores horizontais nas paredes diafragmas

casca. Para todo o projeto, realizaram-se análises não-lineares considerando a sequência de escavação e levando em conta a influência das deformações para obtenção de esforços de segunda ordem. Todos os elementos foram dimensionados tanto para as situações finais, como para cada uma das etapas de construção.

### ASPECTOS DE PROJETO

Após apresentação geral do projeto geral e abordagem analítica, as subseções seguintes destacam algumas considerações e desafios específicos em termos de projeto e construção da Estação Aricanduva.

### REVESTIMENTOS PRIMÁRIO E SECUNDÁRIO

O revestimento primário da Estação Aricanduva é formado por paredes diafragma com 100cm de espessura nos poços extremos e 80cm de espessura nos poços internos. Como premissa de dimensionamento considera-se que esses elementos deverão resistir à atuação ao empuxo total, resultante da soma do empuxo de solo com o empuxo hidrostático. Em decorrência de seu método de construção, onde cada painel é executado de forma independente, mas superpondo-se, embora haja contato entre cada lamela de concreto armado, não é possível ter continuidade de armação nas juntas verticais formadas entre cada par de lamelas.

Por isso, quando submetidas aos efeitos combinados de compressão circunferencial

horizontal e momentos fletores, as juntas verticais só podem atuar em compressão, não sendo capazes de resistir a esforços de tração. Para simular o comportamento físico real no programa de análise estrutural, retirou-se dos elementos de cascas que representam as lamelas a capacidade de resistir à tração na direção perpendicular às juntas verticais (direção de atuação da compressão circunferencial). Esse comportamento pode ser observado nos diagramas de momento fletor horizontal apresentados na Figura 9.

A verificação da capacidade estrutural da parede diafragma foi então conduzida utilizando diagramas de interação momento-força axial (M-N), empregando-se como parâmetros principais a resistência do concreto e espessura de contato das lamelas. Uma vez que esse último parâmetro está correlacionado com a garantia de verticalidade dos painéis, considera-se no cálculo



Figura 10 - Aplicação da geomembrana de PVC sobre o revestimento primário



Figura 11 - Escavação de solo mole na Estação Aricanduva



Figura 12 - Esquema para execução do tratamento brando de solo mole ("Jet Light")

espessuras de contato reduzidas, representando possíveis desvios construtivos resultantes da tolerância de verticalidade. Buscando-se garantir aderência aos valores de cálculo, um rígido controle de verticalidade deve ser previsto em obra durante a construção das lamelas, limitando-se a verticalidade máxima em valores da ordem de 1:100 a 1:200.

Sobre o revestimento primário é aplicada a geomembrana de PVC (Figura 10), com o objetivo de garantir a estanqueidade, no caso de uma eventual percolação de água pelas lamelas ao longo da vida útil da estação. Após a geomembrana de impermeabilização executa-se uma parede de concreto armado moldada "in loco", com 40cm de espessura denominada revestimento secundário.

Como premissa de dimensionamento para a Estação Aricanduva, considera-se que a parede secundária deverá ser capaz de suportar a atuação apenas do empuxo hidrostático, o que permitiu elevada economia de material decorrente da significativa diminuição de espessura da parede do revestimento secundário.

### TRATAMENTO DE SOLO MOLE

Investigações e ensaios realizados tanto na etapa de projeto básico, quanto na etapa de projeto executivo, indicaram a presença de solo aluvionar em camadas com espessuras variáveis, sendo preponderante em parte do terreno entre 6m e 9m de profundidade. Esse cenário geológico e geotécnico apresentava grandes dificuldades para a correta escavação das lamelas, principalmente pela presença de camada de argila saturada muito mole, situada logo abaixo da camada de aterro (Figura 11).

O caminho para contornar essa dificuldade consistiu

no tratamento "in situ" do solo, utilizando técnica prática, rápida e de menor custo. No caso da Estação Aricanduva, o objetivo do reforço de solo foi estabilizar as escavações do revestimento primário, considerando também que essas são mantidas abertas e estáveis com uso de lama bentonítica durante o processo de descida da armadura e concretagem dos painéis.

A solução estudada e desenvolvida foi executar um tratamento brando do solo instável, previamente à construção das muretas guia, utilizando tecnologia modificada de Jet Grouting, com baixo teor de cimento (200Kg/m<sup>3</sup>) e com parâmetros de rápida intervenção, denominada de "Jet Light" (Figura 12). Esse baixo teor de cimento na mistura com o solo foi devidamente ensaiado por meio de um procedimento empírico de campo denominado "Ensaio da Lata". Trata-se de um teste de campo usualmente executado em solos orgânicos moles saturados, onde são aplicadas tecnologias de tratamento com mistura ou injeções de caldas de cimento.

### LIGAÇÃO DAS ESTRONCAS COM BARRETES

Como já dito, as vigas de travamento possuem a função de dar suporte lateral aos Barretes. Contudo, além da função de estroçamento, é também nessas peças que se apoiam todos os pavimentos internos da estação, resultando em elevados esforços cortantes que deverão ser transmitidos dessas vigas para os apoios principais, localizados nos Barretes.

No entanto, sabendo que as estroncas e os Barretes são construídos em etapas distintas, tornou-se necessário prever um detalhamento especial para a ligação, capaz de transmitir por cisalhamento na interface existente entre as peças, toda a carga que chega pelas vigas de travamento (estroncas) para os Barretes, mobilizando seu funcionamento como pilares da Estação Aricanduva.

Devido à elevada magnitude do carregamento a ser transmitido por essa ligação, a utilização de vergalhões se mostrou impeditiva, em função da elevada densidade de barras passivas, necessárias a serem alojadas em um espaço bastante reduzido. A alternativa encontrada, ilustrada no es-

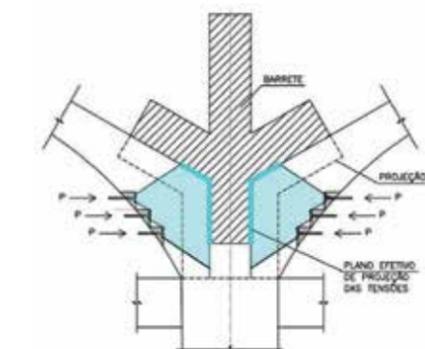


Figura 13A - Esquema de Ligação da estronca com Barrete utilizando barras de protensão



Figura 13B - Execução da Ligação da Estronca com Barrete

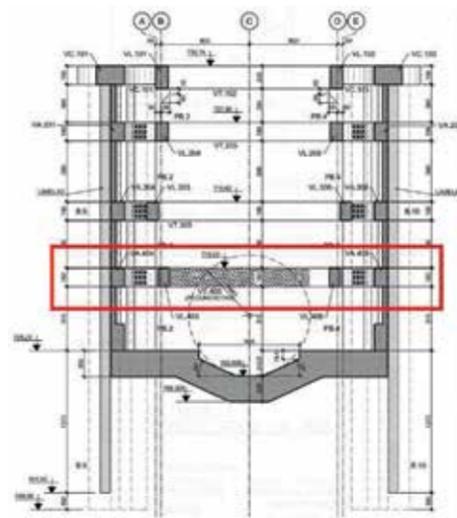


Figura 14 - Interferência do 4º nível de estroçamento com a projeção do TBM

quema da Figura 13, consistiu na utilização de um conjunto de barras de protensão posicionadas de modo a exercer uma compressão transversal nos planos de ligação entre as peças. Tal solução, além de solucionar o congestionamento de armaduras na região, aumenta significativamente a resistência da ligação por meio do atrito desenvolvido entre as interfaces.

#### DEMOLIÇÃO DAS VIGAS PROVISÓRIAS ("MACACO DE AREIA")

A estrutura de contenção da Estação Aricanduva possui cinco níveis distintos. Os níveis 1 a 4 são compostos por vigas de travamento (estroncas) e vigas em arco, enquanto o 5º nível corresponde à laje de fundo. O travamento dos Barretes em todos esses níveis é essencial para garantir a estabilidade durante as etapas de escavação (fase de descida). A magnitude dos esforços atuando nas paredes da contenção torna inviável realizar o avanço da escavação para o próximo nível, sem que o travamento do nível anterior esteja devidamente concluído.

Conforme ilustrado na Figura 14, o estroçamento do 4º nível dessa estação apresentou uma particularidade. Embora esse seja necessário para garantir a estabilidade da escavação durante toda a fase de descida, o estroçamento cria também uma interferência com a passagem da tuneladora. Diante desse cenário, a premissa estabelecida em projeto básico prevê que, após a construção e travamento da laje de fundo nas paredes, o estroçamento do 4º nível deveria ser demolido para a passagem e montagem do TBM, e posteriormente reconstruído. Com isso, criou-se duas importantes condicionantes de projeto.

A primeira diz respeito à distribuição de esforços na estrutura, já que a força de compressão, inicialmente mobilizada pelas estroscas do 4º nível antes da passagem do TBM, passa a ser redistribuída em parte para o 3º nível e em parte para a laje de fundo, após a passagem da TBM. Como consequência, tanto as estroscas do 3º nível, como a laje de fundo da estação precisaram ser dimensionados para esse acréscimo posterior de carga.

A segunda condicionante diz respeito à operação de demolição do 4º nível, uma vez que essa deveria ocorrer em elementos estruturais submetidos a esforços de compressão da ordem de 35.000kN a 40.000kN. Caso as vigas de travamento fossem demolidas sob atuação de elevadas tensões de compressão, a possibilidade de ruptura frágil e brusca do elemento estrutural, causava preocupação com a segurança da operação.

Como opção mais segura para a ope-

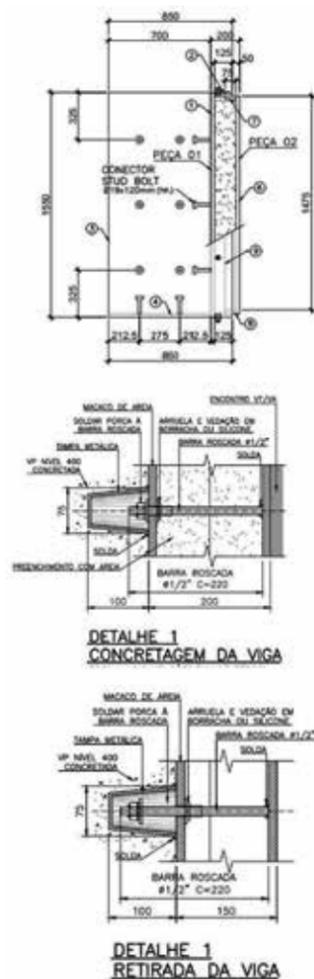


Figura 15 - Detalhamento da caixa de areia para macaqueamento/desmacaqueamento das estroscas do 4º Nível

ração de demolição, adicionou-se a uma das extremidades das vigas estroscas do 4º nível um dispositivo metálico denominado "macaco de areia" (Figura 15). Trata-se de um elemento composto por duas peças metálicas que formam uma caixa com um vazio em seu interior. Durante a construção, essa caixa é selada e integralmente preenchida com areia seca. À medida que a escavação avança e a força de compressão é incrementalmente mobilizada na viga, a areia em seu interior é compactada, permitindo a transferência de esforço de compressão para o Barrete e garantindo o seu funcionamento como estroscas. Essa operação é denominada de "macaqueamento".

Após a consolidação da laje de fundo e antes da demolição das estroscas, aberturas previstas na caixa são abertas, permitindo a retirada da areia de seu interior. Conforme a areia é liberada, as peças da caixa se deslocam uma sobre a outra, permitindo uma desmobilização incremental da força de compressão existente na viga. Essa operação é denominada de "desmacaqueamento".

Uma vez retirada a areia do interior da caixa, a demolição da viga pode acontecer com maior segurança e controle, uma vez que o elemento estrutural já não mais trabalha sujeito a elevadas tensões de compressão. ➔

\* **Caio Nogaroli Boecker** é engenheiro, sócio da Casagrande Engenharia e coordenador da equipe de projeto executivo estrutural da Estação Aricanduva da Linha 2-Verde do Metrô-SP  
E-mail: cnboecker@cagen.com.br

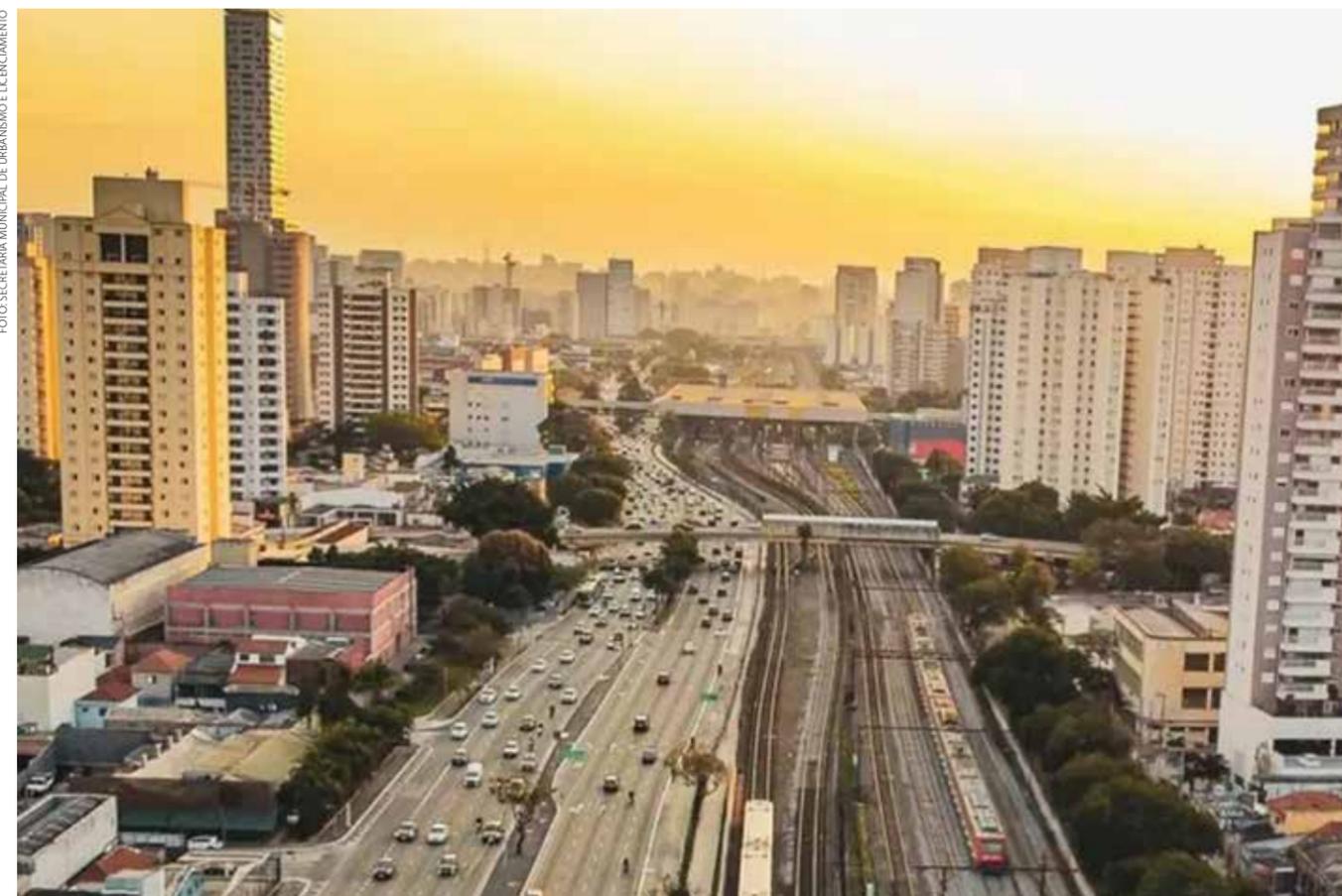
\*\* **João Luís Casagrande** é Ph.D. em engenharia, pesquisador do Civil Engineering Research and Innovation for Sustainability e consultor da equipe de projeto executivo estrutural da Estação Aricanduva da Linha 2-Verde do Metrô-SP  
E-mail: jlcasagrande@cagen.com.br

\*\*\* **Massaru Takeuchi** é engenheiro, Chefe do Departamento de Projetos Executivos da Linha 2-Verde do Metrô-SP  
E-mail: takeuchi@metrosp.com.br

\*\*\*\* **Danton Soares Junior** é engenheiro, Coordenador de Projetos Cíveis e de Arquitetura da Linha 2-Verde do Metrô-SP  
E-mail: dantonsoares@metrosp.com.br

\*\*\*\*\* **Sergio Augusto de Lima** é engenheiro, líder de projeto da Estação Aricanduva da Linha 2-Verde do Metrô-SP  
E-mail: ge2lote6@metrosp.com.br

FOTO: SECRETARIA MUNICIPAL DE URBANISMO E LICENCIAMENTO



## Impactos das mudanças climáticas nos negócios: a abordagem estratégica do Metrô de São Paulo

CACILDA BASTOS PEREIRA DA SILVA\* / SORAIA SCHULTZ MARTINS CARVALHO\*\* / LUIZ ANTONIO CORTEZ FERREIRA\*\*\*

### INTRODUÇÃO

No contexto atual, em que as cidades e a sociedade enfrentam os impactos dos eventos climáticos extremos na estrutura socioeconômica, cresce a mobilização dos governos e das empresas para que ocorra uma transição ecológica e a implementação de medidas para a descarbonização na economia.

Os esforços globais para a redução das emissões de gases de efeito estufa

(GEE) estão se ampliando e para acelerar as ações de adaptação nas cidades para enfrentar as ameaças climáticas. Isto já é reflexo dos resultados do balanço global sobre as emissões de GEE no mundo, realizado no âmbito do Acordo de Paris, em que se constatou que as metas estabelecidas nacionalmente por cada um dos países vão incorrer em aumento de temperatura nos horizontes futuros, considerando os níveis de emissões e os avanços das ações frente à crise climática.

Com o aumento dos riscos em todas as regiões do mundo, será necessário ocorrer uma transformação em todos os setores. A contribuição terá que ser maior de setores que apresentem níveis significativos de emissões de GEE. Em 2019, aproximadamente 79% das emissões globais decorreram dos setores de transporte, energia, indústria e edificações combinados e, 22% da agricultura, silvicultura e outros usos da terra (AFOLU) IPCC, 2023.

Ainda que os países tenham dado



um passo histórico para o início de um processo de transição ecológica e gradual para a substituição dos combustíveis fósseis nas matrizes energéticas, ao aprovarem o texto final das negociações na COP 28 – Conferência do Clima, realizada pela ONU em 2023, constataram que é preciso que haja a articulação dos governos e empresas para organizar e implementar medidas efetivas para a mitigação e adaptação às mudanças climáticas.

No contexto empresarial, a emergência climática já está transformando os negócios. As empresas identificam a necessidade de internalizar as questões das mudanças climáticas no modelo de negócios para fortalecer a capacidade de resposta frente às incertezas e aos riscos associados e de gerir os impactos financeiros, aprimorar suas práticas e estabelecer indicadores para acompanhar e demonstrar o desempenho na agenda da sustentabilidade. Destaca-se ainda, que este processo é entendido como um momento oportuno para dar impulso a novos negócios e à inovação para garantir vantagem competitiva.

### MUDANÇAS CLIMÁTICAS: CENÁRIO DE INCERTEZAS E RISCOS

As ocorrências climáticas têm gerado um ambiente de incertezas para os negócios, incidindo em impactos econômico-financeiros e sociais para toda a sociedade. Eventos extremos como tempestades, inundações, alteração nas médias de temperatura e precipitação estão mais frequentes e intensos nos últimos anos, representando riscos de possíveis interrupções e de perdas diretas e indiretas associadas à operação dos serviços.

Os impactos destes eventos evidenciam a necessidade de se identificar vulnerabilidades, para que as empresas protejam seus ativos e gerenciem riscos no ciclo de análise de projetos e do portfólio dos negócios.

Neste contexto, incluir as questões associadas às mudanças climáticas no modelo de negócios tornou-se estratégico, também com a transformação no mercado e o aumento das expectativas da sociedade e dos agentes reguladores e de agentes financeiros, com relação aos impactos das empresas. Também avaliam os riscos e

a possibilidade de perda significativa de ativos, com possíveis danos físicos, interrupções na operação e na cadeia de suprimentos e, perda de mercado.

As empresas que já internalizaram estratégias para a descarbonização em seus negócios têm investido no mapeamento de riscos associados às questões climáticas, para aprimorar tomadas de decisão e definição de investimentos.

O setor de transportes, por ser responsável por impactos ambientais e sociais significativos pela natureza de suas atividades, tem buscado o alinhamento a este contexto, principalmente pelo volume de investimentos que envolvem os empreendimentos. Os agentes financeiros têm apontado que este é um setor de alta e média exposição aos riscos climáticos, porque envolvem impactos e consumo intensivo de recursos naturais e materiais nos processos de implantação da infraestrutura e da operação, e que resultam em emissões de gases de efeito estufa (GEE).

Além destes impactos, os projetos e as infraestruturas de transporte a médio ou longo prazo podem ser impactados com as mudanças climáticas, exigindo processos de adaptação para proteger seus ativos, garantir a operação e o atendimento à demanda.

Assim, avalia-se como estratégico o desenvolvimento de estudos para a identificação das ameaças, nível de exposição e de vulnerabilidade das infraestruturas, para levantar e avaliar os riscos legais, regulatórios, físicos, tecnológicos, de mercado e reputação a que o negócio possa estar sujeito nos horizontes de curto, médio e longo prazo, bem como a avaliação de oportunidades associadas.

Com base nestas informações, será possível elaborar um plano de ação para adaptação da infraestrutura e da operação considerando os riscos identificados.

### O TRANSPORTE URBANO NO CONTEXTO DE IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Os efeitos provocados pelos eventos climáticos extremos são sentidos na dimensão territorial das cidades, onde o transporte urbano tem um papel importante para a economia e a

sociedade, com a promoção da acessibilidade e a mobilidade da população, ao mesmo tempo em que reduz os impactos ambientais e sociais.

Os sistemas de transporte de passageiros e o transporte individual motorizado, que utilizam combustíveis fósseis, são responsáveis por uma participação expressiva das emissões de gases de efeito estufa.

A proposição de soluções e execução de ações visando a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) envolve a adoção de uma visão de longo prazo e a atuação integrada e transversal das esferas de governo.

No setor de transportes, as estratégias de mitigação, tanto do setor quanto as intersetoriais, precisam ser articuladas entre si e compreendem múltiplos aspectos: políticas econômicas e fiscais, tributárias, regulamentação de padrões mandatórios de desempenho, protocolos setoriais voluntários, articulação das políticas estaduais com políticas municipais e federais, entre outros.

É de se destacar, que não há como garantir, em longo prazo, o controle das emissões de GEE do setor sem a implantação integrada de políticas de ordenamento territorial, local e regional. Importante direcionar o desenvolvimento urbano – adensamento demográfico e localização de novas empresas – prioritariamente para as áreas que já contam com infraestrutura de transporte de alta e média capacidade, aproximando a zona de habitação dos locais que concentram empregos. Assim, é possível evitar as grandes extensões percorridas nas viagens cotidianas e o movimento pendular diário de grandes massas de trabalhadores para acessar seus empregos, concentrado nos horários de pico, sobrecarregando os modos de transporte, e gerando as emissões de gases do efeito estufa.

Neste contexto, é necessário um grande esforço para a articulação dos interesses públicos e privados para que garanta resultados duradouros. Os diversos agentes terão que estabelecer as bases para o diálogo com a sociedade e demais stakeholders (órgãos públicos e privados, concessionárias de transporte público, agentes financeiros, futuros investidores, fornecedores, passageiros).

As soluções terão que envolver medidas de curto prazo, desde que estejam associadas a outras de longo prazo, como a implantação de infraestrutura de transporte de alta e média capacidade, possibilitando a substituição modal. A redução de emissões de GEE também pode ser estimulada através de uma série de políticas governamentais, que utilizam instrumentos econômicos (subsídios, taxas, isenção de taxas, crédito etc.), instrumentos regulatórios (padrões de desempenho mínimo, controle de emissão veicular, p.e.), e processos políticos (acordos voluntários, disseminação da informação e planejamento estratégico, p.e.).

No setor de transportes, a mitigação de GEE está relacionada ainda a eficiência energética, o que poderá implicar na necessidade de adaptação das cadeias de produção de combustíveis e veículos.

### A ABORDAGEM DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO METRÔ DE SÃO PAULO

O compromisso do Metrô com as mudanças climáticas está na essência do seu negócio, que é promover a mobilidade sustentável, e percorre todo o ciclo de vida dos empreendimentos. No planejamento, implantação e operação do transporte metropolitano são pautados os investimentos para a expansão da rede metroviária, considerando o momento atual e as dimensões necessárias para que se alcance o desenvolvimento da metrópole no futuro, em relação à urbanização, ao dinamismo econômico, às pessoas e ao meio ambiente das cidades.

Por ser um agente estruturador do espaço urbano, tem potencial para transformar a dinâmica socioeconômica onde atua, fundamental para a redução das desigualdades e vulnerabilidades sociais dos que vivem nos espaços periféricos, substancialmente mais distantes das áreas diretamente atendidas pela rede pública de transporte de alta capacidade.

A rede metroviária proporciona maior conectividade e acessibilidade aos polos de emprego e serviços, educação e saúde, com a integração das linhas de metrô a outros modos de transporte como

o trem, os ônibus e a bicicleta.

Os benefícios de um sistema de alta capacidade, rápido, regular, e movido a energia mais limpa vão se refletir na mobilidade e na saúde da população, com a diminuição de congestionamentos nas ruas, do consumo de combustíveis, e consequentemente com a redução dos acidentes de trânsito e da emissão de poluentes atmosféricos, como a de gases de efeito estufa. Com a transferência de viagens geradas no modo individual para o coletivo, os benefícios para a mobilidade sustentável se refletem na Região Metropolitana de São Paulo, como um todo.

As diretrizes gerais para a expansão da rede metroviária que podem impactar positivamente em cenários de baixo carbono são:

1. Priorizar a expansão da rede de transporte metroviário de forma a estimular a transferência de viagens geradas no modo individual para o coletivo, e contribuir para a qualidade de vida e bem-estar da população, com a redução dos impactos ambientais e sociais.

2. Ampliar a mobilidade da população considerando a integração com outros modos de transporte.

3. Potencializar os ganhos socioambientais e ganhos operacionais decorrentes da racionalização do transporte metropolitano, articulando com os sistemas municipais e promovendo o transporte ativo com ligações a ciclovias e implantação de espaços para bicicletários.

4. Prever melhorias no tratamento urbanístico da área de inserção das linhas metroviárias, considerando diretrizes estabelecidas por políticas e planos de mobilidade e ordenamento urbano.

5. Internalizar diretrizes de sustentabilidade na definição de soluções de projeto, traçado, método construtivo e tecnologia, visando reduzir impactos em todas as fases do ciclo de vida, como os relacionados às mudanças climáticas.

As estratégias de mitigação de emissões de GEE em projetos de transporte do Metrô estão relacionadas a três frentes no planejamento de uma nova linha: a substituição modal e a capacidade de transferência dos passageiros

de outros modos para o metrô, a tecnologia e a eficiência energética e o planejamento integrado a outras abordagens para a promoção do desenvolvimento urbano.

No processo de definição de alternativas tecnológicas e construtivas, ainda nas etapas de planejamento são consideradas especificações técnicas e de serviços adequadas aos princípios da construção sustentável e legislação pertinente, orientando também a definição de insumos e processos na etapa de implantação de novas linhas, de forma a promover a inovação, a redução de impactos na operação e manutenção da rede metroviária.

São considerados ainda os impactos em termos de consumo de materiais e insumos referenciados na construção sustentável, que vão do desenho arquitetônico às especificações de equipamentos e sistemas por influenciarem significativamente no desempenho ambiental dos projetos na fase de operação.

A redução de consumo de energia e a eficiência energética são obtidas com a adoção de inovações tecnológicas, modificação de procedimentos e de estratégias operacionais, modernização dos sistemas de controle, de material rodante, de equipamentos fixos, dos sistemas de ventilação e iluminação, dentre outros. Também envolve estudos para aprimorar a definição de parâmetros de projeto e especificações técnicas atualmente consolidados para a implementação de tecnologias inovadoras na expansão do sistema metroviário.

Na gestão das emissões, o trabalho desenvolvido pelo Metrô envolve também os aspectos estratégicos à energia elétrica, principal fonte de emissão de GEE, os custos associados para sua aquisição e a eficiência energética. Compreende também o acompanhamento do contexto brasileiro no que se refere ao clima e à geração da energia elétrica. Há mais de 15 anos, o Metrô realiza o Inventário de Emissões de GEE, com base na norma *GHG Protocol* e tem uma base histórica de dados e indicadores importantes para a avaliação dos benefícios da operação dos serviços relacionados às questões climáticas. São levantadas e contabilizadas as



emissões provenientes do consumo de energia, combustível, geração de resíduos e efluentes e outros processos realizados para operação e manutenção do serviço da Companhia, na administração e nos seus canteiros de obras.

A Companhia atua também na comunicação e relato do desempenho climático em processos junto a agentes financeiros, órgãos reguladores e órgãos públicos e privados. Acompanha e avalia impactos de políticas, normas e protocolos nacionais e internacionais sobre sustentabilidade e mudanças climáticas e sua relação com o sistema de transporte.

### COMUNICAÇÃO DOS COMPROMISSOS E DESEMPENHO CLIMÁTICO: ESSENCIAL NA RELAÇÃO COM INVESTIDORES

Com a evolução das leis e regulamentações, e a emissão de normas de divulgação, observa-se o crescimento da pressão sobre as empresas para que apresentem seus compromissos e dados com maior padronização e precisão, considerando as metas assumidas e o planejamento financeiro e estratégico dos negócios.

A comunicação e a divulgação de informações sobre o desempenho climático e desempenho da sustentabilidade são realizadas com base em diversos *frameworks* internacionais, para assegurar que as empresas façam o relato de forma mais padronizada, estruturada e consistente.

Com a multiplicidade de *frameworks*, limitando a comparabilidade de dados, as organizações internacionais especializadas na divulgação de informações financeiras globais organizaram bases padronizadas com a criação de normas para o relato financeiro relacionado à sustentabilidade e às mudanças climáticas.

Recentemente, a Comissão de Valores Mobiliários estabeleceu a obrigatoriedade de elaboração e divulgação do relatório de informações financeiras relacionadas à sustentabilidade, com base nestas normas estabelecidas pelo *International Sustainability Standards Board* - ISSB. As empresas de capital aberto terão que fazer a divulgação dos seus resultados a partir dos exercícios sociais iniciados em, ou após, 1º de janeiro

de 2026. O objetivo é garantir que as empresas forneçam informações de alta qualidade e, globalmente, comparáveis sobre os riscos e oportunidades relacionados à sustentabilidade e mudanças climáticas, considerando seus temas materiais associados ao negócio.

O Metrô, assim como outras empresas do setor de transportes, já adota estas diretrizes no relato dos resultados da gestão. Em 2023, a Companhia deu um passo importante ao efetuar o registro público de suas emissões no CDP, que é uma organização internacional que opera uma plataforma de divulgação global da performance de negócio em relação às mudanças climáticas, sinalizando o interesse de demonstrar o desempenho climático do seu negócio para os seus públicos de interesse. O CDP reúne e publica as informações de empresas e governo, em termos de estratégias, governança, metas, gestão de riscos, gestão das emissões, biodiversidade e engajamento dos *stakeholders*.

Além desta iniciativa, a comunicação da abordagem do Metrô é realizada na *comunidade internacional*, que reúne outros metrô do mundo e perante outras partes interessadas a nível nacional, fornecendo dados, participando de fóruns e associações e desenvolvendo ações de educação ambiental para passageiros e empregados.

### GESTÃO DE RISCOS CLIMÁTICOS: OPORTUNIDADE ESTRATÉGICA PARA APRIMORAR AS PRÁTICAS NO METRÔ

O Metrô de São Paulo possui uma Política de Gestão de Riscos Corporativos com a finalidade de estabelecer diretrizes, identificar e monitorar riscos no ambiente corporativo. A administração leva em conta a análise de possíveis mudanças do contexto externo e do próprio modelo de negócio que possam interferir no desenvolvimento de suas atividades, e se tornarem riscos corporativos na dimensão do negócio, que as questões de integridade e regulação.

A resiliência dos projetos tem sido objeto de análise e um dos condicionantes para a concessão dos recursos financeiros. As empresas têm busca-

do adequar a gestão em relação à abordagem das mudanças climáticas nos negócios, alinhando-a aos padrões internacionais. A ausência de informações sobre os impactos financeiros relacionados à vulnerabilidade climática e os impactos sobre os investimentos, é atualmente um dos grandes desafios para a implantação de políticas e projetos para a adaptação climática.

No contexto de crescimento das exigências e requisitos de mercado, o Metrô considera oportuno realizar a análise dos riscos e vulnerabilidades climáticas para subsidiar o aprimoramento dos processos de gestão e tomadas de decisão com relação aos seus ativos e a operação do negócio. O objetivo é avaliar o quanto o sistema metroviário está exposto, com as variações de temperatura e precipitação, incluindo aspectos físicos e regulatórios, levando-se em consideração as infraestruturas existentes, inovações tecnológicas, consumo de recursos naturais e os aspectos de mercado, como oportunidades para obtenção de crédito em linhas de financiamento sustentável.

O aprimoramento da análise de impactos também irá contribuir nos processos de financiamento dos projetos de empreendimentos metroviários, considerado estratégico para cenários de baixo carbono e elegível a financiamentos sustentáveis na avaliação dos agentes financeiros.

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

O transporte sobre trilhos e a promoção da substituição modal são considerados essenciais para a descarbonização do transporte urbano, em um cenário de compromissos futuros de emissões líquidas zero, ainda que representem um desafio a se alcançar quando se trata de mobilidade urbana, frente ao uso de combustíveis fósseis pelos modos motorizados.

A mudança necessária na matriz de transportes precisa avançar, para que aumente a participação relativa dos modos de transporte movidos a energia mais limpa. Melhorar a eficiência e promover a economia de combustível são medidas importantes que podem resultar na redução de toneladas de gases de efeito estufa.

Outras abordagens que integram pessoas, atividades, edifícios e espaços públicos nos ambientes projetados podem incentivar a redução

dos impactos, como o estímulo ao transporte não motorizado. Esse tipo de transporte ativo pode trazer benefícios à saúde da população e

promover reduções significativas nas emissões atmosféricas e nos custos diretos de transporte.

A geração de energia renovável também tem sido considerada na abordagem estratégica como uma iniciativa para a redução do consumo de energia e de emissões de GEE, com impactos significativos nos custos financeiros, ainda que sejam iniciativas de determinados setores de outras atividades econômicas e regiões.

No entanto, é de se destacar que as empresas que têm as questões das mudanças climáticas na estratégia de seus negócios e consideram a sustentabilidade como uma vantagem competitiva para atrair demanda e investimentos, seguem atuando para efetivar mudanças importantes rumo à transição de uma economia de baixo carbono, explorando os referenciais de mercado relacionados à gestão climática, adotando soluções e práticas inovadoras.

Assim, as mudanças climáticas não são apenas uma questão ambiental, mas também um imperativo de negócios. As empresas precisam se adaptar, mitigar riscos e aproveitar as oportunidades para prosperar em um mundo em transformação.

\* **Cacilda Bastos Pereira da Silva** é Psicóloga, mestre em Gestão Ambiental, com pós-graduação em Gestão de Negócios, atua como especialista na Coordenadoria de Estudos de Viabilidade, Sustentabilidade e Mudanças Climáticas no Departamento de Meio Ambiente da Gerência de Planejamento e Meio Ambiente do Metrô de São Paulo. E-mail: [cacilda.bastos@metrosp.com.br](mailto:cacilda.bastos@metrosp.com.br)

\*\* **Soraia Schultz Martins Carvalho** é Economista, com especialização em Economia Urbana e Gestão Pública e atua como coordenadora de Estudos de Viabilidade, Sustentabilidade e Mudanças Climáticas no Departamento de Meio Ambiente da Gerência de Planejamento e Meio Ambiente do Metrô de São Paulo. E-mail: [ssmcarvalho@metrosp.com.br](mailto:ssmcarvalho@metrosp.com.br)

\*\*\* **Luiz Antonio Cortez Ferreira** é Arquiteto e Urbanista, especialista em Gestão Ambiental e Conservação de Energia, especialista em Planejamento de Transportes Urbanos e mestrando no programa de pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Presbiteriana Mackenzie. É conselheiro titular no Conselho de Arquitetura e Urbanismo de São Paulo e gerente de Planejamento e Meio Ambiente no Metrô de São Paulo. E-mail: [luizcortez@metrosp.com.br](mailto:luizcortez@metrosp.com.br)

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] **COMISSÃO DE VALORES MOBILIÁRIOS - CVM**. Resolução CVM nº 193, de 20 de outubro de 2023. Disponível em: <https://conteudo.cvm.gov.br/export/sites/cvm/legislacao/resolucoes/anexos/100/resol193.pdf>. Acesso em: 16 março 2024.

[2] **DI GIULIO, G. M.; BEDRAN-MARTINS, A. M. B.; VASCONCELLOS, M. P.; RIBEIRO, W. C.; LEMOS, M. C.**, Mainstreaming climate adaptation in the megacity of São Paulo, Brazil. 2018. *The International Journal of Urban Policy and Planning*. Disponível em: [Mainstreaming climate adaptation in the megacity of São Paulo, Brazil \(sciencedirect.com\)](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352703318300012). Acesso em: 18 abril 2024.

[3] **DONATTI, F.**, As mudanças climáticas e seus impactos nos negócios, Pauta prioritária nas agendas corporativas, as mudanças climáticas não são mais uma questão de se – mas quando. Deloitte. Disponível em: [As mudanças climáticas e seus impactos nos negócios | Deloitte](https://www.deloitte.com/br/insights/industry/energy-and-chemicals/assessing-climate-change-impacts-on-business). Acesso em: 18 abril 2024.

[4] **GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO**. Plano de Ação Climática e Desenvolvimento Sustentável do Estado de São Paulo-PAC 2050. (2022). Disponível em: [https://smastr16.blob.core.windows.net/home/2022/11/pac-sp-2050-\\_coorigidoformato\\_23\\_1\\_12.pdf](https://smastr16.blob.core.windows.net/home/2022/11/pac-sp-2050-_coorigidoformato_23_1_12.pdf). Acesso em: 16 março 2024.

[5] **IIE-USP**. PLANEJANDO O FUTURO HOJE: ODS 13, Adaptação e Mudanças Climáticas em São Paulo. Instituto de Energia e Ambiente - Universidade Estadual de São Paulo, 2019. Organização Pedro Roberto Jacobi e Eduardo Trani. Disponível em: [planejando-o-futuro- hoje\\_-5.pdf](https://www.ambiente.sp.gov.br/planjando-o-futuro- hoje_-5.pdf) (ambiente.sp.gov.br).

[6] **IPCC**. Relatório Síntese do Sexto Relatório de Avaliação, 2023. Disponível em:

[www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-do-ipcc/arquivos/pdf/copy\\_of\\_IPCC\\_Lon](https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-do-ipcc/arquivos/pdf/copy_of_IPCC_Lon)

[ger\\_Report\\_2023\\_Portugues.pdf](https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-do-ipcc/arquivos/pdf/copy_of_IPCC_Lon) - Acesso em: 16 abril 2024.

[7] **JACOBI, R. P.; CORTES, P. L.; TORRES, P. H.; MONZONI, M.; XAVIER NICOLLETTI, M.; BORBA LEFEBRE, G.; PERES, E.; POZZAN, M.**, 2018. Lacunas de conhecimento em adaptação às mudanças climáticas. Relatório Diagnóstico Brasil. Red Regional de Cambio Climático y Toma de Decisiones. Programa UNITWIN de UNESCO, Proyecto LatinoAdapta. Disponível em: <https://repositorio.fgv.br/server/api/core/bitstreams/3b2ac2ef-01cb-4a75-820f-715c9705bc93/content>. Acesso em: 20 abril 2024

[8] **KPMG**. Mudanças climáticas e as demonstrações financeiras. IFRS Blog. Disponível em: [Mudanças climáticas e as demonstrações financeiras - KPMG Brasil](https://www.kpmg.com/br/insights/articlespublications/2024/04/mudancas-climaticas-e-as-demonstracoes-financeiras-ifsrs-blog/). Acesso em: 16 abril 2024.

[9] **MEHROTRA, S.; LEFEBRE, B.; ZIMMERMAN, R.; GERÇEK, H.; JACOB, K.; SRINIVASAN, S.**, 2011b: *Climate change and urban transportation systems*. Climate Change and Cities: First Assessment Report of the Urban Climate Change Research Network, C. Rosenzweig, W. D. Solecki, S. A. Hammer, S. Mehrotra, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 145–177. Disponível em: [Adressing Climate Change in Transport Systems.pdf](https://www.cambridge.org/core/books/assessing-climate-change-in-transport-systems). Acesso em: 16 abril 2024.

[10] **SILVA, C. B. P.; SARABIA NETO, R. C.; CARVALHO, S. S. M.**, Emissões de carbono no ciclo de vida dos empreendimentos do Metrô de São Paulo. REVISTA BRASIL ENGENHARIA, São Paulo, páginas 165-166, nº 06/2022 - ano 3.

[11] **ZURICH**. Como as mudanças climáticas afetarão os negócios – e o que pode ser feito. Julho 2023. Disponível em: [Como as mudanças climáticas afetarão os negócios – e o que pode ser feito \(zurich.com.br\)](https://www.zurich.com.br/br/insights/articlespublicacoes/2023/07/como-as-mudancas-climaticas-afetaro-os-negocios-e-o-que-pode-ser-feito). Acesso em: 16 abril 2024.

# Histórico da área de previsão de demanda do Metrô de São Paulo

EPAMINONDAS DUARTE JUNIOR\* / ALEXANDRE FRAZÃO D'ANDRÉA\*\* / JOSÉ DE FRANÇA BUENO\*\*\*

## INTRODUÇÃO

nas grandes cidades e regiões metropolitanas em todo o mundo, as previsões de demanda por transporte são realizadas por meio de modelos matemáticos que têm a capacidade de reproduzir o comportamento e as escolhas dos passageiros. Esses modelos consideram características socioeconômicas, tipos de atividades desejadas nos destinos, a rede multimodal planejada para o futuro e as condições da oferta de transporte para a realização das viagens. Isso inclui aspectos físicos, operacionais e o modelo tarifário adotado.

O desenvolvimento desses modelos teve início nas cidades de Chicago e Detroit, nos Estados Unidos, durante os anos 1950. Posteriormente, as técnicas empregadas nessas cidades foram reproduzidas em Londres nos anos 1960. Desde então, a previsão de demanda tem sido aprimorada, reunindo conhecimentos multidisciplinares em áreas como engenharia, estatística, matemática, economia, urbanismo, geografia, sociologia, pesquisa operacional, psicologia e outras ciências naturais.

Atualmente, os modelos de previsão de demanda desempenham um papel fundamental em minimizar incertezas, subsidiar decisões estratégicas e fornecer insumos para a concepção de futuras redes de transportes. Esses modelos são utilizados para planejar investimentos, priorizar e fasear a implantação de linhas do sistema metroferroviário, realizar análises de viabilidade técnica, econômica e financeira, avaliar impactos ambientais, calcular benefícios sociais e desenvolver projetos funcionais e básicos (incluindo dimensionamento de frota, estações, terminais e sistemas). Além disso, eles também são essenciais para a obtenção de recursos destinados ao financiamento de projetos e obras de infraestrutura e sistemas de controle operacional.

Entre as décadas de 1950 e 1960, a cidade de São Paulo experimentou um crescimento populacional notável, com taxas aceleradas de aproximadamente 5% ao ano. Esse crescimento, aliado à expansão urbana e ao aumento do uso de automóveis, criou desafios importantes a serem enfrentados. A necessidade de desenvolver uma rede de infraestrutura de transportes de alta capacidade tornou-se premente.

Para garantir a máxima eficiência na aplicação dos recursos disponíveis na época, era essencial elaborar um planejamento de transportes urbanos baseado em abordagens técnicas.

O desafio que se colocava naquela época era estudar pela primeira vez na história do país, uma rede de transportes multimodal da maior cidade brasileira (a partir de 1960 a cidade de São Paulo ultrapassou a população do Rio de Janeiro), e prever a demanda de cada linha proposta nessa rede para subsidiar os futuros projetos das linhas de metrô.

Assim, no ano de 1966, foi criado o Grupo Executivo do Metropolitano de São Paulo, que contratou o primeiro estudo de uma rede básica do metrô, sendo então realizado pelo Consórcio HMD formado por duas empresas alemãs, Hochtief e Deconsult, além da brasileira Montreal. Estudos anteriores para um transporte de alta capacidade em São Paulo foram desenvolvidos em 1927 (Projeto Light), 1928 (pelo prof. Antonio Carlos Cardoso), 1929 (governo Pires do Rio) e, em 1945 (projeto do Eng. Mario Lopes Leão). Em 1947 técnicos do Metrô de Paris apresentaram novo projeto, que diferia do projeto de Mario Lopes Leão. Em 1948 foi contratada pela prefeitura de São Paulo a Companhia Geral de Engenharia e elaborado um projeto para um Sistema de Trânsito Rápido. Finalmente, em 1957, a Prefeitura designou o Departamento de Urbanismo para revisar os projetos do Metropolitano.

Entretanto, havia a necessidade de um aprofundamento técnico fundamentado em projeções de demanda que contemplasse a complexidade de uma grande metrópole em acelerado crescimento urbano, como São Paulo. Diante dessa necessidade, o estudo realizado pelo consórcio HMD abrangeu todas as etapas do planejamento de transporte para uma rede de metrô na cidade.

Foram empregadas as metodologias mais avançadas em planejamento de transporte urbano da época, incluindo o método utilizado nas pesquisas de

campo (Pesquisa Origem – Destino de 1967) e os procedimentos para elaborar os modelos de previsão de demanda baseados na publicação 'Traffic Assignment Manual' do BUREAU OF PUBLIC ROADS, órgão do U.S. Department of Commerce, Washington-DC, de 1964.

A elaboração desses modelos, com o objetivo de realizar simulações de cenários futuros para a RMSP, demandava o processamento de uma quantidade massiva de cálculos, o que só era possível por meio de computadores de grande porte. No entanto, essas máquinas não existiam no Brasil na época, exigindo que uma grande parte do processamento de dados fossem realizados no exterior.

Os modelos matemáticos, assim como os dados das redes de simulação, matrizes de viagem, entre outros, eram codificados em cartões perfurados e enviados por via aérea para o processamento do bureau de serviços da IBM em Nova York.

O computador escolhido para realizar os cálculos desse estudo foi o IBM 7094 (figura 1). Esse computador é reconhecido como representante da segunda geração dos computadores comerciais e foi escolhido por ser um dos principais mainframes dos anos 1960, tendo sido utilizado inicialmente em usinas nucleares e em seguida pela NASA para controlar voos espaciais das missões Gemini e Apollo.

Após essa fase inicial de simulações sendo realizadas no exterior, passou-se a utilizar o serviço de processamento de dados da

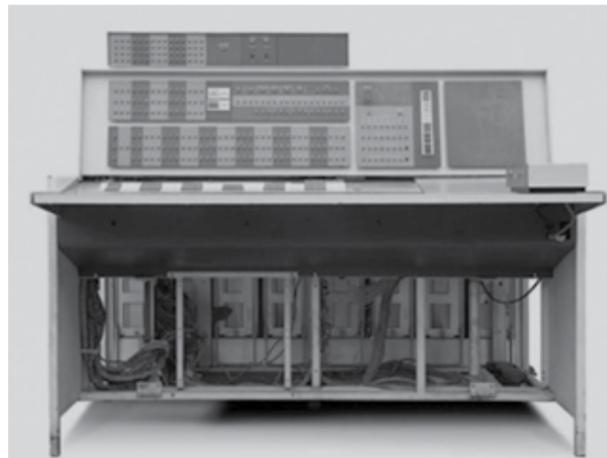


Figura 1 - Computador IBM 7094 (primeiras simulações de demanda do Metrô)

Secretaria de Finanças da Prefeitura de São Paulo, na empresa Camargo Corrêa, e na Companhia de Processamento de Dados do Município de São Paulo (Prodam).

O estudo realizado pelo consórcio HMD é um marco histórico e foi entregue a Prefeitura de São Paulo em dezembro de 1968 resultando no Relatório da Rede Básica do Metrô que consolidava, finalmente, todas as diretrizes técnicas para a construção da rede de metrô de São Paulo.

Na figura 2 é apresentado um mapa de codificação de centroides, nós, links e linhas de transporte coletivo utilizado para a montagem da rede de simulação utilizada para prever a demanda futura das linhas da rede básica do metrô.

Na figura 3 é apresentado um dos mapas produzidos pelo relatório do HMD, em que é representada a demanda de passageiros nos diversos eixos da RMSP em 1967 no transporte coletivo (ônibus e trens suburbanos).

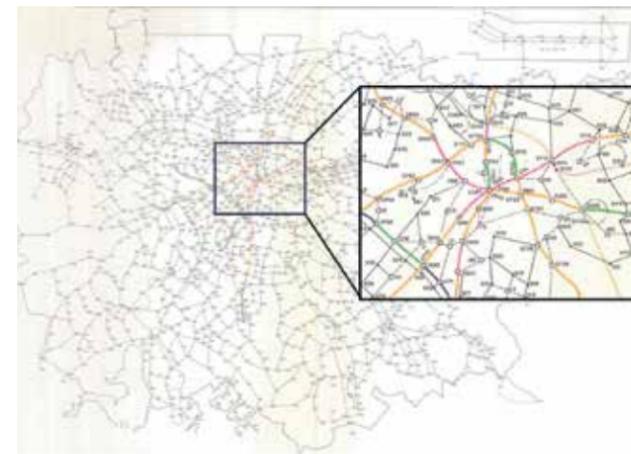


Figura 2 - Codificação da rede básica do metrô de São Paulo (Fonte: Relatório HMD)

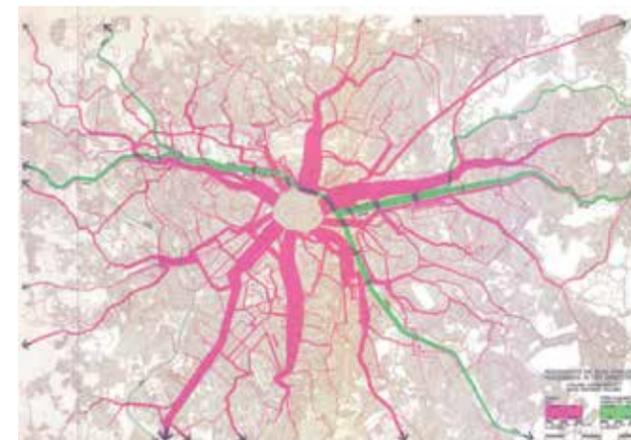


Figura 3 - Passageiros em duas direções (trens e ônibus urbanos), baseado no levantamento ocorrido de maio a agosto de 1967 (Fonte: HMD, Volume 1)

Na figura 4 são apresentadas as linhas resultantes do estudo rede básica do metrô.

## FUNDAÇÃO DO METRÔ DE SÃO PAULO, FORMAÇÃO DA EQUIPE

Em 1968, a Companhia do Metropolitano de São Paulo foi fundada, marcando o início do processo de desenvolvimento técnico. Uma decisão crucial foi investir na criação de um Departamento de Planejamento de Transporte, com profissionais altamente qualificados e os meios tecnológicos necessários para atender às demandas dessa área. Essa abordagem foi fundamental para o sucesso contínuo da área de planejamento do Metrô.

A formação da primeira equipe técnica de planejamento de transportes do Metrô ocorreu em 1971. O Secretário Municipal de Transportes, Engº Ion de Freitas, que também era professor e fundador do Departamento de Engenharia de Transportes na Escola Politécnica da Uni-

versidade de São Paulo, convidou nove alunos para formar a primeira equipe de planejamento no Metrô de São Paulo. Agregada a alguns técnicos que já trabalhavam no Metrô, essa equipe

listada a seguir constituiu o PTR – Departamento de Planejamento de Transportes do Metrô e tinha como chefe o Engº Roberto Salvador Scaringella, e como coordenador principal, o Engº Elmir Germani: Silvio dos Santos; Michel Kayal; Francisco Moreno Neto; Paulo Sergio Custódio; João Carlos Scatena; Luiz de Carvalho Montans; Max Hernani Borges de Paula; Edson Paulo Filizola; Antônio Fernando Ribeiro Machado.

## PONTO DE PARTIDA E CONHECIMENTO TÉCNICO

O Relatório HMD foi o ponto de partida para o desenvolvimento de conhecimentos de planejamento de transportes dessa equipe. No entanto, é importante destacar o pioneirismo de três nomes notáveis: Ion de Freitas, Roberto Salvador Scaringella e Elmir Germani. Eles desempenharam um papel crucial no desenvolvimento inicial do planejamento de transportes do Metrô de São Paulo. Algumas das suas iniciativas para aprimorar a equipe tecnicamente e otimizar os recursos no desempenho das atividades foram de grande relevância, inclusive com reverberação no restante do Brasil.

Dentre essas ações, destacam-se os treinamentos realizados em parceria com diversos órgãos, nas cidades de Nova York, Washington, Paris e Londres. O conhecimento adquirido nesse período, principalmente no

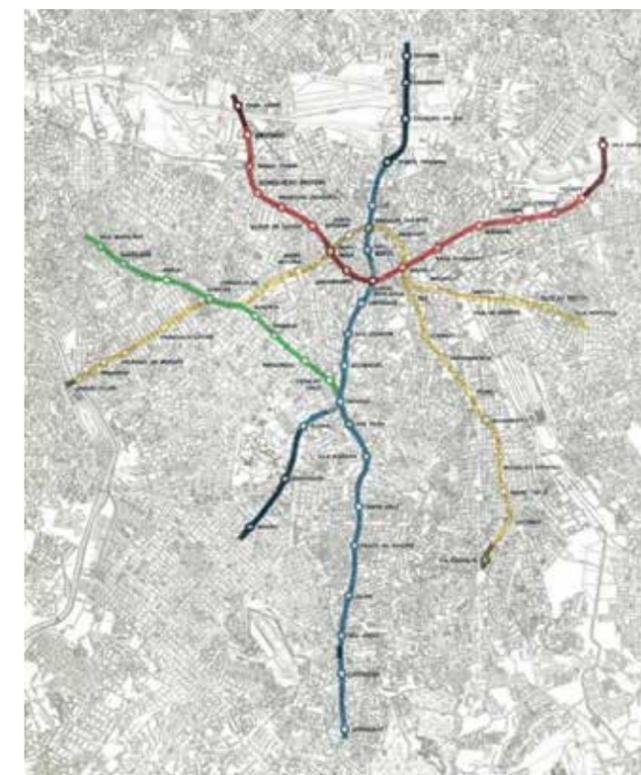


Figura 4 - Rede de Metrô de São Paulo proposta pelo Relatório HMD, 1968 (Fonte: Relatório HMD)

que tange aos modelos de previsão de demanda, abrangeu múltiplas disciplinas, como planejamento urbano, engenharia de transportes, economia urbana, geografia urbana, estatística aplicada e outras.

Adicionalmente à formação da equipe, nos anos de 1972, 1973 e 1974, consultores americanos foram contratados para transmitir o know how de codificação de redes de transporte coletivo e elaboração dos famosos modelos matemáticos de Quatro Etapas – geração, distribuição, divisão modal e alocação de viagens. Esses conhecimentos foram passados de geração em geração e tem impactos positivos até os dias de hoje.

Em decorrência da carência de bibliografia e da necessidade de uma publicação sobre o assunto em língua portuguesa, em 1973, alguns membros da equipe de planejamento do Metrô de São Paulo, os engenheiros Elmir Germani, Francisco Moreno Neto, João Carlos Scatena, Michel Kayal, Paulo Sergio Custódio, Rogério Belda e Sílvio dos Santos, publicaram uma apostila com o título “Planejamento de Transportes”, tornando-se uma das primeiras publicações sobre esse tema no Brasil.

Após o treinamento intensivo e a formação da equipe, chegou a momento de aplicar na prática os conhecimentos adquiridos, uma vez que havia projetos de grande relevância a serem desenvolvidos na Companhia. Esses projetos, em sua totalidade, baseavam-se em previsões de demanda.

### PRIMEIROS DESAFIOS

Quando o Metrô de São Paulo iniciou as obras da Linha 1-Azul, surgiu a necessidade de desenvolver novos estudos para a expansão do sistema, integração com ônibus e desvios de tráfego para a execução das obras. Nesse contexto, um funcionário do Metrô de São Paulo desempenhou um papel fundamental: o Engº Elmir Germani. Ele foi designado para recuperar os dados da Pesquisa O/D (Origem e Destino) de 1967, realizada pelo consórcio alemão HMD. Para obter esses dados essenciais à simulação da infraestrutura metroviária, Germani precisou viajar aos Estados Unidos, onde as fitas com os dados estavam armazenadas por uma empresa contratada pelo HMD.

Além dos dados, Germani obteve a cópia do PlanPac, um pacote de programas de computador para planejamento de transportes desenvolvido pelo Departamento de Transportes do governo americano. Com o PlanPac e outros softwares criados sob sua supervisão, foi possível elaborar as primeiras simulações de redes no metrô paulistano.

A rede concebida pelo HMD era estratégica; mas não continha detalhes sobre integrações físi-

cas e tarifárias! Dessa forma havia a necessidade de desenvolver um estudo de terminais de integração entre ônibus e metrô que contemplasse o tempo total de viagem compondo tempos intermediários de caminhada desde a origem até o local de embarque, tempo de transferências entre modos e tempos de viagem dentro do transporte coletivo e tempos de caminhada até o destino; além de “tentar captar” o efeito do incremento do custo da tarifação possibilitada pela integração tarifária.

Entre 1972 e 1973, essa equipe foi encarregada para desenvolver um estudo detalhado sobre integrações físicas e tarifárias – o PERSIT ou Projeto de Execução da Rede de Simulação Integrada de Transportes – que a nova malha de transportes de São Paulo passaria a exigir, então já num futuro muito próximo! Após esses dois anos de intensos estudos, quando foram extensivamente utilizados modelos de previsão de demanda, o trabalho resultou na localização, dimensionamento, política tarifária e todos os elementos necessários para a integração entre as linhas de ônibus e a rede de metrô em desenvolvimento.

Paralelamente aos estudos da rede metroviária, havia a necessidade de se entender e organizar os fluxos diários, não só de pessoas, mas também o de veículos, devido às intervenções urbanas causadas pela construção da Linha 1-Azul. Assim, parte da equipe iniciou estudos de engenharia de tráfego com base nos dados de projeção de demanda coletados anteriormente. Com o apoio do Engº Roberto Scaringella, o trabalho dessa equipe foi tão significativo que resultou na criação da Companhia de Engenharia de Tráfego do município de São Paulo (CET-SP), experiência bem sucedida e depois difundida para as grandes cidades brasileiras.

Os desafios se ampliavam com as possibilidades abertas pela área de planejamento de transportes do Metrô de São Paulo. A Companhia precisava desenvolver um estudo que resultasse na escolha da próxima linha a ser construída. Dessa forma foram elaboradas: uma nova rede viária (Sílvio dos Santos), uma rede integrada de transporte coletivo (João Carlos Scatena), e os modelos de geração, distribuição, divisão modal e alocação (Francisco Moreno Neto e Michel Kayal).

Este trabalho resultou em uma alternativa para a diretriz da Linha 3-Vermelha, proposta no relatório HMD. A alternativa envolveu a modificação do traçado original,



Figura 5 - Codificação da rede de simulação anos 1970 (Fonte: Engº João Carlos Scatena)

resultando em uma linha mais extensa, com custo por quilômetro mais baixo (principalmente devido à maior parte da linha ser implantada em superfície). Além disso, essa alternativa atendeu a uma maior quantidade de passageiros e proporcionou uma cobertura espacial mais ampla, graças às novas estratégias oferecidas aos passageiros por meio das integrações.

### DESENVOLVIMENTO DOS SOFTWARES DE SIMULAÇÃO

Nos primórdios da área de planejamento de transportes do Metrô de São Paulo, as redes eram mapeadas fisicamente em pranchetas. Os softwares disponíveis não tinham saída gráfica ou algo semelhante aos modernos sistemas de Informação Geográfica (GIS) para produção de mapas (nessa época não existiam plotters). Esses mapas eram, então, codificados e inseridos nos computadores por meio de cartões perfurados. Os resultados dos modelos também eram gerados pelos computadores de forma codificada, e esses códigos eram, por sua vez, interpretados e revertidos manualmente, link a link para mapas físicos impressos em papel (figura 5), que adornavam as paredes do departamento de planejamento de transportes.

A figura 6 representa uma régua, elaborada pelo engenheiro João Carlos Scatena, com o objetivo de calcular os tempos de caminhada até o local de embarque no transporte coletivo.

Os avanços tecnológicos que se seguiram foram cruciais para o desenvolvimento de projetos novos e estudos de previsão de demanda, dentro do contexto do planejamento de transportes do metrô.

Os primeiros programas computacionais relacionados aos modelos de simulação de demanda internalizados no Metrô de São Paulo, a partir de 1973, eram todos provenientes dos USA.

Inicialmente foi utilizado um conjunto de

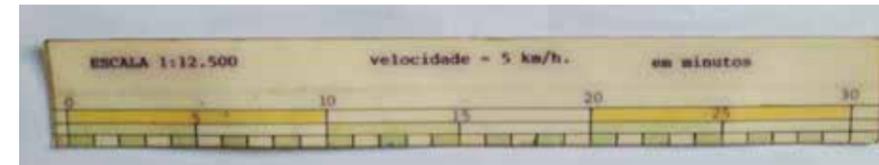


Figura 6 - Régua de tempo em minutos (Fonte: Engº João Carlos Scatena)

programas denominado TRIPS – Transportation Improvements, desenvolvido para o órgão FHWA – Federal Highway Administration, Departamento de Transportes do Governo dos Estados Unidos. Este pacote ainda tinha um viés rodoviário, mais voltado para planejamento de rodovias, mas já continha programas para o planejamento de transporte urbano de passageiros.

Posteriormente, ainda durante o uso da TRIPS, houve a introdução no Metrô de São Paulo, junto com a contratação de uma consultoria especializada, de uma das mais completas ferramentas computacionais ligadas às atividades de previsão de demanda de transporte urbano, e que serviu de base metodológica para os projetos que viriam futuramente: um pacote de programas denominado UTPS – Transportation Planning System, desenvolvido para o órgão do governo federal americano UMTA – Urban Mass Transportation Administration.

Como mencionado, devido aos avanços significativos na teoria da modelagem, nas técnicas de simulação e nas inovações excepcionais no campo da informática, as simulações tem se aprimorado continua-

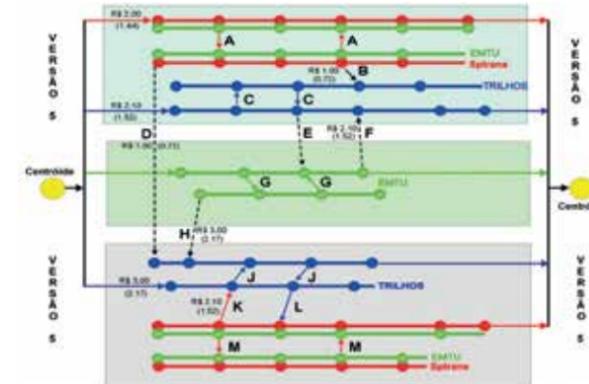


Figura 7 - Representação da Política Tarifária da RMSP em 2006 (Fonte: Coordenadoria de Demanda e Pesquisas “GPA/DPA/CDP”)

Tabela 1 - Quantidade de zonas OD e de transporte adotadas pela Companhia do Metropolitano

Ano	1967	1977	1987	1997	2007	2017	2023
Zonas OD	206	243	254	389	460	517	527
Zonas de Simulação	574	704	1028	1158	1896	2259	2259

Fonte: Pesquisas OD e GPA/DPA/CDP

mente. Esses progressos contribuíram para aperfeiçoar a eficácia e a precisão das simulações e promover inovações importantes a partir dos anos 1980.

Nos anos de 1981 e 1982, o Metrô de São Paulo, a Coordenadoria de Planejamento do Município de São Paulo (COGEP) e a CET-SP, participaram de uma experiência inovadora no campo de planejamento de transporte. Esses atores coordenaram a elaboração de um Modelo de Uso do Solo e Transporte (Projeto MUT), que procurava representar os efeitos mútuos entre o uso do solo com o transporte urbano da metrópole de São Paulo. O projeto contou com a consultoria internacional de equipe técnica coordenada pelo arquiteto e urbanista chileno Marcial Echenique, professor de Uso do Solo e Estudos de Transportes na Universidade de Cambridge.

O MUT era um modelo estratégico com zoneamento integrado, vários algoritmos interrelacionados e longos tempos de processamento. As simulações eram realizadas com utilização de dados “perfurados em cartões” e em grandes fitas magnéticas, em computadores do IPEN – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, da USP.

Com o avanço da tecnologia de computadores, as simulações de demanda tornaram-se viáveis para processamento em microcomputadores por volta de 1991/1992. Nesse período, foram adquiridos os softwares TRANPLAN (Transportation Planning) e NIS (Network Information System), ambos distribuídos pela The Urban Analysis Group, uma empresa americana localizada na

região próxima de São Francisco.

Com algumas restrições, pode-se dizer que o TRANPLAN seria uma versão para microprocessamento do UTPS relatado anteriormente, com a novidade da interface gráfica do programa NIS, ainda bastante incipiente, mas que foi utilizada pelo Metrô de São Paulo por muitos anos.

Havia a necessidade de obter os resultados das simulações da forma mais otimizada possível porque cada cenário do TRANPLAN consumia entre 6 e 18 horas de computação. Portanto, o Engº João Carlos Scatena alterou o código do software possibilitando otimizá-lo, facilitando a agilidade em se obter os resultados de previsão de demanda.

### COMPLEXIDADE DA RMSP

Entre o final dos anos 1980 e 2020, a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) passou por transformações profundas que afetaram significativamente o sistema de transporte. Essas mudanças incluíram alterações socioeconômicas da população, crescimento populacional substancial com maior distribuição espacial de seus habitantes nas periferias da metrópole, mudanças no uso do solo, surgimento de novas centralidades urbanas, inovações na política tarifária (como o Bilhete Único e o Bilhete de Ônibus Metropolitano), implementação do rodízio de veículos e expansão da rede de metrô e corredores de ônibus.

Todas essas características resultaram em impactos na mobilidade e acessibilidade em diversos níveis, alterando as escolhas dos locais de moradia, a localização dos empregos na RMSP, a divisão modal entre transporte coletivo e individual, mudanças nos horários de início das viagens, alterações nos motivos dos deslocamentos. Essa dinâmica complexa moldou a forma como os habitantes da região se deslocam e interagem com a cidade.

Portanto, o novo desafio para a área de simulação foi interpretar todas essas alterações e considerá-las em novos modelos, uma vez que impactam diretamente na previsão da demanda, que por sua vez é um dos principais subsídios para ajudar nas tomadas de decisão e garantir um sistema de transporte eficiente e adaptado às necessidades da população.

Para realizar previsões dentro de cenários

tão complexos foi necessário “sofisticar os modelos matemáticos de simulação” até então utilizados, tanto nas análises da demanda como da oferta de transportes, aumentando as quantidades de zonas da Pesquisa Origem Destino e, também, das zonas de simulação, como apresentado na tabela 1.

Esse procedimento resultou um trabalho cada vez mais detalhado dos fenômenos urbanos que influenciam na mobilidade!

A partir de 2005, com a implantação do Bilhete Único, em uma primeira etapa, apenas nos ônibus da SPTrans, posteriormente com integração com os sistemas sobre trilhos e com a EMTU-SP, tornou-se imperativo que a área de simulação de demanda conseguisse representar adequadamente as políticas tarifárias adotadas na RMSPP, para seu uso no software de simulação de redes matemáticas para planejamento de transportes (EMME), utilizado pelo Metrô de São Paulo, acrônimo de Equilíbrio Multimodal / Multimodal Equilibrium.

Para superar tal desafio, a equipe de simulação de demanda do Metrô de São Paulo, e as principais equipes técnicas que já enfrentavam essa necessidade em diversos estudos feitos em São Paulo e outras cidades brasileiras, desenvolveram uma representação matemática sofisticada abrangendo a política tarifária da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). Destaca-se que dois membros da equipe – o matemático José de França Bueno e o físico José Alberto de Castro Rubira – lideraram esse esforço, sob a coordenação da estatística Maria Cecília de Moraes Laiza, pelo Metrô de São Paulo. Eles criaram um mecanismo completo de representação da política tarifária por meio de scripts de programação, conhecido como “estrutura de camadas”.

Essa iniciativa (figura 7) foi extremamente bem-sucedida e, após alguns anos, a própria fabricante do software adotou essa estratégia desenvolvida pelos técnicos brasileiros. Agora, a possibilidade de uma boa representação da política tarifária está incorporada à estrutura da plataforma do software EMME, por meio de uma funcionalidade denominada “Journey Levels”, possibilitando que cidades e regiões metropolitanas em todo o mundo simulem cenários de transporte com base nessa ferramenta.

A equipe técnica de simulação de demanda elaborou seu último modelo em 2019 com base nos dados da Pesquisa OD de 2017. Durante esse processo, diversas melhorias foram incorporadas, visando representar de forma mais precisa os fenômenos urbanos que afetam a mobilidade.

Um dos principais avanços ocorreu na elaboração dos modelos de geração de viagens. Nesse contexto, considerou-se matemática-

mente a heterogeneidade do espaço, partindo da hipótese de que a mobilidade está relacionada às variáveis socioeconômicas e à localização em que se manifesta.

Os modelos de geração baseados em clusters de zonas homogêneas tornaram-se sensíveis à heterogeneidade espacial das relações entre viagens e variáveis explicativas, apresentando maior estabilidade em todo o espaço da RMSPP, além disso, tais modelos respondem melhor ao conjunto de testes estatísticos ao qual foram submetidos, garantindo maior confiabilidade matemática do que as técnicas de machine learning e econometria espacial, também testadas nesse desenvolvimento.

A consideração do espaço como fator determinante na previsão de viagens proporcionou aumento do poder explicativo do modelo, além de uma melhor distribuição dos desvios entre dados modelados e observados e ainda garantiu maior sensibilidade às alterações dos dados socioeconômicos de cada localidade. Por fim a precisão dos resultados foi melhorada em aproximadamente 31% em relação ao modelo clássico.

### PANDEMIA – PESQUISA OD 2023 – NOVO MODELO DE PREVISÃO DE DEMANDA

As profundas alterações na mobilidade urbana após a Pandemia do Coronavírus, iniciada em 2020, têm se tornado um dos principais temas de pesquisa no planejamento de transportes atualmente. Especificar e desenvolver novos modelos de previsão de demanda, bem como ajustar os modelos existentes para refletir adequadamente a nova realidade da mobilidade, são os desafios atuais.

Diante dessa necessidade e da relevância do tema, a Companhia do Metropolitan de São Paulo – Metrô, realizou uma Pesquisa Origem-Destino completa no ano 2023. Essa pesquisa fornecerá detalhes sobre os fatores que impactaram na mobilidade e que são decorrentes da Pandemia do Coronavírus.

Talvez esse seja um dos maiores desafios já impostos a área de previsão de demanda, no entanto, cabe enfatizar que a própria necessidade de acompanhar as complexas transformações da RMSPP ao longo de décadas contribuiu para aprimorar a qualidade dos modelos. Nesse momento, não será diferente, e a equipe de previsão de demanda tem se apropriado dos grandes avanços da teoria da modelagem e das técnicas de simulação e tem todas as condições (material humano, software e hardware), para elaborar o modelo novo, garantindo a qualidade já testada nas últimas 6 décadas. 📌

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO. Relatório HMD – Hochtief - Montreal - Deconsult. 1968.
- [2] COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO – METRÔ. Relatório “A Terceira Linha do Metrô”. 1980.
- [3] COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO – METRÔ. Relatório Rede Essencial do Metrô.
- [4] REVISTA METROPOLIS. Número 7, Ano 2, outubro/novembro 2012.

### Entrevistas

1. **Francisco Moreno** (engenheiro e consultor em planejamento de transportes, atuou no Metrô de São Paulo, período de 1972 a 1976).
2. **João Carlos Scatena** (engenheiro e consultor em planejamento de transportes, atuou no Metrô de São Paulo, período de 1972 a 2003).
3. **Maria Cecília de Moraes Laiza** (matemática, atuou no Metrô de São Paulo a partir de 1978, aposentando-se em 2018).
4. **Eduardo Germani** (consultor em planejamento de transportes).

### Agradecimentos

- **Luiz Antônio Cortez Ferreira** – Gerente de Planejamento e Meio Ambiente.
- **Epaminondas Duarte Jr.** – Chefe do Departamento de Planejamento e Anteprojeto de Engenharia.
- **Elmir Germani** “in memoriam” (engenheiro e consultor em planejamento de transportes, atuou no Metrô de São Paulo, período de 1971 a 1976, como Chefe do Departamento de Planejamento de Transportes).
- **Emilia Mayumi Hiroi** – Assessora Técnica I - Coordenadoria de Estudos de Demanda e Pesquisas.
- **Alexandre Makoto Koga** – Engenheiro - Coordenadoria de Estudos de Demanda e Pesquisas.
- **Ana Carolina Theodoro Dantas** – Engenheira, Coordenadoria de Estudos de Demanda e Pesquisas.
- **José Alberto de Castro Rubira** - Analista III, Coordenadoria de Estudos de Demanda e Pesquisas.
- **José de França Bueno** - Analista III, Coordenadoria de Estudos de Demanda e Pesquisas.
- **Mário José Gil Telesi** - Analista II, Coordenadoria de Estudos de Demanda e Pesquisas.

\* **Epaminondas Duarte Junior** é Engenheiro, Chefe do Departamento de Planejamento e Anteprojeto de Engenharia do Metrô-SP  
E-mail: eduarte@metrosp.com.br

\*\* **Alexandre Frazão D’Andréa** é Engenheiro Civil, Mestre em Engenharia de Transportes, Coordenador de Estudos de Demanda e Pesquisas do Metrô-SP  
E-mail: afrazao@metrosp.com.br

\*\*\* **José de França Bueno** é Bacharel em Matemática Aplicada, Doutor em Ciências da Engenharia, Analista na Coordenadoria de Estudos de Demanda e Pesquisas do Metrô-SP  
E-mail: jose.bueno@metrosp.com.br

# Modernização do centro de controle: as pessoas são a chave para o sucesso

MARCIO STEVANI\* / RODRIGO LOPES SOARES\*\*

### INTRODUÇÃO

Diante de um grande Plano de Investimentos, tendo como um dos objetivos a melhoria da eficiência operacional, em maio de 2022 o Metrô assinou contrato com o Consórcio ARC – DC – SP para a nova modernização do seu Centro de Controle Operacional (CCO). Um investimento de 50 milhões de reais, com o objetivo de torná-lo mais eficiente e adequado para o futuro.

Um novo parque tecnológico com mais de 80 servidores trabalhando e trazendo um sistema de virtualização jamais visto. Além de máquinas potentes, contará com acondicionamento ambiental de última geração para tornar incrível a experiência dos nossos operadores.

O projeto, denominado CCOx, vai além dos aspectos técnicos e se destaca por evidenciar sua preocupação com a experiência tanto dos passageiros quanto dos funcionários. A consolidação de mais de 50 anos de operação e expertise, combinada a uma visão futurista, será implementada no CCOx por meio de uma verdadeira reformulação do sistema nervoso central da companhia (figura 1).

Realizar uma reforma em um ambiente ocupado por profissionais que desempenham atividades fundamentais para uma empresa apresenta uma série de desafios complexos. A interrupção das rotinas diárias poderá impactar diretamente a produtividade desses colaboradores e, consequentemente, nos serviços prestados pela empresa. Além disso, o barulho, a poeira e a movimentação de trabalhadores da construção podem criar um ambiente de trabalho desconfortável e estressante, prejudicando a concentração e o bem-estar dos funcionários.

A necessidade de coordenar horários para minimizar as interferências, garantir a segurança de todos e manter a continuidade dos serviços essenciais torna a logística da reforma ainda mais complicada. Portanto, um planejamento meticuloso e a comunicação constante entre os responsáveis pela obra e os profis-

sionais da empresa são cruciais para mitigar os impactos negativos e garantir que a reforma seja realizada de maneira eficiente e segura.

### O CENTRO DE CONTROLE OPERACIONAL DO METRÔ DE SÃO PAULO

Os Centros de Controle desempenham um papel fundamental para várias organizações que precisam monitorar e controlar suas operações em tempo real. Em resumo, os CCO têm a função de centralizar, distribuir informações e operacionalizar diversos processos, sendo essenciais para as organiza-

ções que os mantêm. Nas empresas metroferroviárias em todo o mundo, os CCO estão presentes e desempenham um papel crucial no monitoramento, operação e controle da rede, abrangendo processos como operação, manutenção, fornecimento de energia, fluxo de passageiros e segurança.

O Centro de Controle Operacional do Metrô de São Paulo foi inaugurado em outubro de 1974 e ficou conhecido como “sala negra”, apelido dado ao local que, originalmente era composto por paredes e painéis negros, atitude proposital para dar mais destaque aos painéis multimídia (figura 2).



Figura 1 - Projeção do Centro de Controle após a reforma



Figura 2 - Antiga “sala negra” - CCO do Metrô-SP

Em 1999 a “sala negra” precisou ser reformada devido à necessidade de modernização e a obsolescência de alguns equipamentos. O projeto, na época chamado de “O NOVO CCO”, previa a modificação dos equipamentos de controle e melhorias na parte civil da sala (figura 3).

Os antigos painéis de sinalização foram substituídos por painéis retroprojetados, que podem ser alterados de acordo com a função que se deseja impor. Cada console de controle tem seu painel correspondente, permitindo a visualização dinâmica e em tempo real dos trens e do terceiro trilho (RAI-MUNDO, 2009).

Sem a necessidade de um tom escuro que contrastasse com a informação das telas e painéis, foi possível trocar a cor das paredes e do mobiliário, indo para o tom pastel, assim trazer mais conforto visual aos operadores (METRÔ, 2018), figura 4.

À medida que os anos avançaram, o fluxo de informações aumentou de forma que as estruturas atuais tornaram-se defasadas em diversos aspectos. Podemos mencionar o fator organizacional decorrente do crescimento das estruturas necessárias para o gerenciamento dessas informações, que causou, em certa medida, a despadronização e acúmulo de equipamentos, gerando necessidade de uma nova reforma.

O escopo do projeto básico do CCOx inclui reformas nas instalações prediais, implantação e adequação de sistemas, como ar-condicionado, iluminação, baixa tensão, bandeamento, alimentação elétrica, comunicação de dados, sistemas computacionais e gerenciamento de imagens, com um novo videowall. Além disso, o mobiliário será renovado com



Figura 3 - Projeto do “NOVO CCO” - 1999



Figura 4 - Sala de controle atual - CCO do Metrô-SP

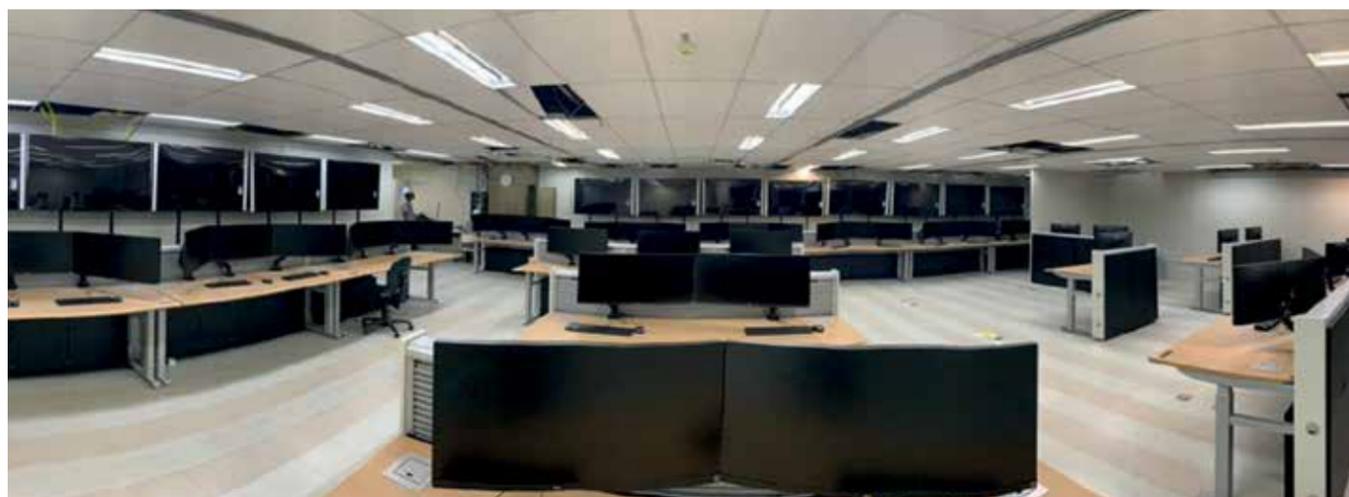


Figura 5 - Instalações provisórias do CCO no 2º andar



Figura 6 - Visita dos gestores do CCO ao Centro de Excelência da Sociedade Esportiva Palmeiras

novos itens projetados sob medida para as novas instalações.

Para que as atividades na sala de controle sejam minimamente impactadas, será necessário remanejar os postos atuais para um espaço provisório no 2º andar do prédio. Trata-se de uma etapa de muito risco pois a operação das linhas 1-Azul, 2-Verde e 3-Vermelha não poderá ser impactada ou paralisada, nem mesmo um único dia. A atividade de transferência dos postos será conduzida gradativamente nas madrugadas. Com toda a sala de controle desabitada será iniciada a obra civil e, na sequência, a instalação dos recursos mobiliários e dos equipamentos (figura 5).

instituições de reconhecido desempenho operacional e em empresas parceiras, em busca de inspirações.

Uma dessas visitas foi realizada no Centro de Excelência da Sociedade Esportiva Palmeiras. A instituição passou por um período de dificuldades financeiras e desempenho esportivo muito aquém do que estava acostumada. Após realizar um profundo trabalho de reestruturação, hoje é referência nos aspectos esportivo, administrativo e financeiro. O Palmeiras passou de um time com muitas dívidas, sem poder de investimento e com um trabalho de categorias de base pouco relevante, para um time que consegue aportar pesados investimentos

### O IMPACTO DAS MUDANÇAS NAS PESSOAS

O impacto das mudanças nas pessoas que desempenham suas atividades neste espaço pode ser significativo, afetando tanto o emocional quanto o desempenho profissional. Mudanças organizacionais, tecnológicas ou estruturais podem gerar incertezas, resistência e ansiedade entre os colaboradores.

Com o objetivo de auxiliar nesse desafio, gestores do Centro de Controle realizaram ações de *benchmarking* a fim de conhecer práticas de gestão de pessoas e de processos, aplicadas nas mais diversas áreas, empresas,

no futebol, e com uma base que gera lucros, vitórias e futuros talentos (figura 6).

No Centro de Excelência, os gestores foram recepcionados pelo gerente de futebol Cícero Souza, profissional fundamental no processo de reestruturação do clube e tiveram um importante e valioso bate-papo sobre gestão (figura 7).

Importantes lições foram trazidas dessa visita. Entre elas, destaca-se:

- Valorizar gente. Valorizar o ser humano. São as pessoas que levam o time a ganhar ou a perder;
- Estrutura + profissionais de excelência = trabalho de excelência.

### AS PESSOAS SÃO A CHAVE PARA O SUCESSO

Para que as mudanças sejam bem-sucedidas, é fundamental apoiar as pessoas em suas transições individuais, do estado atual para o estado futuro, e entender o que é necessário para influenciar cada pessoa a abraçar e adotar a mudança.

Segundo Bridges (2009), não são as mudanças que derrubam, são as transições. A mudança é situacional: o novo local, o novo chefe, os novos papéis da equipe, a nova política. A transição é o processo psicológico pelo qual as pessoas passam para aceitar a nova situação.

Por este motivo, firmou-se uma parceria entre o Centro de Controle e a área de saúde ocupacional da Companhia do Metrô, com o objetivo de desenvolver um trabalho de apoio psicológico aos empregados envolvidos. Este trabalho foi nomeado “Vamos conversar?”, pois trata-se de um espaço destinado para que os empregados possam falar dos desafios, expor seus medos, ansiedades, entre outros.

Os objetivos do programa, conduzido por psicólogas da Companhia, são:

1. Auxiliar no processo de transição do CCO para o CCOx.
2. Buscar promover melhoria na qualidade e clima do ambiente de trabalho.
3. Fomentar a reflexão sobre o bem-estar dos profissionais do Centro de Controle.

A primeira etapa deste trabalho foi a realização de aproximadamente 50 entrevistas, onde os empregados foram ouvidos em suas necessidades individuais e coletivas. O resultado consolidado foi compartilhado com os gestores para a elaboração de um plano de ação.

A segunda etapa consiste na continuidade dos atendimentos, intervenções e apoio a esses profissionais, com atividades individuais e em grupo e com participação da liderança, cujo objetivo é trabalhar perspectivas e desafios, abor-



Figura 7 - Bate-papo sobre gestão com o gerente de futebol Cícero Souza



Figura 8 - Reunião do Comitê de Transição

dagem dos aspectos relacionados às mudanças e quebras de paradigmas, atenção às rotinas de trabalho, atenção e necessidade de foco, motivação profissional e clima organizacional.

Além disso, foi criado o “Comitê de Transição”, grupo composto por representantes dos empregados alocados na área, com o objetivo de discutir as etapas e o processo de transição juntamente com as equipes responsáveis pela reforma (figura 8).

Nas reuniões do comitê ocorrem apresentações sobre detalhes do cronograma do projeto, layout e ergonomia, explicação sobre a virtualização dos sistemas e esclarecimentos de dúvidas do grupo.

Ao longo do período de implantação das instalações provisórias, os membros do Comitê de Transição, puderam realizar visitas aos locais de obras. As áreas de vestiários, sala de

computadores e a sala de controle provisória foram amplamente vistoriadas (figura 9).

A comunicação clara e transparente é fundamental para que todos compreendam os motivos, os benefícios e os impactos das mudanças. É fundamental envolver os funcionários no processo, permitindo que eles expressem suas opiniões e preocupações, o que pode aumentar o senso de pertencimento e aceitação. De acordo com Cameron (2019), engajar os funcionários e abordar suas preocupações é fundamental para o sucesso de qualquer iniciativa de mudança.

### CONCLUSÃO

Atualmente, o processo de transferência das operações do Centro de Controle para o local provisório no 2º andar está em andamento. O envolvimento dos colaboradores neste processo é fundamental para alcançar os objetivos e resultados desejados. Quando os funcionários são incluídos ativamente nas decisões e nas etapas de implementação, vários benefícios surgem:

**Comprometimento e Motivação:** Os colaboradores sentem-se parte integrante do processo e, portanto, estão mais dispostos a comprometer-se com as mudanças propostas. Isso resulta em maior motivação para alcançar os objetivos estabelecidos.

**Ideias Inovadoras:** Os colaboradores que estão diretamente envolvidos nas opera-

ções diárias têm insights valiosos sobre o que funciona e o que precisa ser melhorado. Ao incluí-los, a organização pode aproveitar essas ideias inovadoras para otimizar processos e alcançar resultados mais eficientes.

**Redução da Resistência:** A resistência à mudança é comum, mas quando os colaboradores são parte ativa do processo, eles sentem-se menos ameaçados e mais dispostos a aceitar as transformações. Isso reduz a resistência e facilita a transição.

**Melhoria da Comunicação:** O envolvimento dos colaboradores promove uma comunicação mais aberta e transparente. Eles se sentem à vontade para expressar preocupações, fazer perguntas e compartilhar feedback, o que ajuda a evitar mal-entendidos e a manter todos alinhados.

**Desenvolvimento de Competências:** Participar de mudanças permite que os colaboradores desenvolvam novas habilidades e competências. Isso não apenas beneficia a organização, mas também enriquece a experiência profissional.

Ao envolver os colaboradores no processo de mudança, a organização cria um ambiente colaborativo, estimula a inovação e garante que os objetivos sejam alcançados de maneira mais eficaz e sustentável. Além disso, promover um ambiente esteticamente agradável, funcional e que favoreça a interação e o bem-estar dos colaboradores, a organização não só eleva a moral da equipe, mas também fomenta a produtividade e a criatividade e, dessa forma, os resultados da equipe tendem a melhorar substancialmente, refletindo diretamente no sucesso e na competitividade da empresa. É nisso que acreditamos. 🚀

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO - METRÔ. A história do transporte que move São Paulo, BB Editora, 1ª edição, São Paulo, 2018, páginas 74-76.
- [2]BRIDGES, W. (2009). Managing Transitions: Making the Most of Change. Da Capo Lifelong Books.
- [3]CAMERON, E., & GREEN, M. (2019). Making Sense of Change Management: A Complete Guide to the Models, Tools and Techniques of Organizational Change. Kogan Page.
- [4]RAIMUNDO, E. G. ET AL. Centro de Controle Operacional - CCO: Estudo de Caso. São Paulo: [s.n.], 2009.

\* **Marcio Stevani**, Departamento de Operação Centralizada e Tráfego do Metrô-SP  
E-mail: mstevani@metrosp.com.br

\*\* **Rodrigo Lopes Soares**, Coordenadoria de Controle Centralizado do Metrô-SP  
E-mail: rlsoares@metrosp.com.br



Figura 9 - Visita dos membros do Comitê de Transição ao local das obras





# Padronização da concepção de estações e poços de ventilação e saída de emergência

Boas soluções de projeto proporcionando ganho em escala

FABIANA NONOGAKI\* / GERSON LUIZ MARTINES\*\* / HUGO CASSIO ROCHA\*\*\* / RODRIGO GUEDES DE AZEVEDO\*\*\*\*

**O** artigo apresenta os estudos e os resultados já obtidos pelas iniciativas de padronização de soluções de projeto de arquitetura, engenharia civil, sistemas de estações, poços de ventilação e saída de emergência.

Os processos de lições aprendidas, coletadas após a implantação das últimas estações inauguradas, apontaram que a padronização de soluções de projeto desde a fase de concepção até a fase de construção e de manutenção das edificações metroviárias poderia trazer benefícios ao empreendimento, relacionados à qualidade, ao custo, ao cronograma, aos processos de elaboração e análise de projetos, gestão de contratos e gestão das partes interessadas.

A partir desta constatação foram sistematizadas duas frentes de pesquisa na Gerência de Projetos do Metrô, uma para estudar as edificações de ventilação e saída de emergência, e outra para estudar as estações, ambas de linhas subterrâneas de Metrô. O ponto de partida para esses estudos foi o conjunto de lições aprendidas, obtidas no desenvolvimento dos projetos ou implantação de obras das Linhas 2-Verde (extensão de Vila Prudente a Dutra), Li-

nya 5-Lilás e Linha 6-Laranja, somado do estudo de classificação das unidades de projeto, conforme seus métodos construtivos, posicionamento de cada unidade de projeto e, no caso das estações, a estimativa de demanda.

Compreendemos que o esforço na elaboração de projetos padronizados em sua concepção poderia adiantar soluções de projeto estudadas tecnicamente e de maneira integrada. Se a porção subterrânea do projeto atende às premissas de projeto estabelecidas em nossos manuais, está com um conceito alinhado entre as diversas áreas da Companhia (manutenção, operação, comercialização, infraestrutura, planejamento, implantação etc.), com ela definida é possível desenvolver com cuidado a inserção urbana deste equipamento no tecido urbano impactado, de forma individual para cada projeto em diferentes localidades e com suas características de entorno.

## A EXPERIÊNCIA NA TIPIFICAÇÃO DE PROJETOS DE ESTAÇÃO DE METRÔ

O projeto tipificado de arquitetura de estação representa o início da padronização de projeto, por trazer a organização dos fluxos da estação, a disposição dos equipamentos de circulação vertical, a dis-

tribuição de elementos nas plataformas, as principais dimensões estruturais, a localização das salas técnicas e salas operacionais etc., o que orienta o prosseguimento do projeto nas demais disciplinas.

O grupo de pesquisa da Gerência de Projetos do Metrô concebeu inicialmente os projetos preliminares de arquitetura de quatro tipologias, que variam conforme o método construtivo: vala a céu aberto (VCA), vala a céu aberto com plataformas em curva, vala a céu aberto com possibilidade de integração, e poço central com plataformas em túnel convencional (NATM), elaborados de forma colaborativa entre as áreas correlatas do departamento de arquitetura, do departamento de civil e dos departamentos de sistemas, que determinaram as condicionantes para a elaboração do projeto.

Neste artigo será apresentada a tipologia de estação em vala a céu aberto, por esta ter sido mais amplamente utilizada em experiências de projeto recente de novas linhas.

## PREMISSAS DE PROJETO

Com base na experiência de projetos sedimentada em lições aprendidas, no conhecimento do corpo técnico e nos

salas técnicas, desde que corretamente viabilizados os acessos de equipamentos, sistemas auxiliares de ventilação e caminhamento de cabos. Os benefícios abrangem, mas não se restringem a: otimização da ocupação do volume escavado; economia de cabos; fácil acesso às áreas técnicas; otimização dos espaços resultantes da escavação na superfície, seja com empreendimentos associados, com devolução de áreas desapropriadas, com sistema viário ou com áreas de circulação de pedestres.

**Salas operacionais:** assim como as salas técnicas, as salas operacionais estão dentro da escavação do corpo da estação, com acesso tanto do saguão de bilheterias e bloqueios quanto do piso intermediário, permitindo fácil acesso ao quadro operacional.

**Implantação:** a continuidade do projeto está diretamente relacionada a sua inserção urbana. É no momento da implantação da estação no local a ela designado que se estudarão os fluxos de acesso à estação, serão posicionados os acessos, os acessos de equipamentos, os afloramentos de ventilação principal, ventilação auxiliar e demais sistemas.

O desenvolvimento do projeto em sua porção enterrada vislumbra proporcionar uma concepção espacial completa e coerente, para que o projetista estude cautelosamente como esta escavação padronizada se conecta com o meio externo em que se insere.

**Determinação dos principais elementos de acabamento da estação:** os principais elementos de acabamento da estação são determinados em instrução complementar específica da Linha de Metrô à qual o projeto tipificado se designa, a fim de que o projeto seja desenvolvido com base nas especificações determinadas pelo Metrô e destaque suas características por meio da definição de

sua identidade arquitetônica. Ademais, são os elementos de acabamento, de comunicação visual e de luminotecnica, que qualificam os espaços projetados de forma a atender as necessidades do passageiro, além dos requisitos de instalação, manutenção e estética em uma linguagem única e característica de cada linha.

## PARTIDO DO PROJETO DE ARQUITETURA

O formato em planta proposto para a escavação tem largura maior no centro da plataforma e menor nas extremidades. No centro encontram-se os canais da ventilação principal, a prumada de cabos, as escadas da plataforma e os elevadores, deixando-a inteiramente livre com largura de 4,5 metros a partir de sua borda.

O projeto adota distância uniforme dos eixos transversais de 13,20 metros entre estroncas, que são ainda subdivididos em três espaços de 4,40 metros. Os eixos longitudinais distam 4,00 metros entre si na parte mais estreita e 5,30 na parte mais larga. O desnível entre pisos acabados mede 5,76 metros, medida múltipla de 18 centímetros (medida do espelho das escadas de uso restrito) e 16 centímetros (intervalo padrão do Metrô para as escadas rolantes e fixas de uso público). A uniformidade permite a instalação das escadas rolantes da área pública entre estroncas e estabelece uma malha estrutural rígida, facilitando a adoção e repetição de peças pré-fabricadas, possibilitando a utilização desse método construtivo para os elementos estruturais internos (figuras 1 e 2).

As áreas públicas da estação dividem-se em três níveis:

- A - Saguão de bilheteria e bloqueios e salas técnicas;
- B - Intermediário e salas operacionais;
- C - Plataforma.

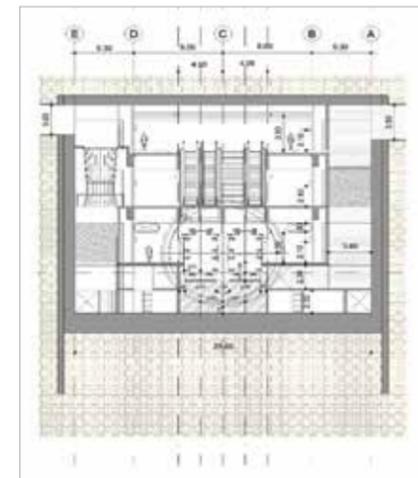


Figura 2 - Corte transversal

projetos recentes foram adotadas as seguintes premissas:

**Demanda de passageiros:** o projeto prevê a instalação de, no máximo, três escadas rolantes por plataforma, o que limita sua adoção a demandas inferiores a 12.000 passageiros no sentido de maior fluxo nas plataformas. Foi desenvolvida também uma versão ampliada da estação em VCA, que comporta quatro escadas rolantes por plataforma e possibilita a integração com outra estação que não esteja sobreposta.

**Profundidade:** a estação deve ter profundidade aproximada de 20 metros, medidos da superfície ao topo do boleto.

**Seção de via:** a seção de via adotada considera um túnel de via dupla feito por tuneladora de seção transversal externa de 11 metros de diâmetro. A via adota a bitola internacional (1,435 metros) e tem distância de 4 metros para a entrelaça.

**Salas técnicas:** o método construtivo VCA resulta em espaços de escavação remanescentes no interior das estações, nos quais podem estar posicionadas as

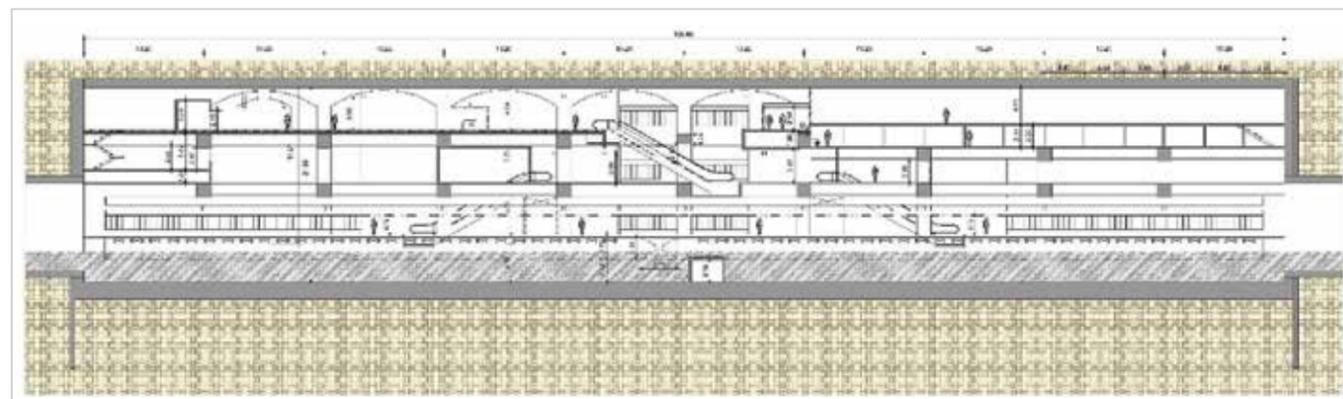


Figura 1 - Corte longitudinal pelo centro da estação

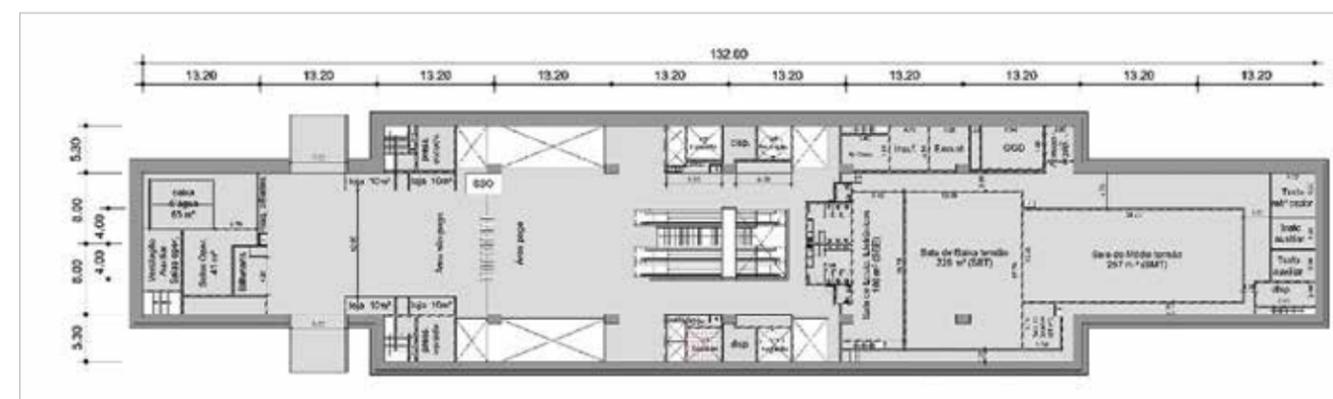


Figura 3 - Planta nível A - saguão de bilheterias, bloqueios e salas técnicas

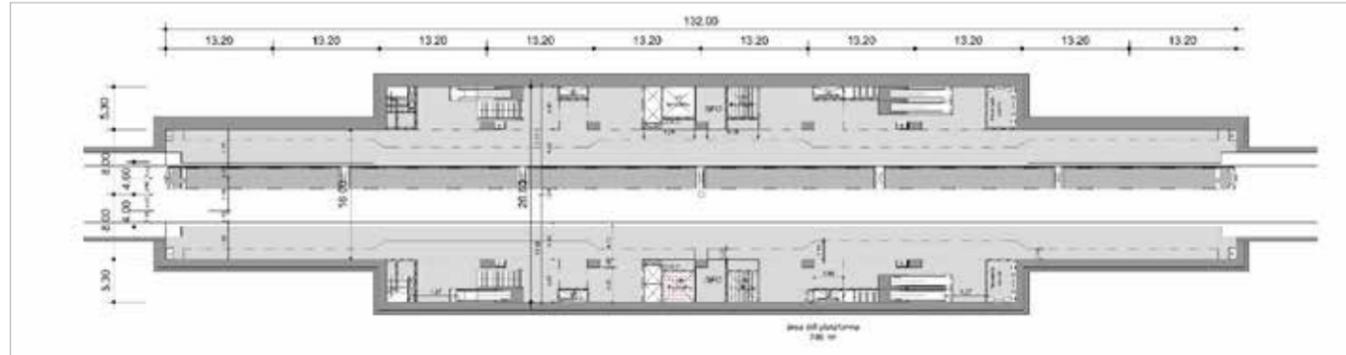


Figura 4 - Planta do nível C - plataforma

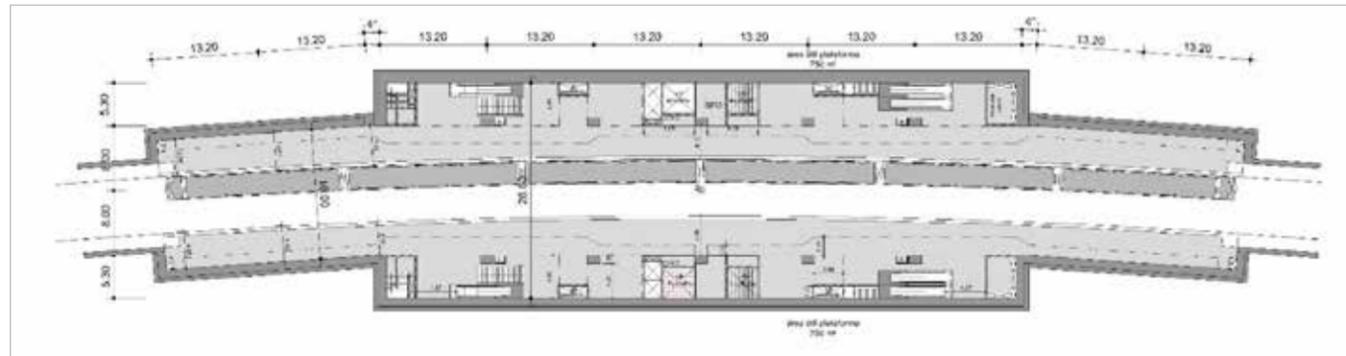


Figura 5 - Planta do nível C - plataforma em curva

Os desníveis entre os três pisos de uso público internos não variam. O ajuste de altura necessário a cada implantação específica se dá nas escadas e túneis de acesso à estação. Se for necessário, é possível também mover a laje de teto e aumentar o pé-direito do nível A, ajustando o recobrimento de terra sobre a estação. O posicionamento e quantidade dos acessos devem ser projetados de forma individual em cada estação, de acordo com a disponibilidade de área na superfície e com demanda de passageiros lindeiros.

A circulação vertical de passageiros é feita por escadas rolantes, escadas fixas e elevadores. Cada plataforma tem dois elevadores com capacidade para 14 passageiros.

A circulação por escadas em área

paga é composta por três rolantes e uma escada fixa logo após a linha de bloqueios, chegando ao nível B (intermediário), pavimento onde estão as escadas que acessam a plataforma (nível C), figura 3.

Cada plataforma conta com, no mínimo, duas escadas rolantes e duas fixas, além de uma escada enclausurada adicional, acrescida por exigência de norma. Esta última não deve ser utilizada por passageiros na operação normal da estação.

As escadas fixas estão dispostas ao lado das escadas rolantes e o ponto de chegada na plataforma é junto ao terceiro e ao quinto carro, distribuindo uniformemente os passageiros ao longo do trem. As escadas fixas propostas são de

estrutura metálica, de maneira a possibilitar a substituição por escadas rolantes quando necessária maior capacidade de circulação vertical, atingindo a configuração máxima de três rolantes e uma fixa por plataforma.

A ventilação principal é composta por quatro canais, dois de insuflação e dois de exaustão. O conjunto de equipamentos (um ventilador e dois atenuadores de ruído por canal) não cabem completamente dentro do espaço escavado da estação. Portanto, os canais precisam ser complementados por escavações próximas à superfície ou torres, variando conforme as características urbanas específicas de cada localidade.

As salas operacionais se encontram no nível B, com acesso pela área paga da estação.

As salas técnicas encontram-se no nível A, na extremidade oposta aos acessos. Todo o conjunto de salas e seu porão de cabos encontram-se dentro da escavação. O acesso de equipamento se dá através de alçapão com localização a ser definida em cada projeto de implantação.

As tomadas descargas do ar dos sistemas de ventilação auxiliar (tanto

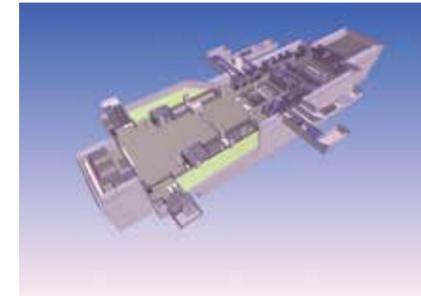


Figura 8 - Estação Santo Eduardo - nível A

das salas técnicas quanto das operacionais) devem ser para o lado externo da estação e devem ser solucionadas em cada projeto distinto de implantação.

A prumada principal da estação liga diretamente o porão de cabos das salas técnicas ao porão de cabos das plataformas, com 6 metros em planta de furação para passagem de cabos em cada plataforma. O nível A conta com enchimento de 30cm entre piso acabado e piso bruto para a passagem de eletrodutos, ligando o porão das salas técnicas à linha de bloqueios e aos acessos.

São previstos espaços para a ocupação comercial nos níveis A e B, de acordo o limite definido pela instrução técnica do Corpo de Bombeiros de São Paulo (IT-45). Os espaços são delimitados por paredes de alvenaria e laje, para possibilitar a instalação de chuveiros automáticos dentro deles, exigência da mesma IT.

A modelo de estação consegue ser utilizado em trechos retos de via e em trechos com curvatura de raio 1.000 metros em uma das vias. Nesse caso, a parte central, mais larga, se mantém com a mesma configuração de eixos estruturais ortogonais, tendo somente a borda da plataforma curvada. As extremidades da estação têm leve deflexão de quatro graus e também

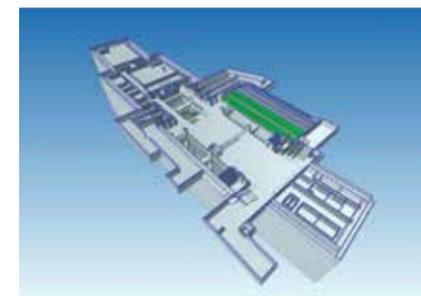


Figura 10 - Estação Silva Teles - nível A

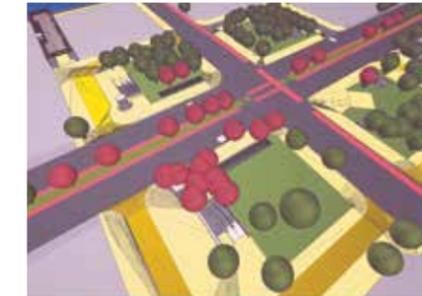


Figura 9 - Estação Santo Eduardo - implantação

mantém a configuração ortogonal de seus eixos. Para a distribuição uniforme do estreitamento da plataforma resultante da curvatura, o eixo das vias é deslocado 40 centímetros em relação ao centro do VCA, de forma que a largura livre da plataforma é de 4,10 metros nos pontos de estreitamento (figuras 4 e 5).

#### APLICAÇÃO DO PROJETO TIPIFICADO DE ESTAÇÃO

Experiências recentes de projetos conduzidos pelo Metrô de São Paulo consideraram a aplicação e a otimização dos projetos tipificados de estações, ampliando a padronização para outras disciplinas de projeto, como estruturas, acabamentos, hidráulica e luminotecnica. Destacaremos aqui duas aplicações em fases distintas de projeto.

A Linha 19-Celeste, na atual con-

Estação	Demanda hora pico (sentido de maior fluxo)
Vila Augusta	737 passageiros
Vila Sabrina	4.594 passageiros
Santo Eduardo	3.989 passageiros
Vila Maria	6.747 passageiros
Catumbi	2.878 passageiros
Silva Teles	6.059 passageiros

Tabela 1 - Projeto tipificado de estação em VCA [Fonte: RT-19.00.00.00/1A9-001 (Cenário 29000)]



Figura 11 - Estação Silva Teles - implantação

figuração da Rede Metropolitana de Transportes, desenvolve-se na direção nordeste-sudoeste, entre o município de Guarulhos e o bairro do Campo Belo em uma extensão total de 26,3km, contando com 24 estações. Deste percurso total se destacaram como primeiro trecho de projeto e implantação os 17,6km de extensão operacional do trecho Bosque Maia (Guarulhos)-Anhangabaú, com 15 estações, 1 pátio de manutenção e estacionamento de trens e 18 poços de ventilação e saída de emergência, com estimativa de atendimento de mais de 580.000 passageiros por dia útil.

O projeto básico deste trecho destacado trouxe a oportunidade de aplicação do projeto tipificado de estação em vala a céu aberto em 6 estações, conforme tabela 1.

A primeira ordem de serviço do contrato para desenvolvimento do projeto básico incluiu uma dessas estações, a Vila Sabrina, para o início dos trabalhos, deixando as demais para a segunda e a terceira ordens de serviço. Esta divisão trouxe a oportunidade de se estudar a concepção da estação tipificada, aprofundar seu desenvolvimento nas demais disciplinas de projeto e propor melhorias para as demais estações, desenvolvidas em seguida (figuras 6 e 7).

Para a projetista houve o benefício de se aplicarem soluções de projeto de maneira escalonada a área técnica do Metrô, no momento da análise dos projetos, pode identificar as questões em comum a serem corrigidas e tratá-las de forma uniforme e abrangente, poupando a necessidade de se tratar a mesma questão repetidas vezes (figuras 8 e 9).

Tendo em vista que a parte subterrânea estava concebida de ma-



Figura 6 - Estação Vila Sabrina - nível A



Figura 7 - Estação Vila Sabrina - implantação



Figura 12 - Estação Silva Teles - plataforma

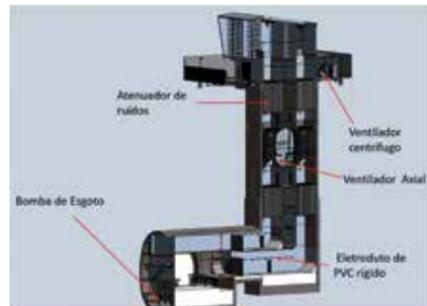


Figura 13 - Tipologia 1 - corte longitudinal ao túnel de ligação

neira padronizada, foi possível também dispender esforço de projeto e desenvolvimento conceitual individualizado nos estudos de inserção urbana, avaliando como a estação transforma e se integra ao tecido urbano de forma única e relacionada à região de implantação, considerando suas peculiaridades e necessidades locais (figuras 10 e 11).

Da mesma forma, a aplicação do projeto tipificado em sua porção subterrânea abriu espaço para a reflexão acerca da identidade visual da linha, agregando aspectos de funcionalidade, conforto e estética de maneira uniforme, por meio de elementos de acabamento, comunicação visual e luminotecnica que se repetem e simultaneamente individualizam cada estação (figura 12).

A Linha 20-Rosa percorrerá três municípios da Região Metropolitana de São Paulo: São Bernardo do Campo, Santo André e São Paulo, em 33km de extensão. Além dos túneis, ela contará com 24 estações, dois pátios de estacionamento e manobra de trens e 33 unidades construtivas para ventilação e saída de emergência. A Linha permitirá a conexão com as linhas 1-Azul, 2-Verde, 5-Lilás, 6-Laranja e 4-Amarela de metrô, e com as linhas 7-Rubi, 8-Diamante e 10-Turquesa de trens metropolitanos, além de propiciar a integração com linhas de ônibus, ampliando a oferta de serviços de transporte para distintos municípios da RMSP à população de suas áreas de influência, melhorando sensivelmente as condições de mobilidade na região.

Nos estudos de anteprojeto de engenharia para esta linha foi também considerado o projeto tipificado de estações em vala a céu aberto, o que trouxe a possibilidade de experimentação dos benefícios da padronização, também em fase de concepção de uma linha metroviária. Em um estágio em

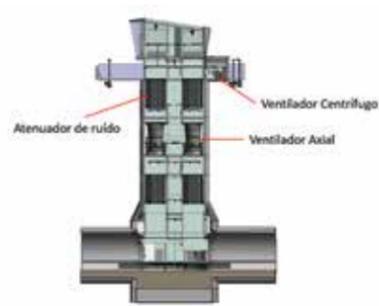


Figura 14 - Tipologia 2 - corte longitudinal à via

que estudos de alternativas, definições de traçado, análises de demanda, avaliações territoriais e socioeconômicas, entre outras características, definem a inserção de uma linha, o uso de projetos padronizados colabora para que, com espaços internos previamente definidos, se abra a possibilidade de uma análise criteriosa da conexão desta arquitetura subterrânea à particularidade de cada inserção urbana.

**A EXPERIÊNCIA DA TIPIFICAÇÃO DOS PROJETOS DE VENTILAÇÃO E SAÍDA DE EMERGÊNCIA - VSES**

O Projeto Modular da Ventilação e Saída de Emergência - VSE foi desenvolvido com o objetivo de aumentar a qualidade e a produtividade da elaboração do Projeto Básico. Inicialmente foi elaborado um estudo estatístico de todos os VSEs até então projetados e construídos pelo Metrô. Definidas as características mais frequentes foi feito um estudo de reengenharia acrescentando as necessidades decorrentes das

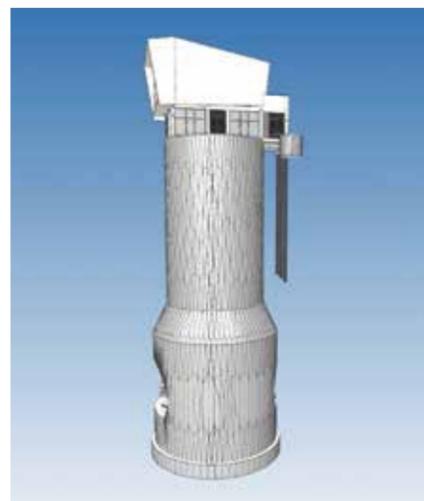


Figura 15 - Tipologia 2 - utilização no VSE-9 da Linha 19-Celeste

novas legislações e eliminação daquelas em desuso. Neste estudo e projeto foram envolvidos os departamentos de arquitetura (concepção, acabamento e luminotécnico), civil (estruturas e hidráulica) e sistemas (ventilação principal, iluminação e tomadas). A partir daí foram definidas as reais necessidades das VSEs. Para tal, as VSEs foram divididas em tipologias que levam em consideração a profundidade do poço que liga a superfície com o túnel das vias principais da linha metroviária, o seu posicionamento relativo ao túnel principal das vias, lateral ou sobreposto, o tipo de túnel, se duplo ou de vias singelas, e seu método construtivo (executados por meio de tuneladoras, túnel convencional ou valas), além do posicionamento dos ventiladores e atenuadores de ruído (vertical ou horizontal).

**Tipologia 1** - Poço lateral ao túnel duplo principal (que abriga duas vias) e construído por meio de tuneladora, sendo o poço e o túnel das vias principais interligados por túnel convencional (figura 13).

**Tipologia 2** - Poço sobre o túnel duplo principal e construído por meio de tuneladora, sendo o poço e o túnel das vias principais interligados por túnel convencional (figura 14).

No projeto básico da Linha 19-Celeste do Metrô-SP foram aplicados os conceitos da padronização dos VSEs. Dos 18 poços de ventilação e/ou saída de emergência necessários, 10 VSEs utilizaram a padronização do Metrô-SP (5 VSEs tipologia 1 e 5 VSEs tipologia 2).

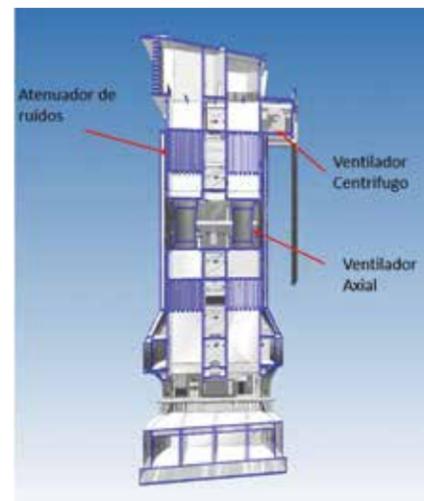


Figura 16 - Tipologia 2 - utilização no VSE-9 da Linha 19-Celeste

Abaixo nas figuras 15 e 16 podemos observar o projeto básico final do VSE9 padrão tipologia 2, que foi desenvolvido para a L-19.

O uso dos VSEs tipificados no projeto da Linha 19-Celeste trouxeram os seguintes benefícios: Economia de tempo na concepção do projeto; a área técnica do Metrô, no momento da análise dos projetos, pode identificar as questões em comum a serem corrigidas e tratá-las de forma uniforme e abrangente, poupando a necessidade de se tratar a mesma questão repetidas vezes.

**CONCLUSÃO**

As recentes experiências de aplicação de projetos padronizados demonstraram que sua utilização agiliza os processos de projeto, independentemente de sua fase, e permitem um direcionamento de esforços para que se trabalhe na individualidade de cada projeto, seja sua implantação, sua inserção urbana, a condição geológica da área, as soluções geotécnicas e as características urbanas de sua área de abrangência.

Notamos que é esperado que no desenvolvimento do projeto haja contribuições advindas do aprofundamento dos estudos de forma interdisciplinar e das lições aprendidas de experiências anteriores, que certamente resultarão no aprimoramento do projeto na busca de melhoria contínua dos nossos resultados.

Temos como próximos passos simultâneos à aplicação das melhorias constantemente verificadas nos projetos padronizados já concebidos, o desenvolvimento de soluções padronizadas para outras tipologias de projetos de estações e poços de ventilação, além de concepções pontuais de áreas constantes em projetos, como salas técnicas e operacionais, projetos de cabeceira de plataforma. 🚶

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

[1]Artigo: "Projeto Modular VSE em BIM", 25ª Semana da Tecnologia Metroferroviária da AEA-MESP (Associação de Engenheiros e Arquitetos do Metrô-SO) – 2020.

[2]Artigo: "Metodologias Construtivas e a Concepção das Estações Subterrâneas: o futuro em desenvolvimento" - REVISTA BRASIL ENGENHARIA nº01/2020.

\* **Fabina Nonogaki** é Arquiteta e Urbanista, e chefe do Departamento de Projeto de Arquitetura do Metrô-SP

E-mail: fnonogaki@metrosp.com.br

\*\* **Gerson Luiz Martines** é Engenheiro Eletricista e assessor do Departamento de Projeto de Sistemas do Metrô-SP

E-mail: gmartines@metrosp.com.br

\*\*\* **Hugo Cassio Rocha** é Geólogo, mestre em Engenharia Geotécnica, e especialista no Metrô-SP

E-mail: hcrocha@metrosp.com.br

\*\*\*\* **Rodrigo Guedes de Azevedo** é Arquiteto e Urbanista no Departamento de Projeto de Arquitetura do Metrô-SP

E-mail: rodrigo.guedes@metrosp.com.br

A Sener se orgulha de seguir contribuindo para o sucesso dos 50 anos do Metrô de São Paulo e de ter participado de todas as suas linhas.



Liderando a inovação por meio da diferenciação tecnológica, a Sener possui soluções para obter um futuro inovador e eficiente.

Dentre os produtos, destacamos:

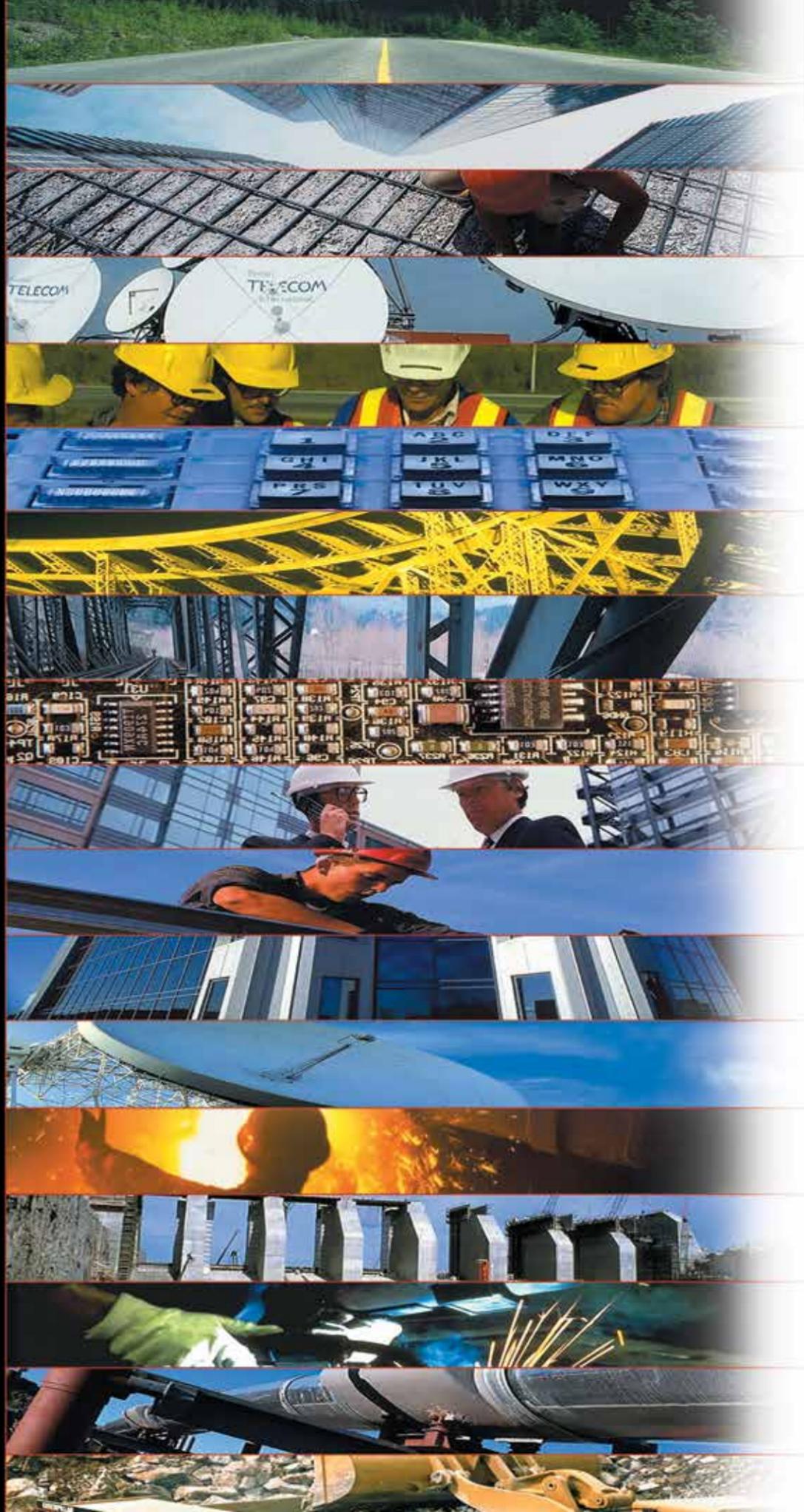


Assessoria de controle de riscos de operação de tuneladoras, otimizando tempo e reduzindo custos.

Inteligência artificial e engenharia para obter eficiência energética em seus edifícios e infraestruturas.

No âmbito de transporte urbano, desenvolvemos as seguintes disciplinas:

- Sistemas de telecomunicações.
- Sistemas de sinalização.
- Sistemas elétricos.
- Sistemas auxiliares.
- Sistemas de bilhetagem e informação aos usuários.
- CCO.
- Integração urbana.
- Arquitetura.
- Obras de Arte Especiais e Estruturas.
- Geotecnia e Túneis.
- Via permanente.
- Infraestrutura civil.
- Drenagem.



FOTOS: DIVULGAÇÃO

ESPECIAL



## MonorailEx2023: a experiência e participação do Metrô de São Paulo

IVAN LUBARINO PICCOLI DOS SANTOS\* / MARCOS KASSAB\*\* / RODOLFO SZMIDKE\*\*\*

### INTRODUÇÃO

Atualmente existem mais de 20 linhas operando com o sistema de monorail ao redor do mundo e, ao menos, outras 10 em construção. Esta simples constatação reforça a real viabilidade e o emprego deste modal para linhas de média para alta capacidade de transporte.

A ideia do sistema de monorail surgiu em 1820, pelos estudos conduzidos pelo russo Ivan Elmanov. Contudo, a primeira patente do modelo foi apresentada pelo inglês Henry Palmer em 1821, a qual consistia em carros puxados por cavalos sobre vigas contínuas de madeira (figura 1).

Oitenta anos após a proposta de Palmer, em 1901, foi inaugurado o monorail de Wuppertal na Alemanha, sendo este o monorail mais antigo em funcionamento até os dias de hoje, o qual consiste em um veí-

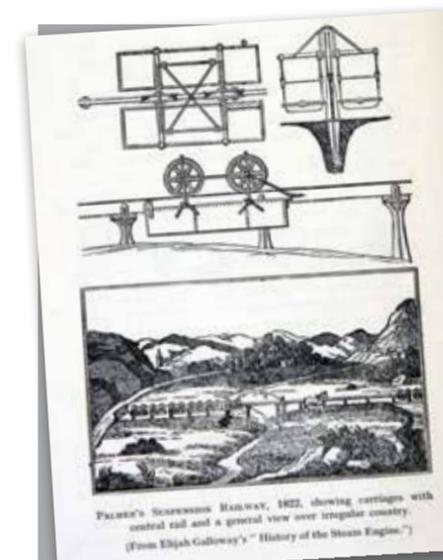


Figura 1 - Sistema de Monorail proposto por Palmer - Imagem extraída da "Publicação Description of a Railway on a New Principle" - the study of Henry R. Palmer, London, 1823

culo suspenso que trafega com rodas de aço fixadas a uma estrutura metálica sobre o trem (figura 2).

Somente em 1952, surge uma linha de testes para o sistema de monorail utilizando vigas de concreto armado para o seu deslocamento, conhecido como monorail Alweg, implantado na cidade de Seattle e que entrou em operação em março de 1962, sendo este o modelo atualmente mais empregado nas atuais linhas.

Em 1958 foi proposto pela General Electric o sistema de monorail suspenso denominado Safage (Société Anonyme Française d'Études de Gestion et d'Entreprises), que usa uma caixa metálica por onde correm as rodas sobre o trem (figuras 3 e 4).

Como consequência da evolução do emprego do sistema monorail, em 2010 foi fundada a IMA - International Monorail Association (Associação Internacional de Monorails), que possui como



Figura 2 - Monotrilho de Wuppertal (<https://schwebbahn.de/en>)

objetivo organizar o setor global de monotrilhos, promover a aplicação deste sistema, iniciar e dar suporte à padronização de processos para a utilização do sistema de monotrilho para o transporte de massa de passageiros, sendo classificada nos objetivos de desenvolvimento sustentável das Nações Unidas na iniciativa 9 – Inovação Industrial e Infraestrutura.

Desde 2011 a IMA promove anualmente a conferência MonorailEx, sempre sediada em um país onde existam linhas de monotrilho em funcionamento ou em construção, ocorrendo em países como Estados Unidos, Alemanha, China, Japão e Itália.

O Metrô de São Paulo participou do evento em algumas ocasiões, sendo que no ano de 2022, ao final da conferência realizada na cidade de Rust, Alemanha, foi anunciada a realização do evento de 2023 em São Paulo, com o apoio da Companhia do Metrô de São Paulo - Metrô.



Figura 5 - Participação do Metrô de São Paulo na IMA – Abertura do evento pelo Ex-Diretor de Operações do Metrô de São Paulo Sr. Milton Gioia Júnior



Figuras 3 e 4 - À esquerda Monotrilho Alweg Seattle (<https://www.seattlemonorail.com/about-the-monorail/>) e, à direita, o sistema Safege proposto pela General Electric (<https://digitalcollections.lib.washington.edu/digital/collection/seattle/id/3584/>)

### ORGANIZAÇÃO DO EVENTO

Ao longo do ano de 2023, representantes do Metrô-SP e da IMA, por meio de reuniões virtuais, elaboraram e organizaram o evento a ser realizado no Brasil, mais especificamente no Radisson Hotel Paulista São Paulo, sendo este local definido pela sua proximidade com o transporte público e fácil acesso aos pontos turísticos da cidade, bem como ser a cidade de São Paulo a única no Brasil com duas linhas de monotrilhos em implantação concomitante, sendo uma delas já em operação.

Foram definidos os dias de realização do evento com 3 dias de conferência, entre 20 e 22 de Outubro de 2023, e as visitas técnicas nos dias 23 e 24 de Outubro de 2023, para os monotrilhos das linhas 15-Prata e 17-Ouro do Metrô de São Paulo, além de uma visita para o Aeromovel que está sendo implantado para interligar os Terminais do Aeroporto Internacional de Guarulhos à Estação Ae-



Figura 6 - Participação do Metrô de São Paulo na IMA – Apresentação da Linha 17-Ouro e seus sistemas de segurança pelo Arq. Ivan Piccoli – Chefe de Departamento de Projetos Executivos da Linha 17-Ouro



roporto – Guarulhos da Companhia Paulista de Trens Metropolitanos – CPTM, Linha 13-Jade.

### ABERTURA DO EVENTO

A conferência teve início em 20 de Outubro de 2023 com a realização da reunião anual da Associação, onde foram apresentados os avanços que ocorreram no setor no último ano, como a participação em eventos metroferroviários ao redor do mundo, o avanço do documento de Requisitos de Performance de Monotrilhos e ações dos membros com o intuito de promover o modal e a Associação.

Houve a participação de 99 pessoas na conferência, de diversos países do mundo, como Estados Unidos, China, Índia, Alemanha, Suíça, Panamá, México, Itália, Espanha, com diversas posições, desde Presidentes de empresas, Diretores, Gerentes, Consultores, Especialistas, Consultoras, Gestores, Engenheiros e Jornalistas (figura 5).



Figura 7 - Participação do Metrô de São Paulo na IMA – Apresentação da Linha 15-Prata e seu sistema finger plates pelo Engº Rodolfo Szmidke

### 1º DIA DE CONFERÊNCIA

A abertura do primeiro dia foi feita pelo Ex-Diretor de Operações do Metrô de São Paulo, Milton Gioia Júnior, que agradeceu a presença dos presentes na conferência e discorreu sobre os desafios de implantação da Linha 15-Prata, a qual se tornou a linha com tecnologia mais desenvolvida dentre os monotrilhos em operação no mundo, além de características técnica da linha, e foi realizada explanação sobre a Linha 17-Ouro, discorrendo sobre seu traçado e o progresso das obras.

Foram realizadas palestras de diversos assuntos, como a avaliação de previsão de redução de emissão de gases de efeito estufa e avaliação de eficiência durante a construção de monotrilhos do tipo montado sobre a via, comparação de ruídos entre monotrilhos e outros sistemas de transporte, projeto e manufatura de vigas de via para a alta qualidade em linhas de monotrilhos e Maglev, metodologia de instalação de Track Switches de múltiplas rotas, maximização de disponibilidade de sistemas de monotrilho por meio da gestão de ativos, desafios na fase de desenvolvimento do monotrilho de Monterrey, uso do BIM nos Transportes e Infraestrutura, avanços em segurança e confiabilidade na aplicação de portas de plataforma e sistemas de emergência para monotrilhos.

Na última apresentação do dia, foi realizado um fórum técnico sobre a aplicação de passarelas de emergência, com apresentação de exemplos e debate técnico sobre considerações



Figura 9 - Visita Técnica da IMA ao pátio de fabricação de vigas-guia da Linha 15-Prata do Metrô de São Paulo



Figura 8 - Visita Técnica da IMA à Linha 15-Prata do Metrô de São Paulo

de requisitos de segurança para sistemas de monotrilho, onde houve a participação dos representantes do Metrô de São Paulo com Ivan Piccoli e Ivan Maestrelli, que expuseram o exemplo da Linha 17-Ouro junto a especialistas de diversos países. Neste fórum foram abordadas questões como Normas e Especificações Técnicas existentes ou necessárias, Análise de Riscos e exemplos de Sistemas de Evacuações de Emergência, sendo que o exemplo da Linha 17-Ouro se destaca por ser o mais completo na atualidade frente aos quesitos técnico debatidos.

Como encerramento do fórum sobre sistemas de segurança em monotrilhos, ocorreu um Workshop junto aos presentes para discussão do tema, que culminou na proposta de criação de um grupo de trabalho com representantes do Metrô-SP para

a elaboração de especificações sobre o assunto (figura 6).

### 2º DIA DE APRESENTAÇÕES

No segundo dia de apresentações, foram apresentados trabalhos sobre a aplicação de juntas de expansão em sistemas de monotrilho, avaliação de ensaios de fadiga em aparelhos de apoio e juntas de expansão, aprimoramentos sustentáveis para juntas de expansão em vias de monotrilho, uso de isoladores sísmicos nos projetos de estações de monotrilho, otimização de trilhos de condução de energia em monotrilhos, perfis de liberação e envelopes dinâmicos, apresentação sobre o *people mover* da Aerom, assim como sobre a nova geração de sistemas suspensos de monotrilhos.

Dentre estas apresentações, destaca-se a realizada pelo Engenheiro Civil Rodolfo Szmidke sobre a Linha



Figura 10 - Visita Técnica da IMA ao Pátio Oratório da Linha 15-Prata do Metrô de São Paulo



Figura 11 - Visita Técnica da IMA ao Pátio Água Espraiada da Linha 17-Ouro do Metrô de São Paulo



Figura 12 - Visita Técnica da IMA à Estação Morumbi da Linha 17-Ouro do Metrô de São Paulo

15-Prata pelo Metrô de São Paulo, abordando os cuidados nos finger plates, que são um sistema vital na via permanente.

Os finger plates são equipamentos metálicos instalados na via permanente onde existem juntas de dilatação com a intenção de suavizar a passagem do trem. A apresentação detalhou a história destes componentes, remetendo à primeira aplicação do finger plate no ano de 1961 na cidade de Turin, Itália, realizando um comparativo de número de finger plates e parafusos entre diversas linhas de metrô ao redor do mundo, e os cuidados necessários durante o projeto, a fabricação e a instalação destes componentes na via permanente, bem como as ações de manutenção (figura 7).

No final do dia foi criado um grupo de trabalho para a elaboração de

um documento, que será um guia de planejamento de monotrilhos, a ser apresentado a autoridades e formadores de opinião técnica, para demonstrar as vantagens e desvantagens de utilização dos sistemas de monotrilho na rede de transportes, tendo representantes do Metrô-SP, entre os voluntários.

#### VISITA À LINHA 15-PRATA

Na programação do evento foram incluídos dois dias de visitas técnicas aos monotrilhos de São Paulo, sendo a visita do primeiro dia reservada à Linha 15-Prata, inaugurada em 2014 e atualmente com 15km de extensão e 11 estações em operação.

Neste dia de visita à Linha 15-Prata, os participantes saíram do Radisson Hotel e utilizando a Linha 2-Verde do Metrô, da Estação Brigadeiro até a Estação Vila Prudente, fizeram conec-

xão com a Linha 15-Prata, onde foram dadas explicações sobre as obras de expansão e readequação da Estação Vila Prudente para comportar a futura demanda de passageiros na interligação entre as duas linhas frente a também expansão da Linha 2-Verde, hoje em obras até a Estação Penha da Linha 3-Vermelha.

Na sequência foi realizada uma viagem de monotrilho até a Estação São Mateus, sendo explanadas curiosidades e elementos técnicos do monotrilho da Linha 15-Prata durante o percurso.

Na Estação São Mateus foi demonstrado o funcionamento de um dos aparelhos de mudança de via do monotrilho (conhecidos como *Track Switches*), bem como relatadas questões técnicas sobre esta estação, que possui uma terceira via como estratégia operacional frente a demanda de passageiros prioritária entre Vila Prudente e São Mateus.

Os participantes foram conduzidos à Estação Jardim Colonial, sendo a estação mais nova da linha, construída em apenas 2 anos, tendo sido feitas explicações acerca da estação e da extensão de linha com o uso de aparelho de mudança de via para melhorar o *Headway* (tempo de espera entre os trens) da linha (figura 8).

Na sequência, foi realizada visita ao pátio de fabricação de vigas-guia da Linha 15-Prata, onde foram apresentados os processos produtivos de fabricação das vigas, desde a montagem das armações e componentes tais como isopor, insertos metálicos, eletrodutos, barras de condução de corrente de fiação e alças de içamento

das vigas-guia em gabaritos metálicos, que são transportados para as formas metálicas especiais por meio de pórticos, onde é realizada a concretagem das vigas, sendo feito o controle tecnológico do concreto e, após a concretagem, iniciados os cuidados com a cura do concreto, para que em aproximadamente 1 dia da concretagem a viga-guia seja sacada da forma e posicionada em berços de concreto no pátio, para serem verificadas (verificações visuais e dimensionais), protendidas, injetadas e preparadas para o lançamento na via (figura 9).

No período da tarde foi feita a visita ao Pátio Oratório de Manutenção e Estacionamento de Trens, onde foram conhecidos os processos de manutenção da frota da Linha 15-Prata, com destaque para conhecimento do MIV – Veículo de Manutenção de Via, que é um veículo movido a autopropulsão, e é utilizado nos serviços de inspeção da via permanente e *track switches*, bem como para a realização de atividades de manutenção preventiva e corretiva nos componentes da via (figura 10).

A visita prosseguiu dentro do pátio nas instalações do Centro de Controle Operacional – CCO da Linha 15 -Prata, onde foram explanados os processos de acompanhamento e controle de trens, com as avaliações de ocorrência de operação por meio de dados de imagens visuais nos monitores do local, além do acesso aos sistemas de controle dos diversos equipamentos que funcionam na via e estações, como *track switches*, linhas de bloqueio, elevadores, escadas rolantes, iluminação, entre outros.

No segundo dia de visitas, foi feita a visita às obras de implantação da Linha 17-Ouro, sendo o ponto de partida a visita ao Pátio Água Espraiada, em construção sobre o piscinão do Córrego Água Espraiada, sendo um pátio diferente dos demais, com dois níveis, tendo o superior para estacionamento de trens com duas entradas paralelas à via operacional e o nível inferior destinado aos espaços de manutenção dos trens. Nesta visita, além de poder observar as vigas-guia concretadas “in loco” no principal espaço de manutenção dos trens, os visitantes puderam conhecer o trecho de via elevada operacional adjacente

ao Pátio, com as passarelas de emergências entre as vias, e a Estação Washington Luís, que possuirá plataformas laterais (figura 11).

Na sequência, foi realizada visita à Estação Morumbi da Linha 17-Ouro, sendo relatadas as principais características da linha durante o trajeto que acompanhou as vias elevadas desta linha, implantadas no canteiro central ao longo da Av. Jornalista Roberto Marinho. Como principais características foram destacadas as suas especificações, os desafios de construir a linha sobre o leito do Córrego Água Espraiada, sua relação com o entorno junto à Avenida Jornalista Roberto Marinho e os manejos arbóreos.

Na Estação Morumbi foi feita explanação sobre o processo de lançamento das vigas-guia realizado para dentro da uma estação já plenamente construída e acabada, bem como o complexo processo de lançamento das vigas-guia entre o leito do Rio Pinheiros e a Linha 9-Esmeralda de trens metropolitanos.

Foram explanadas as principais características da construção da Estação Morumbi, que possui plataformas laterais, diferente do padrão das estações da Linha 17-Ouro, que costuma ter plataformas centrais, e sua conexão com a Linha 9-Esmeralda de trens metropolitanos e sua implantação parcialmente suspensa sobre o canal do Rio Pinheiros (figura 12).

A caminho do Pátio Jabaquara da Linha 1-Azul, a visita passou pela Estação Congonhas, que possuirá interligação com o Aeroporto de Congonhas por meio de um túnel de ligação, além da estratégia operacional de direcionamento de trens para o final da linha na Estação Washington Luís e outros para a Estação Congonhas, de acordo com a demanda de passageiros.

No pátio Jabaquara, os participantes conheceram as instalações da Universidade Corporativa do Metrô – Unimetro, assim como o MetroLab, onde são desenvolvidos projetos para melhoria de processos internos da companhia e de mobilidade, sendo apresentados conceitos de treinamento e cultura da inovação, propriedade tecnológica e oportunidades de inovação e governança (figura 13).

O último evento foi uma apresen-

tação da equipe da Linha 17-Ouro, onde destacou-se os aspectos técnicos inovadores da linha e seus desafios na implantação, abordando as principais questões de concepção, acabamentos, segurança, projetos civis, sistemas e material rodante especificados e aplicados nesta linha.

#### CONCLUSÃO

A participação do Metrô de São Paulo no evento MonorailEx 2023 permitiu o compartilhamento do conhecimento adquirido na implantação das linhas de monotrilho das linhas 15-Prata e 17-Ouro, destacando a capacidade e competência da empresa na implantação de projetos de monotrilhos e sua operação, se projetando mundialmente com uma das mais modernas soluções de emprego deste modal, passando o Metrô de São Paulo a ser uma referência mundial e o capacitando, por meio de sua subsidiária MetroConsulting, a prestar serviços de engenharia para a implantação deste modal.

O evento MonorailEx 2023 trouxe no final a constituição de equipes de trabalho para a elaboração de um Guia de Planejamento de linhas de Monotrilho, assim como um grupo de discussão para os aspectos relativos à segurança de linhas de monotrilho no que concerne a eventuais casos de evacuação de trens durante a operação, com a presença e participação de representantes do Metrô de São Paulo. 📍

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] UIA – GLOBAL CIVIL SOCIETY BASE - <https://uia.org/s/or/en/1122283427>  
 [2] IMA – INTERNATIONAL MONORAIL ASSOCIATION - <https://monorail.org/>

\* **Ivan Lubarino Piccoli dos Santos** – ex Chefe de Departamento de Projetos Executivos da Linha 17-Ouro, atualmente é Especialista no Departamento de Projetos Executivos da Linha 2-Verde do Metrô-SP  
 E-mail: [isantos@metrospp.com.br](mailto:isantos@metrospp.com.br)

\*\* **Marcos Kassab** é Assessor Técnico na Diretoria de Engenharia e Planejamento do Metrô-SP  
 E-mail: [mkassab@metrospp.com.br](mailto:mkassab@metrospp.com.br)

\*\*\* **Rodolfo Szmidke** é Engenheiro Civil na Coordenação de Qualidade e Meio Ambiente da Linha 15-Prata do Metrô-SP  
 E-mail: [rszmidke@metrospp.com.br](mailto:rszmidke@metrospp.com.br)



Figura 13 - Visita Técnica da IMA à Unimetro e MetroLab do Metrô de São Paulo

# SIGA NO INSTAGRAM BRASIL ENGENHARIA



ESPECIAL

ANOS OPERANDO  
INFINITAS  
HISTÓRIAS



## Subestação primária Anália Franco: necessidades de energia para implantação das expansões do Metrô de São Paulo

ANSELMO TEMPLE\* / AGNELO GOMES JUNIOR\*\* / AYLTON FERREIRA\*\*\*



Com as implantações de extensões e de novas linhas de Metrô ao longo da cidade de São Paulo, é necessário pensar na questão do suprimento da energia elétrica, na implantação de subestações primárias 88/22kV para atender essas novas demandas e isso requer um grande esforço, onde no mínimo, um tripé de requisitos deve ser atendido.

A primeira etapa desse tripé deve-se à

localização adequada da subestação, que deve estar próxima da nova linha do Metrô, a segunda deve ser a disponibilidade de energia necessária em 88kV pela Concessionária na região da nova subestação, e por último, tão importante quanto, a proximidade das linhas de transmissão de energia da Concessionária em alta tensão. A soma dessas condições permite a implantação de nova fonte de energia para demanda (figura 1).

A potência instalada de uma nova subestação, para atender às demandas das novas

estações, vias, saídas de emergência, trens e pátio é de 33MVA, o suficiente para suprir aproximadamente 15.000 residências. Devido ao valor expressivo de energia requerida, a Concessionária de energia somente pode nos atender com o fornecimento em alta tensão em 88kV, mas com a subestação preparada para operar em 138kV no futuro, se necessário.

A valorização imobiliária das áreas urbanas somado ao conjunto de requisitos já explicados, exigiu do Metrô uma mudança de conceito, onde era comum no passado

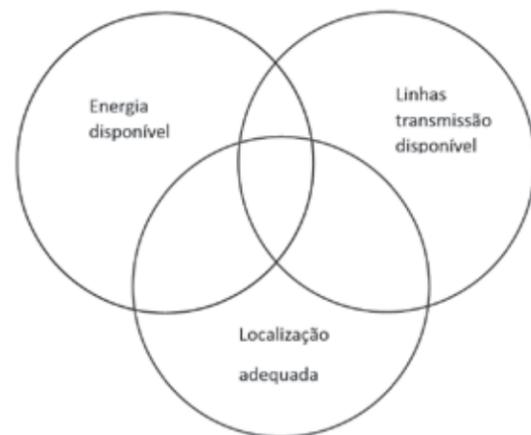


Figura 1

a implantação de subestações a céu aberto e isoladas a ar, tradicionalmente construídas em amplos terrenos. Hoje as novas subestações são concebidas para ambiente fechado e isoladas a gás, também chamadas de GIS (Gas Insulated Substation), que são subestações compactas onde o aproveitamento do espaço utilizado é consideravelmente menor, em média 40% do espaço comparado ao conceito anterior.

#### HISTÓRICO DA IMPLANTAÇÃO DA PRIMÁRIA ANÁLIA FRANCO

Os estudos preliminares da Expansão da Linha 2-Verde previram a construção de uma Subestação Primária próximo à futura Estação Anália Franco, responsável por fornecer energia em 22Kv necessária à operação da

expansão, com o 88Kv derivando de uma subestação da Concessionária localizado na Vila Ema, mas que devido à distância e aos altos custos envolvidos para a construção do banco de dutos, fornecimento dos cabos de alta tensão e adequação da Subestação, essa proposta deixou de ser atrativa.

Encontrou-se um terreno de propriedade da Concessionária que atendia aos requisitos citados, mas devido a problemas da documentação de posse do terreno e da necessidade do remanejamento de cabos antigos energizados

em 88Kv que passam pelo terreno, mas uma vez tivemos que buscar outra alternativa.

Iniciou-se, então, nova procura por áreas disponíveis próximas da Estação Anália Franco, de valor e condições que permitisse a rápida desapropriação e estarem próximas a uma linha de transmissão que não fosse a mesma que já supre as subestações existentes do Metrô da Linha 2-Verde, conforme requisito das subestações de uma mesma linha do Metrô não serem alimentadas pela mesma linha de transmissão, evitando que uma pane no sistema de distribuição da Concessionária provoque uma paralisação total, parcial ou restrições da circulação dos trens e estações. Este é mais um requisito relevante na análise para a definição da localidade de uma Subestação Primária para o Metrô.

No final, optou-se pelo aproveitamento total do espaço disponível de um terreno de propriedade do próprio Metrô, lateral a uma subestação da Linha 3-Vermelha, um pouco mais distante da Estação Anália Franco, mas que atendeu a quase todos os requisitos necessários de potência necessária disponível da linha de transmissão e exclusiva das demais subestações da Linha 2-Verde, linha de transmissão próxima da subestação e custo zero para a aquisição do terreno (figura 2).

A implantação da subestação primária nesse local exigirá a execução de um banco de dutos, pelo método não destrutivo, de maior extensão em relação ao terreno na Vila Ema, para levar os cabos de média tensão até a estação Anália Franco, mas o Metrô tem a expertise nesse modelo de banco de dutos em média tensão.

Vale ainda destacar outro ganho significativo quando da utilização do sistema GIS, que permite a implantação em áreas que, não só estão fora do alcance pelo preço do imóvel, como também pelo fator de redução da poluição visual, por ser uma instalação totalmente abrigada, com redução da poluição visual provocada pelos equipamentos grandes de energia em alta tensão. A implantação de uma primária a céu aberto tende a provocar uma redução na atratividade dos imóveis próximos, ocasionando descontentamento da população lindeira que queremos atender pela melhoria na qualidade do transporte público.

Com base no histórico citado, o Metrô vem buscando a melhoria contínua, o conforto dos seus passageiros e a satisfação dos lindeiros de seus empreendimentos, inserindo em seus projetos uma visão que vai além da qualidade dos serviços prestados pelos seus equipamentos e pessoal, mas também pela qualidade em suas instalações, fazendo que haja um cuidado especial na interação entre o meio ambiente, suas instalações e o ser humano. 

\* **Anselmo Temple** é Engenheiro,  
Chefe de Departamento de Sistemas  
da Linha 2-Verde do Metrô-SP  
E-mail: [atemple@metrosp.com.br](mailto:atemple@metrosp.com.br)

\*\* **Agnelo Gomes Junior** é Engenheiro,  
Coordenador de Projetos no Metrô-SP  
E-mail: [gomes@metrosp.com.br](mailto:gomes@metrosp.com.br)

\*\*\* **Aylton Ferreira** é Engenheiro  
Eletricista no Metrô-SP  
E-mail: [aferreira@metrosp.com.br](mailto:aferreira@metrosp.com.br)

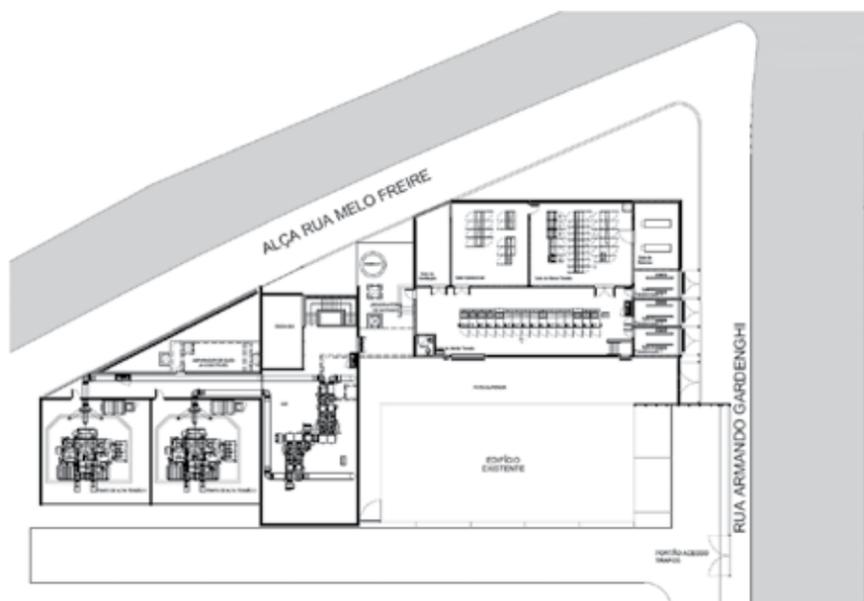
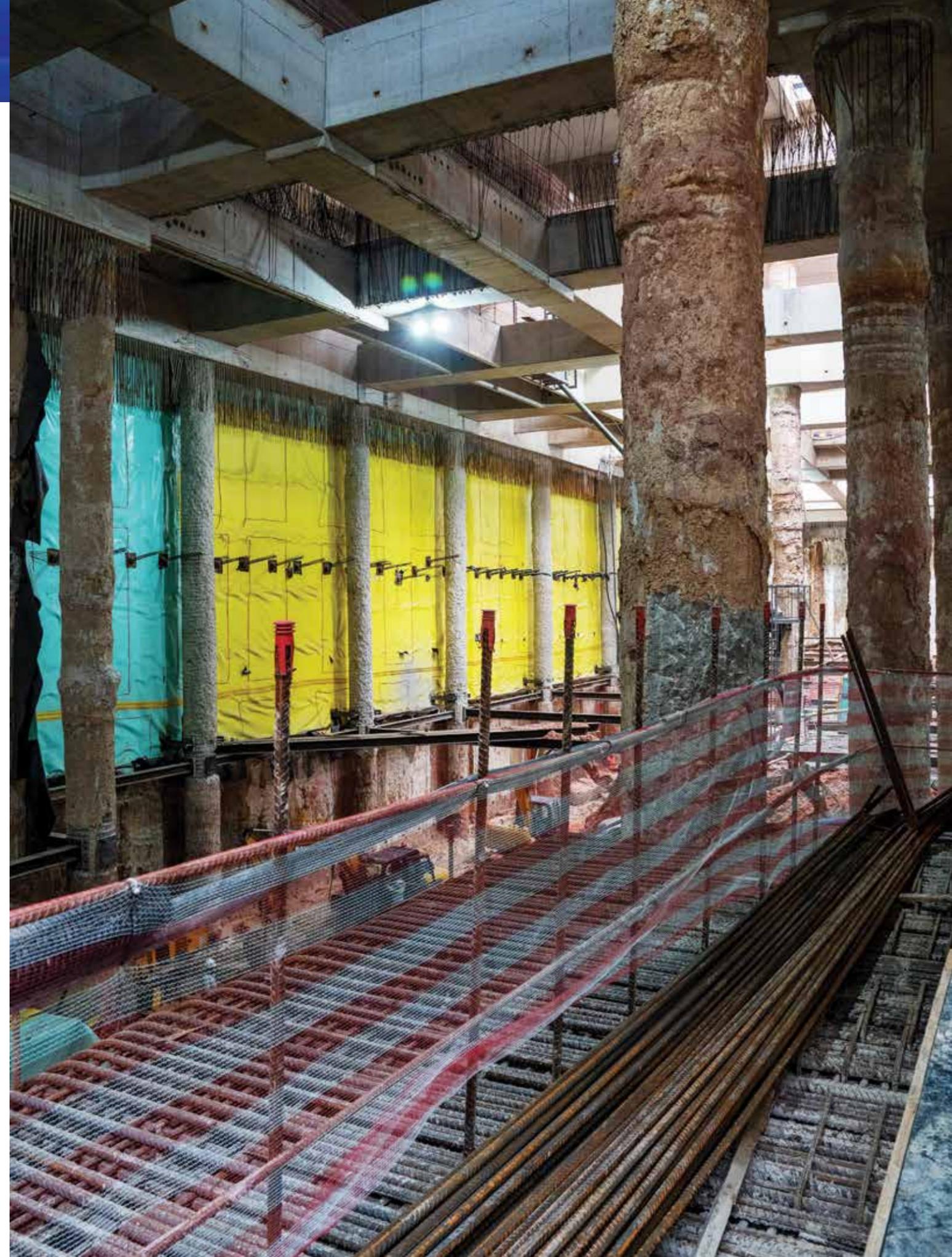
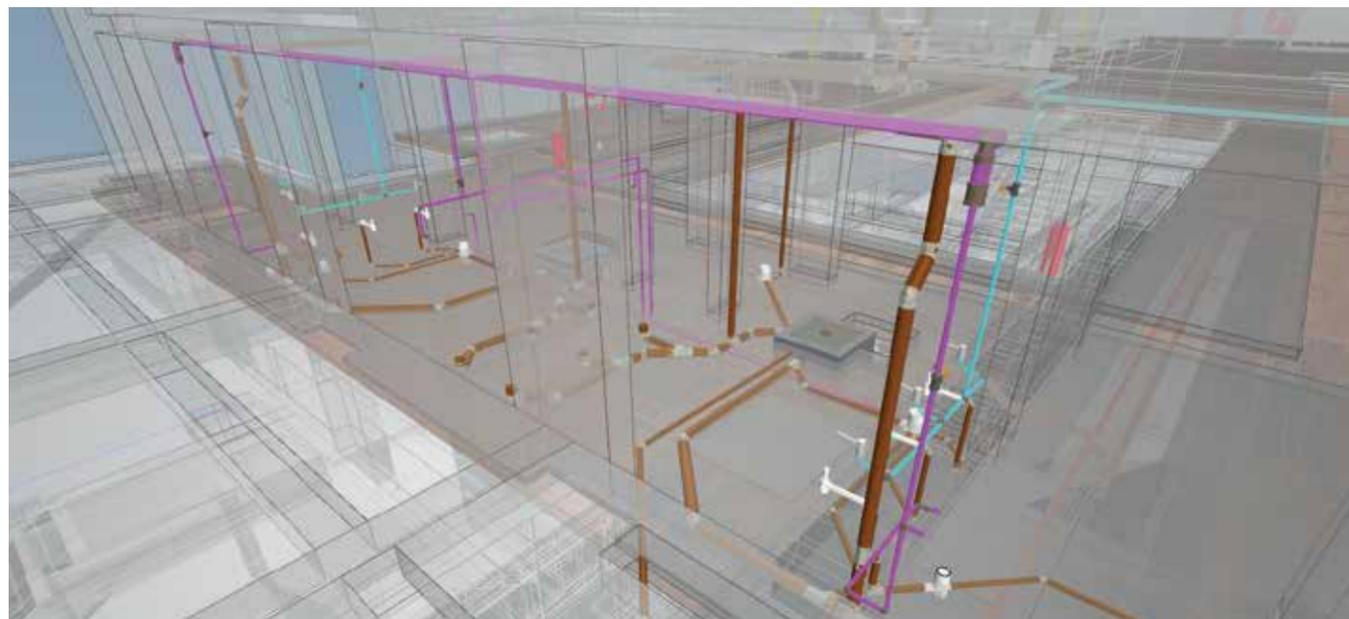


Figura 2



# Aplicação de novos materiais em projetos de instalações hidráulicas do Metrô de São Paulo

ANA FLÁVIA DA SILVA HOEPPNER\* / FERNANDO JOSÉ FEDATO\*\*



A escolha dos tipos de tubulações a serem aplicadas nas instalações hidráulicas de uma edificação passa por uma avaliação criteriosa das vantagens e desvantagens dos materiais que as compõem. Ao longo dos anos, o Metrô de São Paulo vem incorporando atualizações nos materiais das tubulações hidráulicas adotadas em seus projetos, procurando fazer bom uso das novas opções disponíveis no mercado e, ao mesmo tempo, manter a qualidade técnica historicamente praticada.

Inicialmente, os edifícios metroviários de São Paulo utilizavam tubulações metálicas, que, na época, eram mais adequadas e duráveis. Com o passar dos anos, surgiram alternativas, com custo-benefício e durabilidade cada vez mais atrativos, como PVC, PEAD, PPR e CPVC, entre outros. Neste sentido foram realizados estudos com o objetivo de reduzir os custos de implantação, sem causar prejuízo à durabilidade e

sem onerar a operação e a manutenção das instalações.

Em paralelo, houve situações práticas que demandaram outras avaliações e motivaram a substituição de materiais anteriormente empregados. Uma delas ocorreu quando, durante vistoria em um dos pátios do Metrô, notou-se a corrosão de tubulações metálicas enterradas ocasionada por corrente de fuga. Neste caso, optou-se pela troca por tubulação de PEAD (Polietileno de Alta Densidade), que também é resistente e não é suscetível a corrosão.

Posteriormente, houve a necessidade de se diminuir o custo de uma obra e iniciaram-se os estudos para a substituição de algumas tubulações metálicas por PVC, PEAD, PPR e CPVC. Em trechos onde não havia necessidade de resistência a choque mecânicos, notou-se que a tubulação plástica se mostrava tecnicamente adequada e poderia ser aplicada como alternativa mais econômica. E, em locais sujeitos à presença de agentes causadores de corrosão, os materiais plásticos fo-

ram os mais vantajosos não somente pela questão do custo, mas também por não serem atacados por esta patologia.

Adicionalmente, após estudos elaborados pela equipe de projetos, outras substituições por materiais mais econômicos foram adotadas: (1) Cobre "classe E" em vez de "classe A", para água potável, não potável e água quente; e (2) Aço galvanizado "com costura", em vez de "sem costura", para incêndio.

No início de 2022, o resultado destes estudos foi organizado em uma Instrução de Projetos (IP) para instalações hidráulicas e os projetos passaram a adotar estas diretrizes.

Este artigo tem o objetivo de apresentar estimativas de redução de custos das instalações hidráulicas de Estações, Ventilações e Saída de Emergência (VSE) e Subestações Primárias (SEP), em função da substituição de materiais das tubulações. Para isso, utilizou-se o projeto básico da Linha 19-Celeste, cujo desenvolvimento é recente e teve participação direta dos autores do artigo.

Tabela 1 - Histórico de materiais utilizados para água potável, não potável, águas pluviais, esgoto e drenagem

	PRIMEIROS PROJETOS	ATUALMENTE	MOTIVAÇÃO
Barrilete, sala de bombas, tubulações aparentes	Metálica	Metálica (*)	Choques Mecânicos
Dentro do shaft, interior de sanitários e distribuições em geral	Metálica	Plástico (**)	Região Protegida
Tubulação enterrada	Metálica	PVC ou PEAD (**)	Possibilidade de corrosão de tubos metálicos ou corrente de fuga

**(\*) Materiais Metálicos**

- Água potável e não potável - cobre classe E;  
- Águas pluviais, esgoto e drenagem por gravidade - ferro fundido SMU;  
- Águas pluviais, esgoto e drenagem sob pressão - ferro fundido dúctil (K7, K9 ou flangeado).

**(\*\*) Materiais Plásticos**

- Água potável e não potável geral: PVC e/ou PEAD;  
- Água potável e não potável de shaft's de distribuição a partir do reservatório superior: CPVC e/ou PPR;  
- Águas Pluviais, esgoto e drenagem enterrada: PVC série reforçada ou Ocre ou PEAD.

### DESCRIÇÃO DOS MATERIAIS ADOTADOS AO LONGO DOS ANOS NO METRÔ DE SÃO PAULO

Primeiramente, as obras do Metrô de São Paulo adotavam materiais metálicos para as instalações hidráulicas. Esses materiais estão descritos a seguir.

Após os estudos, em função de choques mecânicos, localização protegida ou não, e presença ou não de corrosão, determinou-se o tipo de material a ser utilizado para: água potável, não potável, água quente, gás, drenagem, esgoto e águas pluviais. Os resultados podem ser observados nas tabelas 1, 2 e 3.

Outras substituições ocorreram, visando melhorar o custo-benefício e mantendo a eficiência:

1) Para água potável, não potável e água quente: trocou-se o cobre "classe A" por "classe E";  
2) Para tubos de incêndio: trocou-se aço galvanizado "sem costura" por "com costura". Mais recentemente, substituições de materiais ocorreram, para situações específicas, como:

1) Material metálico por PVC, em barriletes do sistema de aproveitamento de água de chuva, mais especificamente após a clora-

ção. A motivação foi evitar a reação do cloreto com a tubulação metálica.

2) Ferro fundido K9 por aço galvanizado, em recalque das tubulações do reservatório de retardo, para utilização de tubulações com diâmetros menores. Tal fato resulta em economia de tubulação e de bomba.

### COMPARATIVO DE CUSTOS ESTIMADOS DE TUBULAÇÕES, ADOTANDO DADOS DA LINHA 19-CELESTE

Com a finalidade de se observar a redução dos custos ao adotar a substituição de materiais, elaborou-se uma tabela comparativa de materiais (PVC e metálicos), com dados dos Projetos Básicos da Linha 19-Celeste. Foram analisadas quatro estações (Itapegica, Pari, Anhangabaú e Jardim Brasil), duas subestações primárias (SEP 1 – Vila Maria e SEP 2 - Vila Medeiros), e quatro poços de ventilação e saída de emergência (VSEs 4, 5, 6 e 15).

Tabela 2 - Histórico de materiais utilizados para gás

	PRIMEIROS PROJETOS	ATUALMENTE	MOTIVAÇÃO
Tubulações expostas a choque mecânico (tubulação aparente)	Metálica	Metálica (I)	Choques Mecânicos
Interior de sanitários e distribuições em geral	Metálica	Plástico (II)	Região Protegida
Tubulação enterrada	Metálica	PEAD	Possibilidade de corrosão de tubos metálicos ou corrente de fuga

Tabela 3 - Histórico de materiais utilizados para água quente

	PRIMEIROS PROJETOS	ATUALMENTE	MOTIVAÇÃO
Barrilete, sala de bombas, tubulações aparentes	Metálica	Metálica (I)	Choques Mecânicos
Dentro do shaft, interior de sanitários e distribuições em geral	Metálica	Plástico (II)	Região Protegida
Tubulação enterrada	Metálica	CPVC ou PPR (II)	Possibilidade de corrosão de tubos metálicos ou corrente de fuga

**(I) Materiais Metálicos**

- Gás - cobre classe A;  
- Água quente - cobre classe E.

**(II) Materiais Plásticos**

- Gás - PEAD;  
- Água quente - CPVC e/ou PPR.

Em valores absolutos, as maiores reduções ocorrem nas estações, pois são edificações de maior porte. Mas as reduções (absolutas e percentuais) ocorridas em edificações como SEPs e VSEs também são indicadores importantes para se apurar a relevância dos ganhos obtidos.

### METODOLOGIA

Os materiais utilizados para o estudo comparativo foram:

**Situação 1:** Materiais da Instrução de Projetos (IP) de instalações hidráulicas.

**Situação 2:** Apenas materiais metálicos, considerando-se cobre classe E e aço galva-

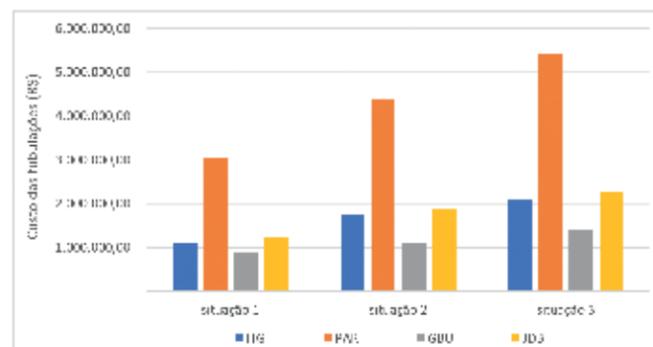


Figura 1 - Custo das tubulações hidráulicas (R\$), para as diferentes situações, nas estações Itapegica (ITG), Pari (PAR), Anhangabaú (GBU) e Jardim Brasil (JDB), conforme projeto básico

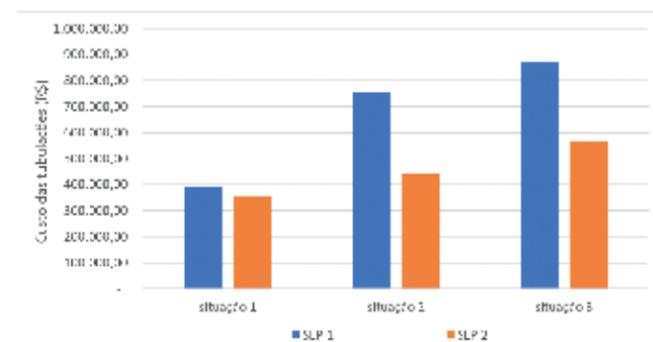


Figura 2 - Custo das tubulações hidráulicas (R\$), para as diferentes situações, nas Subestações Primárias Vila Maria (SEP 1) e Vila Medeiros (SEP 2), conforme projeto básico

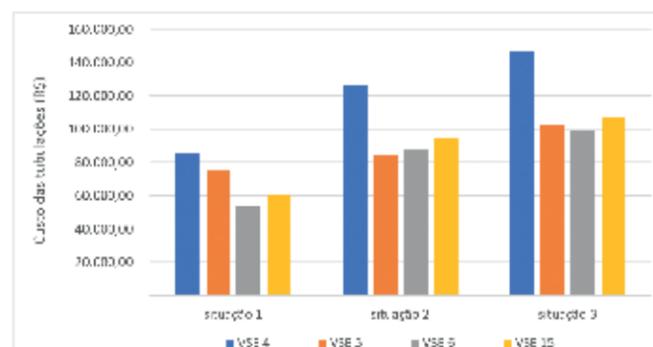


Figura 3 - Custo das tubulações hidráulicas (R\$), para as diferentes situações, nos VSEs 4 (Avenida Guarulhos), 5 (Adolf Schindling), 6 (Fernão Dias) e 15 (Maria Marcolina), conforme projeto básico

nizado com costura.

**Situação 3:** Apenas materiais metálicos, considerando-se cobre classe A e aço galvanizado sem costura (primeiros materiais a serem utilizados historicamente).

Os custos dos tubos e conexões foram obtidos de planilhas disponibilizadas por diversos órgãos, públicos ou privados. A quantificação foi elaborada de acordo com o manual de

todos os VSEs, SEPs e estações apresentados nesse artigo, esteve por volta de 6 milhões de reais (diferença entre o custo total aproximado de 13 milhões de reais na situação 3 e de 7 milhões de reais na situação 1).

A estimativa de redução esteve entre 10% e 50% para a situação 2 em relação à 1; e entre 27% e 55%, para a situação 3 em função de 1, conforme tabela 4.

Tabela 4 - Estimativa de redução de custo (%) em função da substituição de materiais, proposta para as situações 2 e 3, em função da situação 1, que é a mais atual

	SITUAÇÃO 1 EM RELAÇÃO A 2	SITUAÇÃO 1 EM RELAÇÃO A 3
VSE 4	32%	32%
VSE 5	12%	27%
VSE 6	39%	45%
VSE 15	36%	43%
SEP 1	48%	55%
SEP 2	19%	37%
ITG	37%	47%
PAR	31%	44%
GBU	22%	38%
JDB	33%	45%

medição de obras civis do Metrô de São Paulo. Exceção ocorreu quando não se encontrou o preço em planilha, o que aconteceu em poucas situações.

#### RESULTADOS

Os resultados obtidos podem ser observados nas figuras 1, 2 e 3 nas quais observa-se que a situação 1, isto é, a utilizada atualmente como resultado do uso de novos materiais, apresenta menor custo de implantação.

Estima-se que a economia total, ao se comparar a situação 3 (somente materiais metálicos), com a situação 1 (solução atual), somando-se

#### CONCLUSÕES

- Os estudos para a substituição de materiais das tubulações resultaram em redução significativa nos custos estimados, ao se utilizar dados do projeto básico da Linha 19-Celeste.
- Para VSEs, as estimativas de redução de custos estiveram entre 27% e 45%, ao se comparar os primeiros materiais utilizados historicamente com os utilizados atualmente. Para SEPs, a redução ficou entre 37% e 47%; e para as estações, entre 38% e 47%.
- Conclui-se que os estudos realizados pelo Metrô de São Paulo em relação aos tipos de materiais das tubulações foram relevantes para diminuição de custos e manutenção da adequada durabilidade, ao se utilizar materiais mais atuais. 

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO - METRÔ. Instrução de Projeto: laboração e apresentação do projeto de instalações hidráulicas e de gás. IP-9.00.00.00/355-001\_A. São Paulo, 2022.

[2] COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO - METRÔ. MAN-09-200: Medição de Obras Civis. São Paulo, 2021.

\* Ana Flávia da Silva Hoepfner é Engenheira Civil do Metrô-SP  
E-mail: afshoepfner@metrosp.com.br

\*\* Fernando José Fedato é Coordenador de Projetos do Metrô-SP  
E-mail: fffedato@metrosp.com.br

# Inserção urbana e paisagismo: novas possibilidades nos espaços metroferroviários

JULIANA YOSHIDA\* / MICHEL HOOG CHAU DO VALE\*\* / NEILA CUSTÓDIO\*\*\*

## PAISAGISMO NO METRÔ E A LINHA 19-CELESTE

A importância da inserção de uma linha metroviária no tecido urbano está relacionada diretamente com a busca por cidades mais sustentáveis e resilientes para o enfrentamento dos desafios do terceiro milênio. Entre eles, reconhecemos um novo paradigma que se impõe: mobilidade urbana sustentável para a qualidade de vida. Isso é possível, na medida em que se permite o deslocamento rápido entre os pontos de interesse na metrópole e as conexões entre modos ativos e não ativos. Tal conceito também induz ao desenvolvimento urbano e à ampliação da qualidade espacial, ao contemplar novos usos do espaço público e a inserção de vegetação junto a essas novas infraestruturas.

Várias são as questões que devem ser consideradas em uma infraestrutura de transporte como o Metrô de São Paulo para o desenvolvimento de seus projetos de Inserção Urbana, Reurbanização e Paisagismo. Consideramos que paisagens de alto desempenho, infraestruturas verdes, mudanças climáticas e alfabetização ecológica são pontos desejáveis a serem explorados e inseridos em seu escopo. Aqui falamos da construção da Arquitetura da Paisagem que queremos, ou melhor, que necessitamos na metrópole paulistana. Essa disciplina perpassa temas como: ressignificação de espaços urbanos, paisagismo ecológico, arborização urbana, resiliência às mudanças climáticas, saúde pública, compatibilização da arborização com as infraestruturas urbanas, entre outros.

A Linha 19-Celeste do Metrô de São Paulo colocou como prioridade a aplicação dos conceitos e requisitos da arquitetura paisagística para os Projetos de Inserção Urbana e Paisagismo, abrindo novas possibilidades para espaços públicos conceituados a partir de princípios de mobilidade sustentável, segurança pública e viária, áreas dinâmicas e atrativas e saúde pública, aderentes às especificidades de cada entorno.

Essa linha, com 26,3km de extensão e 26 estações, ligará a região do Campo Belo, no município de São Paulo, ao Bosque Maia, no município de Guarulhos, desenvolvendo um eixo sudoeste/nordeste da cidade, passando pelo centro do município de São Paulo. Nessa direção, a linha promoverá integração com as linhas 5-Lilás, 17-Ouro (futura), 20-Rosa (futura), 2-Verde, 6-Laranja (futura), 3-Vermelha e 1-Azul do Metrô, podendo integrar-se também com a Linha 11-Coral da CPTM.

No estudo da rede de metrô, foi elencado como trecho prioritário Bosque Maia/Anhangabaú, de forma que a rede atenda ao município de Guarulhos, distribua os passageiros do município até o centro junto com a futura extensão da Linha 2-Verde e reorganize o fluxo de passageiros sobre pneus daquele município até São Paulo, seu destino principal.

Diante desse desafio, entre as diversas disciplinas que se integram para compor o Projeto Básico de uma linha de metrô, destacamos aqui a Reurbanização, composta por dois subprodutos. O primeiro, a Inserção Urbana, trata de um novo "pacote" que entendemos contribuir para o desenvolvimento do projeto de arquitetura de forma mais global e integrada, pois reformula a metodologia que indica preliminarmente o agenciamento dos espaços livres e conjuntos edificados considerando a microacessibilidade. Nessa etapa se define a distribuição dos usos no sistema viário, englobando calçadas, ciclovias, faixas de rolamento e baias, as diferentes categorias de piso em termos



Figura 1 - A Linha 19-Celeste na Rede de Transportes Metropolitanos (Fonte: Relatório de Impacto Ambiental - RIMA Linha 19-Celeste)

de permeabilidade do solo e a composição das áreas verdes. Para tanto, exige um estudo amplo das características físico-ambientais do entorno, usos, legislação e planos urbanísticos, infraestruturas existentes e projetadas e questões ambientais. Já o segundo, Paisagismo, constitui o detalhamento desse estudo preliminar, desenvolvendo todo o conjunto de espaços livres, projetos de áreas verdes internas e externas, o tratamento das áreas desapropriadas e os passeios públicos lindeiros à estação.

Dessa forma, as disciplinas de Reurbanização têm o propósito de ampliar a qualificação do espaço urbano na metrópole, a partir do conceito da microacessibilidade e da imposição de uma agenda socioambiental mais contundente para o enfrentamento dos desafios urbanos contemporâneos. Com a abordagem dos espaços livres a partir dos conceitos da Paisagem, foi possível adotar uma postura ainda mais integradora das demais disciplinas do projeto metroviário, priorizando a qualidade do espaço urbano resultante e sua contribuição para um ambiente mais resiliente do ponto de vista ambiental, seguro e acessível (figuras 1 e 2).

## A INSERÇÃO URBANA COMO OPORTUNIDADE DE AMPLIAR BENEFÍCIOS PARA A CIDADE

A formalização de uma etapa do projeto que tratasse da inserção das edificações e espaços livres das estações de maneira integrada, considerando a microacessibilidade como eixo fundamental, abriu diversas possibilidades para a abordagem de uma nova estação. Esses elementos já vêm sendo incorporados nos projetos do metrô há décadas, porém a forma específica com que esse produto foi orientado traz algumas inovações.

Para o desenvolvimento dos projetos de Inserção Urbana várias leis devem ser atendidas. Uma em especial orienta os primeiros estudos: o Estatuto do Pedestre, que tem como objetivo a melhoria das condições de mobilidade a pé, com segurança e conforto. A qualificação de um novo espaço público para o pedestre a partir da implantação da estação inclui a melhoria de calçadas, inserção de travessias de pedestres com sistemas semafóricos, além de mobiliários urbanos. Os estudos preveem um perímetro de pelo menos 300m com a expectativa de ampliação conforme os pontos de interesse. A aplicação desta sistematização tem o intuito de qualificar uma rede de mobilidade a pé em função da infraestrutura de transporte de grande capacidade – o metrô.

Do ponto de vista da acessibilidade, essa abordagem permite que os profissionais de Paisagismo atuem junto aos demais profissionais de arquitetura, e especialistas do sistema viário, e tratem os espaços de circulação de forma conjunta. Ou seja, a somatória dos espaços de calçadas, leito carroçável, faixas exclusivas de transporte coletivo, espaços cicloviários, baias de embarque e desembarque foram definitivamente incorporados para o redesenho global do espaço destinado a circulação de pessoas. Desta forma, colocamos o desenho da rua como condição para apoiar a qualificação de um novo espaço público. Além disso, enfatizamos a prioridade dos espaços para pedestres e passageiros oriundos de modos de transporte ativos (não motorizados) e, em seguida, aos integrados por ônibus.

Esse conjunto de propostas foi amplamente subsidiado por análises e diagnósticos do entorno das estações, de maneira que tanto a realidade atual quanto a projeção de aumento de fluxos no futuro fossem considerados no acesso às estações. A consolidação de estudos de hierarquias de fluxos e prováveis caminhos de desejo de pedestres foram considerados, observando-se as condições das calçadas, conforto, sombreamento/ arborização, usos e polos ge-

radores de viagens no entorno. Dessa forma, foi possível propor ampliação e qualificação das calçadas do entorno imediato, completar algumas conexões cicloviárias, implantar/ complementar a arborização urbana, qualificar paradas de ônibus, inserir dispositivos de melhoria

da segurança viária, vias compartilhadas etc., e assim facilitar, de modo geral, o acesso de todas as pessoas até as estações projetadas.

Essa leitura do entorno abrangeu ainda a identificação da morfologia urbana, a partir da relação entre espaços construídos e áreas livres. Essa relação permitiu a observação não apenas dos caminhos e espaços de circulação, mas também dos espaços públicos que englobam áreas verdes, de estar, lazer, práticas de esporte e outras atividades comunitárias. Esse panorama trouxe a possibilidade de propor os espaços livres das estações em consonância que as peculiaridades do entorno, reforçando elementos positivos da paisagem, complementando-os ou acrescentando elementos que foram entendidos como necessários para a qualificação do sistema de áreas livres do lugar. As propostas puderam assim se alinhar aos diagnósticos dos planos regionais, diretrizes gerais para os espaços públicos e a qualificação das áreas de passagem, com a criação de áreas de estar, implantação de mobiliário urbano, pequenos pontos de encontro e lazer, áreas ajardinadas, áreas de refúgio e transição e mesmo pequeno comércio ou empreendimentos associados às futuras estações. Esse conjunto diverso de usos propostos e tratamento dos espaços contribui para a dinâmica urbana, a qualidade da ambiência local e a segurança dos transeuntes, passageiros do sistema metroviário ou não, o que confere mais equidade aos espaços públicos da cidade.

Com isso, cada estação poderá propiciar à população a fruição de novos espaços livres, que estarão integrados à rede de transporte acessível a todos. Isso possibilitará a melhoria da qualidade do espaço público através da integração com outros modais – andar a pé, ciclovia, ônibus e trem – e da reorganização do espaço. O projeto parte assim da compreensão que é na escala menor, aquela que está “ao nível dos olhos”, que se têm as ferramentas adequadas para qualificar o espaço público.

Outro ponto importante na elaboração

da Inserção Urbana foi para a orientação das diretrizes das propostas a partir da consideração das visuais do entorno. A identificação de elementos da paisagem que pudessem ser reconhecidos como valor para o local foi levada em conta na proposição de um plano de massas da implantação da infraestrutura metroferroviária. Elementos do relevo e da topografia, relações significativas entre massas construídas e espaços livres, pontos de fuga/ eixos viários, áreas abertas, conjuntos urbanos de valor cultural, massas vegetais e fragmentos da floresta urbana de maior interesse, entre outros elementos, foram incorporados às propostas, de modo que pudessem ser enfatizados e valorizados. Com isso, propostas de arborização, linear ou em grupos maciços, manutenção de perspectivas que preservassem vistas dos bairros, criação de belvederes e pontos de observação das vistas, definição de espaços abertos, entre outras diversas soluções de projeto, foram incorporadas a cada uma das unidades construtivas.

Outra diretriz adotada nesse projeto foi a previsão de soluções baseadas na natureza (SBN). Uma série de dispositivos construtivos que incorporam sistemas semelhantes àqueles encontrados na natureza foram projetados. Com isso, procuramos agregar benefícios no conforto ambiental, na drenagem e na inserção da vegetação com a intenção de complementar sistemas construtivos tradicionais com elementos inspirados no meio ambiente e que tirassem partido de suas vantagens. Entre os elementos projetados, apontamos a aplicação de pisos drenantes, materiais permeáveis e semipermeáveis, contribuem com a infiltração das águas no solo, preservando seu ciclo natural; as biovaletas e jardins de chuva, complementam o sistema convencional de drenagem e ajudam no manejo das águas pluviais sem sobrecarregar as redes existentes; tetos e paredes verdes também foram especificados de forma a ampliar a cobertura vegetal e trazer benefícios ambientais e sensíveis aos usuários dos edifícios;

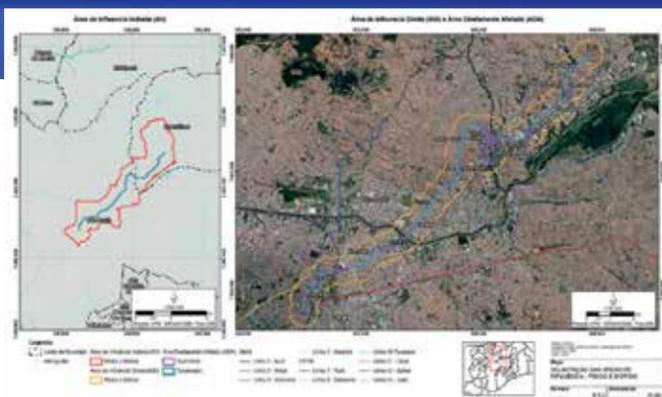


Figura 2 - Mapa das áreas de influência meios biótico e físico (Fonte: RT-19.00.00.00/1Y1-004 EIA – Estudo de Impacto Ambiental Linha 19-Celeste)



Figura 3 - Vista área da localização da estação (Fonte: Metrô-SP - base Google Maps)



Figura 4 - Estudo de reurbanização da praça com traffic calming (Fonte: Metrô-SP)

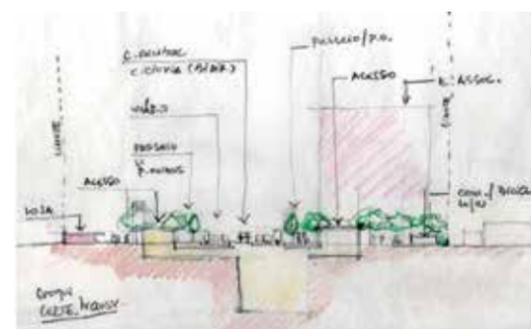


Figura 5 - Estudo de massa - seção transversal (Fonte: Metrô-SP)

florestas de bolso, com os variados estratos vegetais, colaboram com a recriação de espaços de amortecimento ambiental e refúgio da avifauna com o uso de espécies nativas, assegurando biodiversidade; entre outros.

Por fim, a inserção urbana das estações tirou proveito da escolha do método construtivo, na medida em que este influencia diretamente no resultado do espaço da superfície. Em diversos casos foram adotadas estações tipificadas, a partir de um padrão pré-definido, cujo método construtivo é em vala a céu aberto (VCA). Isso permitiu a criação de espaços públicos abertos, o que é bastante saudável para a cidade, que contemplavam aberturas e elementos construídos para ventilação e possibilidades de ampliar visuais para uma nova paisagem.



Ainda, considerando o que afirma Baiardi (2018), para resgatar o vínculo entre o edifício, a rua e do bairro com o propósito de qualificar a cidade, são necessários novos instrumentos e espaços que articulem uma nova dinâmica e sentido urbano através de um conjunto harmônico entre as partes. As áreas das novas estações do Metrô possibilitam relacionar novas dinâmicas urbanas em escala local nos espaços do entorno através do seu redesenho, emergindo daí a qualidade do território urbano e de seus potenciais aspectos ambientais. Projetar de forma articulada entre o entorno imediato/ ampliado é fundamental para se criar um espaço organizado, atrativo e com diversidade de usos.

## INSERÇÃO URBANA E INTEGRAÇÃO DE DISCIPLINAS DE PROJETO

Os projetos das instalações metroferroviárias envolvem uma extensa e complexa gama de disciplinas e subdisciplinas que compõem as áreas de Arquitetura, Civil e Sistemas, os quais precisam estar articulados e compatibilizados, com suas premissas e requisitos técnicos atendidos em sua completude. A articulação e desenvolvimento mais integrado dos projetos básicos recentes da Linha 19-Celeste foram possíveis com a utilização da metodologia BIM.

A inclusão da disciplina de Inserção Urbana nesse processo foi proposta no sentido de viabilizar uma maior integração entre as

disciplinas, que têm interface estreita com a de Paisagismo. Ela estabelece premissas e conceitos fundamentais a serem atendidos em uma escala mais ampliada que a escala local, delimitada pela área efetiva de implantação das edificações, realizando a “ponte” e transição entre o projeto de Arquitetura e o de Paisagismo. Diversas dessas questões são escopo, em um estágio inicial, no anteprojeto de engenharia, desenvolvido pela área de planejamento do Metrô. Essa fase do projeto já aborda, em nível mais alto, diversos aspectos que são detalhados no projeto básico. É, portanto, na etapa do projeto de Inserção Urbana que são estudadas mais a fundo as questões de microacessibilidade, requalificação viária, segurança viária, microclima,

conexões intermodais, atendimento aos requisitos das legislações urbanísticas. Nesta fase são então realizados alinhamentos com partes interessadas internas e externas ao Metrô (ex.: CET, SPTrans, Prefeitura de São Paulo, Prefeitura de Guarulhos, entre outros), aprofundando estudos desenvolvidos no anteprojeto de engenharia.

Nesta fase também são verificadas restrições e condicionantes legais [Lei de Zoneamento, Uso e Ocupação do Solo, Planos Regionais (Prefeitura), Plano cicloviário, Planos de Alinhamento Viário, entre outros].

As principais disciplinas que têm interface estreita, definições com as da Inserção Urbana, são: Viário, Drenagem, Interferências, Desapropriação, Topografia, Geotecnia, Luminotécnica, Comunicação Visual, Hidráulica, Estruturas, Acabamento. Desta maneira, a disciplina de Inserção Urbana “prepara o terreno” para que a disciplina de Paisagismo possa se aprofundar nos elementos que são estruturantes: a especificação de vegetação, com distribuição espacial dos vários estratos, detalhamento de elementos construtivos das áreas externas, especificação de mobiliário etc. Todos esses elementos propiciam o tratamento adequado de espaços abertos públicos com o olhar voltado para a Arquitetura da Paisagem em que o Metrô está sensível às questões ambientais e sociais.

Seguem alguns exemplos de estudos iniciais de inserção urbana nas figuras 3, 4 e 5.

De forma preliminar à contratação do Projeto Básico, foram desenvolvidos pela equipe de arquitetura e paisagismo do Metrô estudos iniciais de Inserção Urbana, que serviram de subsídio para o desenvolvimento das implantações dos projetos nas diversas localidades.

O projeto básico de Inserção Urbana teve em seu escopo o desenvolvimento de relatórios de diagnóstico, elaborados a partir de visitas a campo, avaliação de condicionantes específicas de cada localidade (zoneamento, morfologia urbana, caminhabilidade, fluxos motorizados e não motorizados, pontos de interesse no entorno, áreas verdes, conexões intermodais, segurança viária, entre outros). Com base nesse diagnóstico foram elaboradas as propostas de implantação, que se traduzem em planos de massa, esquemas com a leitura de hierarquia de fluxos de pedestres, que formaram a base para desenvolvimento da etapa seguinte: o Paisagismo propriamente dito.

Durante a fase de desenvolvimento dos projetos de Inserção Urbana e posteriormente de Paisagismo, são realizadas tratativas técnicas e compatibilizações constan-

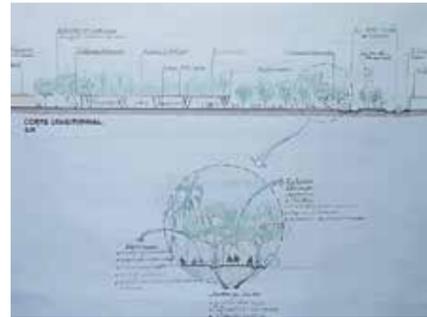


Figura 6 - Estudo inicial de Inserção Urbana - seção transversal (Fonte: Metrô-SP)

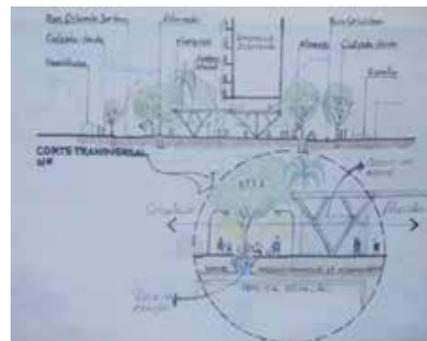


Figura 7 - Estudo inicial de Inserção Urbana - seção transversal (Fonte: Metrô-SP)

tes com as disciplinas que têm interface direta, em um processo iterativo e iterativo. Questões de compensação ambiental, patrimônio histórico, contaminação do solo, também são consideradas, uma vez que interferem no conjunto e se impõem de forma correlata à legislação urbana (figuras 6 e 7).

Os desafios no processo de desenvolvimento do projeto básico desta linha de metrô foram inúmeros; destacamos aqueles mais relacionados à Inserção Urbana e ao Paisagismo:

- Tratativas e condicionantes de projeto diversas, resultante da característica da linha de conectar dois municípios. É o primeiro projeto básico de uma linha de metrô que ultrapassará os limites do município de São Paulo;
- Processo de desenvolvimento integrado dos projetos em BIM, com forte interação interdisciplinar, constituindo uma inovação metodológica, aplicada em uma maior escala de projeto, incluindo questões de representação dos elementos BIM nos diversos produtos, a exemplo dos desenhos, relatórios técnicos, memoriais descritivos;
- Comunicação, nos mais diversos níveis: gestão, técnico, com partes interessadas,

entre analistas e desenvolvedores dos projetos. Na metodologia, dinâmicas de reuniões remotas, híbridas e presenciais.

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

O local onde as pessoas vivem demonstra uma relação intrínseca entre ambiente urbano e saúde, revelando as possibilidades e limites de se usufruir de qualidade de vida. Considerando isso, a formação da floresta urbana, por exemplo, muito tem a contribuir com a saúde da cidade e, conseqüentemente, das pessoas. Ela engloba toda a arborização de uma cidade, presente em ruas, avenidas, parques, praças, unidades de conservação e preservação, áreas públicas e privadas, remanescentes de ecossistemas naturais ou plantadas. Essa definição abre possibilidade de conexão entre a macroestrutura e a microestrutura da paisagem.

Estudos apontam que a expectativa de vida pode estar ligada às linhas férreas, ou seja, relacionam as desigualdades espaciais e as possibilidades de qualificação do espaço urbano com as infraestruturas urbanas. Neste sentido, espaços qualificados a partir da inserção de uma nova linha metroferroviária pressupõem melhoria ambiental e social. A inserção de espaços permeáveis com arborização urbana combinados e integrados aos ambientes da cidade possibilita formar um conjunto de espaços livres verdes que resultam em vários benefícios.

Como resultado desse processo, em vias de encerramento, podemos apontar:

- Mudança de paradigmas (considerando uma nova forma de inserir a infraestrutura metroferroviária na malha urbana cada vez mais consolidada);
- Necessidade de continuidade de atendimento das premissas de Inserção Urbana para os demais ciclos de vida do projeto: Implantação/ obra; manutenção/ operação;
- Consideração das mudanças climáticas, aspectos de resiliência e sustentabilidade nos projetos dos espaços livres;
- Consolidação de princípios de segurança viária, Visão zero, microacessibilidade e acessibilidade universal;
- Relação entre espaços públicos de qualidade e princípios de saúde pública.
- Ampliação da mobilidade ativa e das mudanças de cultura na forma de deslocamento nas grandes cidades;
- Atuação local, com possibilidades de ampliação em uma maior escala, tendo conexões com outros planos regionais (de transportes, ambientais e habitacionais), e formação de convênios e parcerias futuras;
- Inclusão no escopo da possibilidade de im-

plantação de empreendimentos associados e estabelecimentos comerciais junto às estações e unidades de ventilação e saídas de emergência, mantendo o principal foco no usuário final, o cidadão.

Considerando esse escopo ampliado, identificamos melhorias que poderemos alcançar com a efetiva implantação desse projeto:

- a) na infraestrutura peatonal e segurança viária, com redução de acidentes de trânsito;
- b) no microclima local, com incremento das áreas vegetadas e arborização urbana, redução de temperaturas de superfície;
- c) na rede de espaços livres abertos, ampliando possibilidade de utilização dos espaços públicos pela população, inclusive para possíveis atividades de lazer, cultura, esportes, ou mesmo de contemplação;
- d) na drenagem superficial, amenizando impactos na infraestrutura de drenagem convencional existente, com implantação de elementos de drenagem sustentável, infraestrutura verde (jardins de chuva, biovaletas, valas de infiltração, canteiros drenantes, paredes verdes), pisos semi-permeáveis e permeáveis;
- e) nos espaços públicos em geral, com o aumento da segurança, uma vez que providos de iluminação. ➔

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BAIARDI, Y. C. L. - Nó de transporte e lugar: dilemas, desafios e potencialidades para o desenvolvimento de um Hub Urbano de Mobilidade - SP. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2018.
- [2] COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO - METRÔ. RT-19.FN.02.01/0GE-001 - Projeto Funcional - Linha 19-Celeste: Campo Belo-Guarulhos, Trecho Bosque Maia-Anhangabaú. São Paulo: Metrô, 2019.
- [3] SÃO PAULO (Município). Lei nº 16.673, de 13 de junho de 2017.

\* **Juliana Yoshida** é Arquiteta e Urbanista (FAU-USP) e atua como Arquiteta na Gerência de Projetos do Metrô-SP. E-mail: [j.yoshida@metrosp.com.br](mailto:j.yoshida@metrosp.com.br)

\*\* **Michel Hoog Chaui do Vale** é Arquiteto e Urbanista, mestre em Planejamento Urbano e doutorando em História da Arquitetura, especialista em Engenharia Urbana, MBA em Gestão Metroviária, PMP e atua na Gerência de Projetos do Metrô-SP. E-mail: [mhcvale@metrosp.com.br](mailto:mhcvale@metrosp.com.br)

\*\*\* **Neila Custódio** é Arquiteta e Urbanista (UBC), Pós Graduada em Magistério do Ensino Superior (UNIP) e atua como Arquiteta e Paisagista na Gerência de Projetos do Metrô-SP. E-mail: [ncustodio@metrosp.com.br](mailto:ncustodio@metrosp.com.br)

# Passagem de tuneladoras sob edificações com fundações profundas com interferência física

HUGO CÁSSIO ROCHA\* / FERNANDO PESSOTO HIRATA\*\* / GUILHERME BRAIDATO ROBBE\*\*\* / THIAGO DE OLIVEIRA PIRES\*\*\*\*

## INTRODUÇÃO

O Metrô de São Paulo teve iniciada sua implantação nos anos de 1970, e mesmo já se passando mais de 50 anos, é um dos mais recentes, comparando-se com outras grandes cidades ocidentais do mundo, a exemplo de Nova York, Londres e Paris, que tiveram suas principais linhas implantadas no início do século 20. Uma consequência desse tardio início de implantação é a dificuldade de áreas livres em superfície e pouco urbanizadas para sua instalação e poucos obstáculos pré-existentes, interferindo menos com os equipamentos urbanos. No caso de São Paulo, a cidade já estava plenamente construída e com elevados índices de tráfego e ocupação superficial.

Apesar disso, quando da implantação da sua primeira linha 1-Azul, ainda foi possível, a execução de parte da linha em longo VCA (Cut and Cover), com cerca de 10,5 km do centro até a zona sul da cidade (figura 1), em período histórico com baixo poder de interferência da sociedade civil e quando ainda não havia tantas restrições ambientais como atualmente, gerando longas faixas de desapropriação. Atualmente isso é inviável, seja pelo maior poder da sociedade civil organizada, novas legislações mais restritivas, restrições ambientais além do elevado custo das desapropriações, chegando ao



Figura 1 - Vala a céu aberto na zona sul da cidade - Linha 1-Azul, anos 1970 (Metrô-SP)

ponto onde as VCAs serem mais caras que seus equivalentes em túnel. Assim, nas novas linhas em construção a utilização de VCAs ficou restrita à estações rasas, poços de ventilação e poucos pontos de acesso as obras. O traçado das linhas em túneis tem mais flexibilidade de desenvolvimento por não terem que seguir o traçado das ruas e por poderem ser mais profundos, entretanto, frequentemente são encontrados vários obstáculos superficiais e estruturas de subsuperfície gerando dificuldades para seu desenvolvimento.



Figura 2 - Localização da Linha 5-Lilás - Metrô-SP

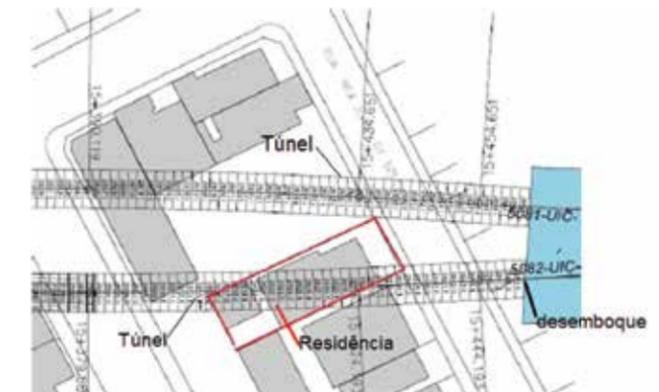


Figura 3 - Planta de localização do imóvel em relação aos túneis

A escavação de túneis em áreas urbanas muitas vezes se depara com fundações de edificações existentes nas seções de escavação. A passagem, e eventual corte das fundações em geral, requer sofisticadas técnicas de engenharia, entretanto, as dificuldades são muito maiores quando se trata de escavação mecanizada, em relação às escavações convencionais.

A última linha finalizada e em operação do Metrô de São Paulo é a Linha 5-Lilás que se desenvolve na zona sul da cidade. Esta linha teve como "espinha dorsal" túneis de vias escavados com tuneladoras (TBMs) EPB, um trecho com uma TBM de Ø 10,6m e outro com duas TBMs de Ø 6,9m. Em vários pontos da linha ocorreram interferências relevantes, com estruturas de superfície e subsuperfície que demandaram estudos detalhados para sua transposição, viabilizando o traçado e não provocando danos significativos às estruturas (figura 2). Dentre elas podemos destacar as seguintes:

- Caso 1 - Residência na Rua Rita Joana de Souza 297 - interferência com a TBM de f 6,9m.
- Caso 2 - Conjuntos Residencial Klabin e Sousa Ramos - interferência com a TBM de Ø 10,6m.
- Caso 3 - Edifício Platinum Tower - interferência com a TBM de Ø 10,6m.
- Caso 4 - Centro Olímpico Ibirapuera - interferência com a TBM de Ø 10,6m.



Figura 4 - Foto da Fachada do Imóvel

**ESTUDO DE CASOS**  
**CASO 1 - RESIDÊNCIA NA RUA RITA JOANA DE SOUZA**

A edificação situada na rua Rita Joana 297, encontrava-se exatamente sobre o alinhamento do túnel a ser executado por uma TBM EPB Ø 6,9m, o qual possuía baixa cobertura devido à proximidade do desemboque (figura 3). Trata-se de um edifício de três pavimentos (incluindo garagem rebaixada) com cerca de 25 anos e em estado de conservação mediano e necessitando reparos, mas que em nenhum caso envolveriam riscos estruturais (figura 4). A casa está assentada sobre uma camada superficial de solo muito mole (turfa), portanto, sua fundação é profunda, através de uma série de estacas cravadas até 13-15 metros, alternando camadas de areias e argilas, sem encontrar estrato mais resistente (figura 5). A profundidade das estacas é tal que interferiam de 2 a 3 metros na seção de escavação da tuneladora responsável pela escavação da via 1. A demolição parcial das estacas no comprimento de interferência usando os discos na cabeça da perfuradora de túneis se mostrou a solução mais viável para evitar a demolição do imóvel. Por já ter problemas crônicos de fundações e muitas fissuras nas estruturas, exigiu cuidados especiais para a passagem da TBM.

Após a execução de ensaios geofísicos sísmicos "down-hole" e das cargas potenciais nas fundações, conclui-se que as fun-

Prova	Aceleração [mm/s <sup>2</sup> ]					
	Ponto 1		Ponto 2		Ponto 2	
	Casa principal	Edícula	Prova	Casa principal	Edícula	Prova
01	24,8	72,3	14	28,7	23,0	
02	47,1	28,6	15	95,0	52,3	
03	42,5	24,6	16	89,8	36,3	
04	37,0	29,0	17	25,3	23,6	
05	52,4	82,2	18	48,4	29,2	
06	32,7	27,9	19	63,0	27,2	
07	23,2	22,9	20	33,5	29,2	
08	22,4	24,6	21	22,25	23,0	
09	28,2	31,2	22	58,3	31,4	
10	78,2	35,4	23	27,7	22,84	
11	43,9	33,9	24	97,8	35,2	
12	46,4	28,8	25	58,1	24,4	
13	20,7	21,4	26	46,0	30,7	

Figura 6 - Perfis de reposta obtidos de dois acelerômetros instalados

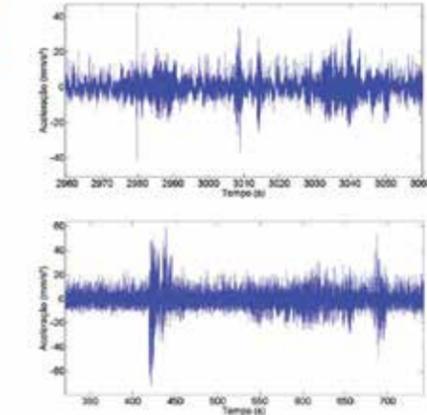
dações estariam superdimensionadas e que o corte localizado de parte pontas das estacas seria viável e não provocaria danos sensíveis e durante a passagem da TBM, a estrutura seria monitorada por nivelamento de precisão e acelerômetros.

Para o monitoramento das vibrações foram instalados acelerômetros nos pontos principais da estrutura, na casa e na edícula, após a sua desocupação temporária. Foi estabelecido um limite aceitável de vibrações a serem observadas durante a passagem da TBM, para que não houvesse danos à estrutura e seus componentes, onde a velocidade de vibração de uma partícula não poderia ultrapassar o valor de 40mm/s durante a monitoração da passagem da TBM.

Recomendou-se extremo cuidado executivo durante o processo quanto a:

- Instalação de ferramentas de corte no perímetro e nos 4 braços da cabeça de corte. Garantindo que a fundação da Casa 297 seria cortada independentemente da sua posição em relação à seção de escavação.
- Diminuição da velocidade do TBM para 15mm/min em cada encontro com as estacas da Casa 297. Essa velocidade

permitiu que o processo seja controlado, de forma que caso ocorresse algum problema, ele seria detectado a tempo de agir sobre ele e resolvê-lo.



permitiu que o processo seja controlado, de forma que caso ocorresse algum problema, ele seria detectado a tempo de agir sobre ele e resolvê-lo.

- Implementação de medidas de mitigação delineadas para garantir que a obra estivesse preparada para uma eventual implementação de medidas de contingência. Isto permitiu maior facilidade e segurança na escavação do túnel sob a Casa 297.

Com isso, foi obtida a velocidade através da integração dos gráficos da aceleração e, conforme citado acima, o limite estabelecido foi o de 40mm/s que, segundo a Norma DIN 4150-3 "Structural Vibration – Effects of Vibration on structures", a partir desse valor as vibrações acarretariam riscos de danos à estrutura do imóvel. Na monitoração realizada, o maior valor de velocidade encontrado foi de 0,1mm/s (figura 6).

Na realidade não foram observadas vibrações com a passagem da TBM e nem houve alterações dos parâmetros de controle da TBM que indicassem o corte das estacas, sendo a passagem sob a edificação efetuada com sucesso.

**CASO 2 - RESIDENCIAL KLABIN / RESIDENCIAL SOUZA RAMOS**

A escavação do trecho entre as estações Santa Cruz e Chácara Klabin, na sua porção final foi efetuada sob dois condomínios de casas unifamiliares: o Residencial Souza Ramos e o Residencial Klabin. Ambos foram construídos sobre área de solos moles e suas fundações sobre estacas pré-moldadas e seriam cortadas pela TBM.

Cada conjunto de casas não tinha uma quantidade suficiente de informações dis-

poníveis, entretanto, para viabilizar o projeto, as seguintes atividades tiveram que ser desenvolvidas (figura 7).

- Condomínio Residencial Souza Ramos
  - Determinação das cargas em cada estaca.
- Condomínio Residencial Klabin
  - Determinação da profundidade das estacas: ensaios "Down hole" (figura 8).
  - Determinação da capacidade de carga de cada estaca: função do maciço local (figura 9).
  - Determinação da quantidade de estacas.
  - Determinação das cargas em cada estaca.

Foram estabelecidos os seguintes tipos de danos potenciais nas edificações.

- Danos na superfície (pavimento térreo, conexões, muros de divisa);
- Danos no corpo das casas;
  - .Devidos a recalques originados pelo túnel;
  - .Devidos a recalques originados pelo túnel;
  - .Devidos a perda da capacidade das estacas.

Para avaliar os recalques originados pelos túneis foram contemplados dois cenários com diferentes níveis de perdas de solo, em função do maciço e da cobertura locais (figura 10).

A partir da setorização dos efeitos potenciais da passagem da TBM sob os



Figura 7 - Vista geral do trecho com curvas de influência e riscos

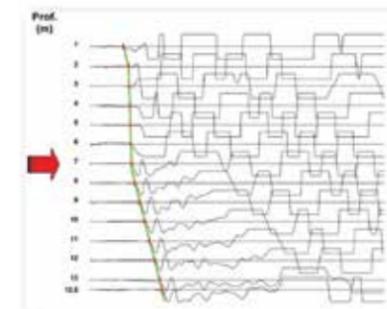


Figura 8 - Perfil geofísico downhole indicando a profundidade das estacas em 7m



Figura 11 - Decorrentes de vibrações



Figura 12 - Decorrentes de danos estruturais (Cenário 1)

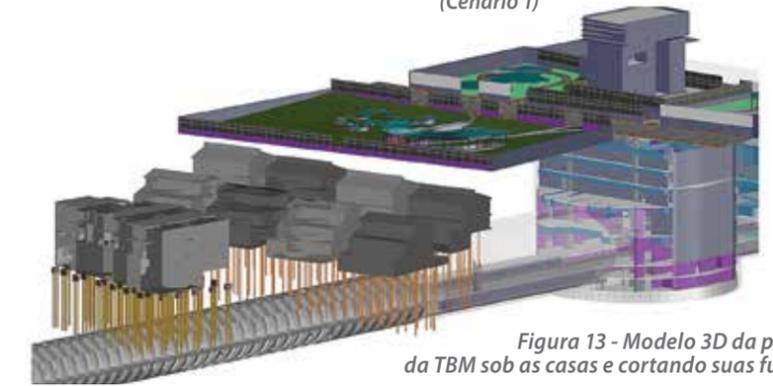


Figura 13 - Modelo 3D da passagem da TBM sob as casas e cortando suas fundações

**CASO 3 - EDIFÍCIO PLATINUM TOWER**

Próximo à parede de chegada da TBM na Estação Moema havia a previsão de proximidade de parede diafragma e tirantes executados para os subsolos

imóveis foi elaborado mapa de riscos e efetuada a desocupação preventiva de imóveis selecionados, devido aos efeitos das vibrações e aos riscos estruturais (figuras 11 e 12), com auxílio de modelo 3D da passagem da TBM sob as casas (figura 13).

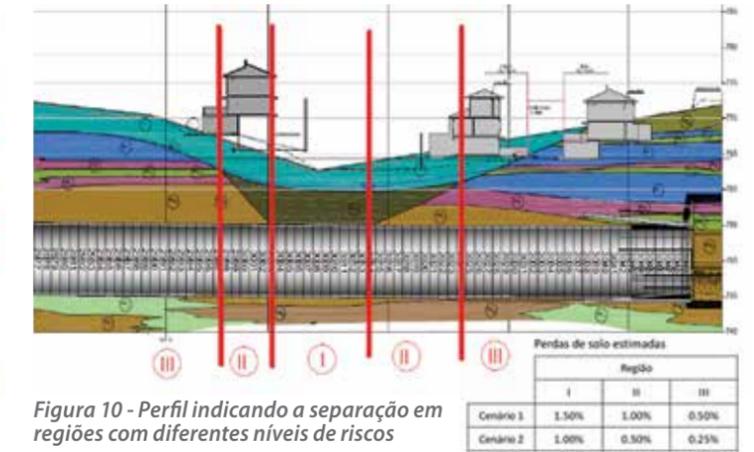


Figura 10 - Perfil indicando a separação em regiões com diferentes níveis de riscos



Figura 9 - Indicação das posições das estacas

Figura 5 - Seção geológica/geotécnica do local

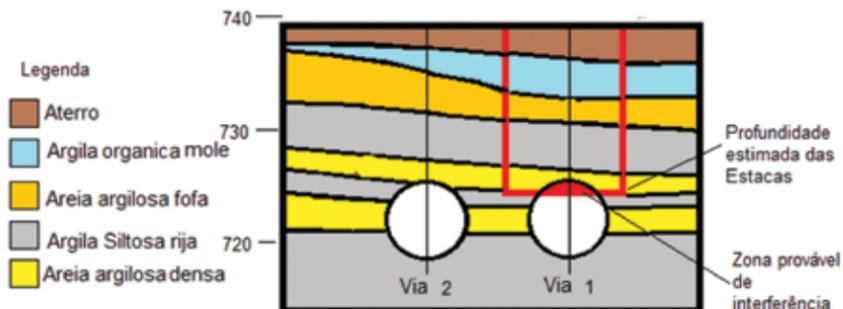




Figura 14 - Vista geral do local com edifício e TBM

do edifício Platinum Tower, com 13 pavimentos, vizinho ao traçado (figura 14). Este foi construído após a elaboração o projeto da Linha 5-Lilás mas antes da passagem da TBM. Na época foi efetuado acordo com a construtora do edifício de instalar os tirantes de modo a garantir a não interferência física com o futuro túnel. Entretanto, a construtora do edifício não garantiu a locação exata dos tirantes que poderiam interferir fisicamente com a TBM, podendo provocar sérios problemas executivos, em especial na cabeça de corte e parafuso sem fim (figura 15).

A passagem da TBM ao lado do edifício seria de elevado risco nessas condições. Para mitigação desse risco, além de toda instrumentação do edifício e das paredes diafragmas, foi efetuada a extração dos tirantes com sobrefuração e retirada das cordoalhas dos tirantes (figura 16), a partir das garagens do edifício, minimizando assim o risco. A passagem da tuneladora ocorreu com baixíssimo impacto no edifício e nenhuma interrupção de tirantes pela TBM (figura 17).

#### CASO 4 - CENTRO OLÍMPICO IBIRAPUERA

A passagem da TBM sob o Centro Olímpico do Ibirapuera tinha um ponto mais crítico que as demais estruturas locais, que foi a passagem sob uma piscina olímpica (figuras 18 e 19). Recalques diferenciais poderiam provocar fissuras na estrutura com consequente vazamento e necessidade de esvaziamento e



Figura 18 - Piscina Olímpica do Ibirapuera

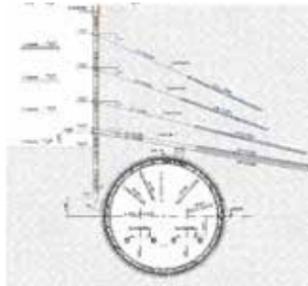


Figura 15 - Seção esquemática do local



Figura 16 - Retirada das cordoalhas dos tirantes

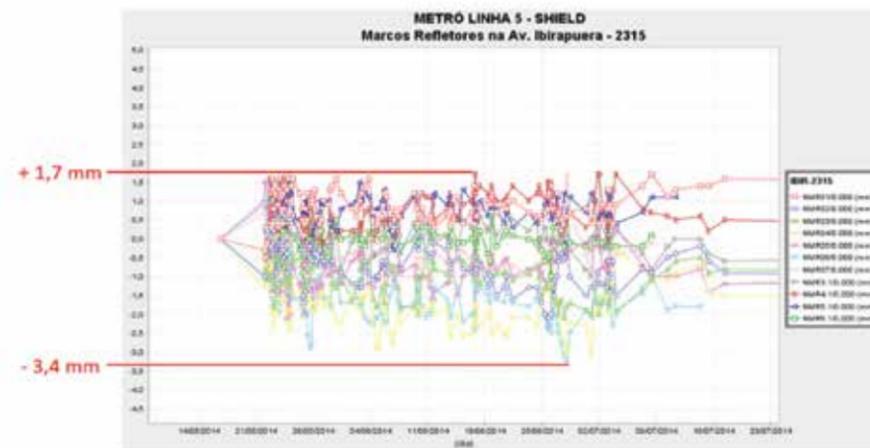


Figura 17 - Deformações observadas na estrutura do Edifício Platinum Tower

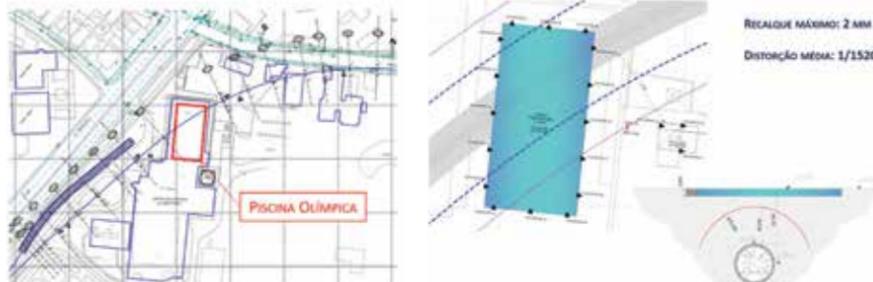


Figura 19 - Traçado sob a piscina do Centro Olímpico

Figura 20 - Detalhe da Passagem sob a piscina

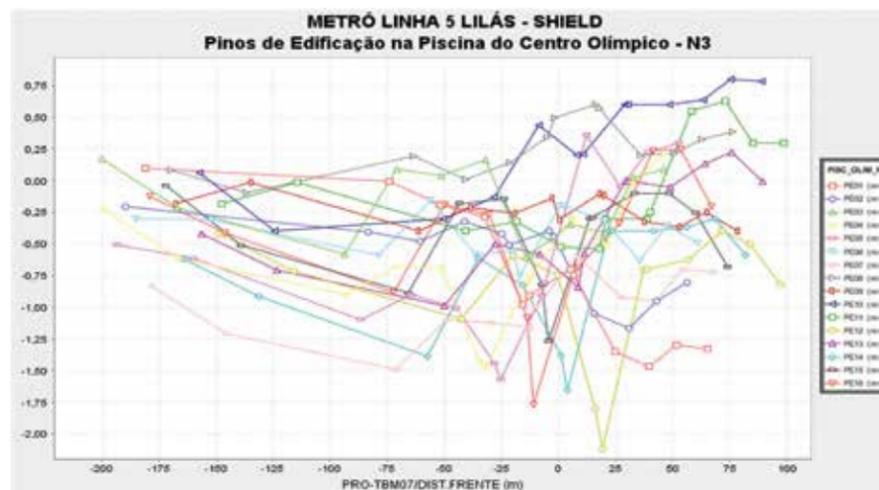


Figura 21 - Gráfico de controle de recalques sob a piscina

necessidade de reforma. Para mitigação desse risco, além de toda instrumentação do túnel e das estruturas vizinhas, foi efetuada uma instrumentação especial e cuidados extras operacionais na TBM. A passagem da tuneladora ocorreu com baixíssimo impacto no edifício e estrutura da piscina (figuras 20 e 21).

A passagem ocorreu sem recalque significativo, da ordem de 2mm, próxima a resolução do aparelho utilizado para as leituras.

#### CONCLUSÕES

A passagem das tuneladoras em áreas urbanas muito adensadas, apesar de, teoricamente, provocar menos deformações na superfície que o método convencional, exige muitos cuidados com as interferências existentes, uma vez que a possibilidade de intervenção na face de escavação é muito mais restrita e o contato do equipamento com essas estruturas enterradas pode provocar sérios danos, tanto nas estruturas como na máquina. A determinação pré-

via dessas interferências e seu tratamento com uma adequada gestão de riscos minimiza sobremaneira seus efeitos, no contorno e no equipamento.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CJC ENGENHARIA - Interferência da tuneladora com as fundações das casas do condomínio Residencial Souza Ramos e condomínio Residencial Klabin - Relatório interno Metrô - 2015.
- [2] DELLA VALE, N., Tunnelconsult - Estudio de la problemática debida a la interferencia de la cimentación profunda mediante estacas del inmueble 297 sobre la vía 1 en el entorno del pozo bandeirantes. - Relatório interno - Metrô-SP - 2015.
- [3] GIANNOTTI, W. - Túneis mecanizados aspectos construtivos - Curso de túneis, Metrô - UNIMETRO - 2016.
- [4] IEME BRASIL - Monitoração de vibrações em uma edificação durante a passagem do TBM - Relatório interno - Metrô-SP - 2015.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Cia. do Metropolitano de São Paulo - Metrô, pela oportunidade do estudo e da permissão de sua publicação. 📧

\* **Hugo Cássio Rocha é Geólogo, Especialista da Gerência de Projetos - Metrô-SP**  
E-mail: hcrocha@metrospp.com.br

\*\* **Fernando Pessoto Hirata é Engenheiro Civil, Especialista da Gerência de Projetos - Metrô-SP**  
E-mail: fphirata@metrospp.com.br

\*\*\* **Guilherme Braidato Robbe é Engenheiro Civil, Coordenador de Geotecnia e Dados Básicos da Gerência de Projetos - Metrô-SP**  
E-mail: gbrobbe@metrospp.com.br

\*\*\*\* **Thiago de Oliveira Pires é Engenheiro Civil, Gerência do Empreendimento da Linha 2-Verde - GE2 - Metrô-SP**  
E-mail: thiago.pires@metrospp.com.br

#### TECNOLOGIA CONFIÁVEL

# A MELHOR ESCOLHA

Megacidades como São Paulo, Guangzhou e Nova York confiam na tecnologia de escavação mecanizada da Herrenknecht. Aprovada em mais de 1.400 projetos de metrô em todo o mundo.  
[www.herrenknecht.com](http://www.herrenknecht.com)

PIONEERING UNDERGROUND TOGETHER

HERRENKNECHT



Tunnelling Systems

# SIGA NO FACEBOOK BRASIL ENGENHARIA



## Segurança cibernética nos trilhos e aplicação prática em projetos de sistemas<sup>1</sup>

RICARDO FRADE MOURIÑO\*

O conveniente e necessário desenvolvimento tecnológico traz grandes benefícios para a população mundial. A velocidade de seu crescimento é espantosa! Na mesma proporção crescem os crimes cibernéticos.

Segundo a consultoria alemã Roland Berger, o Brasil foi o 5º país que mais sofreu crimes cibernéticos no ano de 2021.

Ainda em reportagem da revista EXAME, em um relatório da empresa de cibersegurança Trend Micro, o Brasil é o segundo país mais vulnerável a ataques de hackers no mundo. Atrás apenas dos Estados Unidos, o país teve bilhões de ameaças bloqueadas no primeiro semestre de 2023.

Mais recentemente o site O GLOBO publicou que os ataques cibernéticos contra órgãos do governo federal crescem em janeiro de 2024, puxados por vazamentos de dados. Os Órgãos do Executivo registraram 989 casos, uma média 32 por dia, o maior patamar para o mês nos últimos quatro anos.

Nesse apanhado de pesquisas e reportagens, os crimes foram desde o roubo e comercialização de informações pessoais até ataques e indisponibilização de serviços públicos e privados.

Esses dados chamam a atenção, principalmente para as empresas de infraestruturas críticas, como as do setor metroferroviário. Essas empresas possuem serviços de alta disponibilidade, cuja paralisação ou interferências causados por eventuais ataques cibernéticos podem causar sérios prejuízos, tanto às empresas quanto à população.

No setor metroferroviário brasileiro ainda é percebida uma baixa maturidade em segurança cibernética especializada em infraestruturas críticas (Sistemas de Tecnologia da Operação – T.O.).

Este artigo, baseado nas normas ISA/IEC 62443 e NIST 800-82, incorpora a minha visão e experiência profissional em sistemas metroferroviários e tem a proposta de apresentar modelos de arquitetura, recomendações e requisitos aplicados ao setor, de uma maneira prática e de fácil compreensão para

aplicação de segurança cibernética nos projetos de sistemas metroferroviários.

### A NORMA ISA/IEC 62443

A série ISA/IEC 62443 é uma ampla coleção de padrões multissetoriais para o desenvolvimento seguro de Sistemas de Automação e Controle Industrial (IACS), os quais são tratados também como Sistemas de T.O. A série normativa define um conjunto de métodos e técnicas de proteção de segurança cibernética para defender redes contra ameaças de segurança cibernética. Ela categoriza essas técnicas para aplicar a todas as partes interessadas, incluindo fabricantes, proprietários de ativos e fornecedores. Ela se divide em quatro partes, as quais definem as respectivas funções de cada ente interessado. Cada função diferente segue uma abordagem para prevenir e gerenciar riscos de segurança em suas atividades (figura 1).

### ESTRUTURA DA ISA/IEC 62443

Principais conceitos da ISA/IEC 62443 contidos neste artigo:

#### Níveis de segurança

- Nível de segurança 0: Nenhum requisito especial ou proteção necessária.
- Nível de segurança 1: Proteção contra uso indevido ou acidental.
- Nível de segurança 2: Proteção contra uso

indevido intencional por meios simples, com poucos recursos, habilidades gerais e baixa motivação.

- Nível de segurança 3: Proteção contra uso indevido intencional por meios sofisticados, com recursos moderados, conhecimento específico em Sistemas de Automação e Controle e motivação moderada.

- Nível de segurança 4: Proteção contra uso indevido intencional usando meios sofisticados, com amplos recursos, conhecimento específico em Sistemas de Automação e Controle e alta motivação.

#### Requisitos fundamentais (RF)

- Identificação, autenticação e controle de Acesso (IAC).
- Controle de uso (UC).
- Integridade do sistema (SI).
- Confidencialidade de dados (DC).
- Restrição de Fluxo de dados (RDF).
- Tempo de Resposta a eventos (TRE).
- Disponibilidade de recursos (RA).

#### Defesa em profundidade (Defense in Depth)

É um conceito no qual vários níveis de segurança (defesa) são distribuídos por todo o sistema. O objetivo é fornecer redundância caso uma medida de segurança falhe ou uma vulnerabilidade seja explorada.

### Norma ISA99/IEC62443



### Escopo da Norma ISA99/IEC62443

#### Partes:

- 1-1: Terminologia e Conceitos
- 1-2: Glossário Principal
- 1-3: Métricas de conformidade de segurança do sistema
- 1-4: Ciclo de vida e casos de uso de segurança do IACS
- 2-1: Requisitos para um sistema de gerenciamento de segurança IACS
- 2-2: Guia de implementação
- 2-3: Gerenciamento de Patches
- 2-4: Instalação e Manutenção  
Aplicação ao responsável pelo ativo
- 3-1: Tecnologias de Segurança para IACS
- 3-2: Níveis de segurança e zonas e condutas
- 3-3: Requisitos e níveis de segurança para sistemas  
Aplicação ao responsável pelo Integrador de sistema
- 4-1: Requisitos para desenvolvimento de produtos
- 4-2: Requisitos técnicos para componentes para IACS  
Aplicação ao responsável pelo fornecedor do componente

Figura 1 - Estrutura e Escopo da ISA/IEC 62443



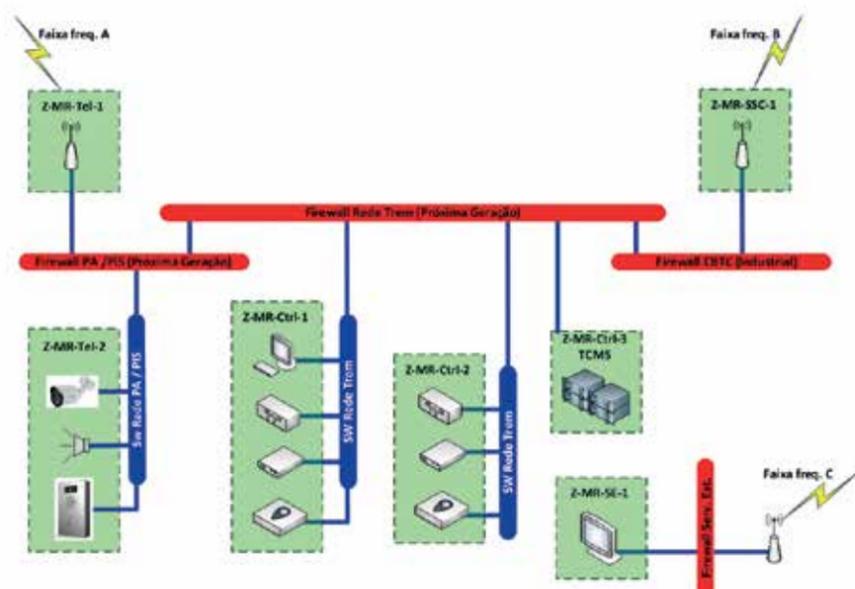


Figura 5 - Diagrama de Zonas, Subzonas de Segurança e Conduítes de um Trem

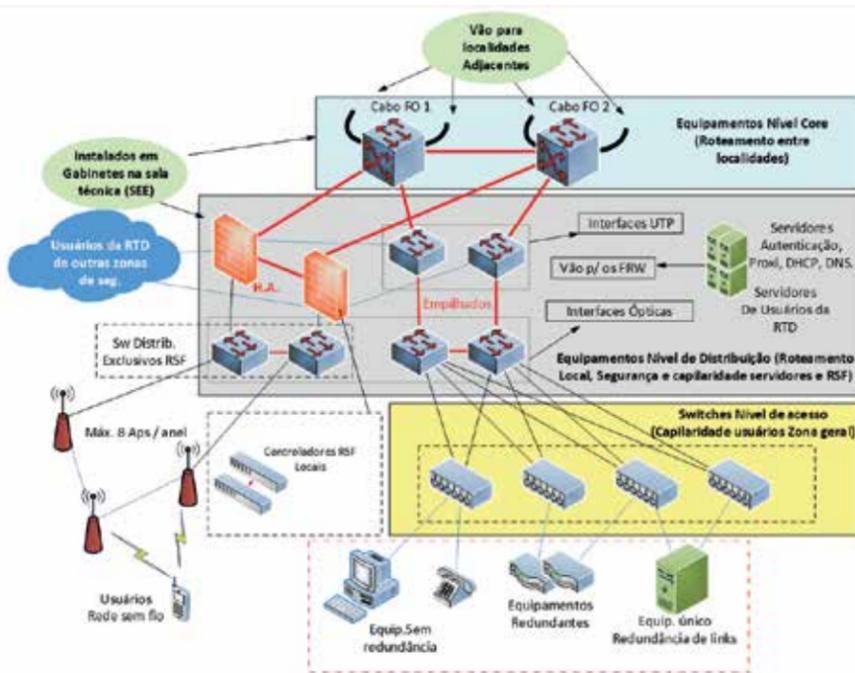


Figura 6 - Diagrama da Rede de Transmissão de Dados de Uma Localidade Tipo

rio da autenticação e desconexão.

4.As senhas de usuários humanos devem expirar periodicamente e devem ter no mínimo 8 dígitos, envolvendo necessariamente letras maiúsculas e minúsculas, números e caracteres especiais.

#### Requisitos de Redes de Comunicação

A rede do sistema em consideração deve:

1.Negar o tráfego de rede por padrão e permitir o tráfego de rede por exceção (tam-

bém chamado de negar tudo, permissão por exceção).

2.Em caso de falhas ou anormalidades na rede, o sistema deve informar o gerenciador da rede, por meio de alarme.

3.Os mecanismos de segurança devem, entre outros que garantam o atendimento aos requisitos desta especificação, incluir, segregação por VLANs, criptografia, autenticação entre nós para formação de redes IPSec, Port security, ACLs, controle de mensagens, portas e protocolos.

4.A comunicação entre dispositivos usuários da rede deve ser controlada, aplicando-se todos os mecanismos de segurança necessários à garantia da confidencialidade, integridade, disponibilidade, autenticidade, irretratabilidade (ou não repúdio) e conformidade.

5.A rede deve possuir um sistema completo de gerenciamento de todos os seus equipamentos, incluindo a rede física e lógica.

#### CONCLUSÕES

Foram apresentados modelos de arquitetura, recomendações e requisitos de sistemas totalmente aplicados ao setor metroferroviário. Os sistemas foram enquadrados nos conceitos da Norma ISA/IEC 62443, facilitando a sua aplicação no setor, de tal forma que os projetistas tenham condições de entender melhor os conceitos da norma para aplicá-los nas especificações técnicas dos projetos de sistemas.

Os modelos, recomendações e requisitos apresentados servem como base e podem ser utilizados para o desenvolvimento de quaisquer projetos de sistemas metroferroviários, bastando adequar e fazer ajustes em eventuais diferenças.

#### Nota

Esta nota técnica é baseada no artigo "Segurança Cibernética nos Trilhos - Aplicação Prática em Projetos de Sistemas", de autoria do eng. Ricardo Frade Mourão, finalista do 9º Prêmio Tecnologia & Desenvolvimento Metroferroviários ANPTrilhos-CBTU.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Segurança Cibernética Industrial – Tiago Branquinho e Marcelo Branquinho, Ed. Alta Books.
- [2] Família NBR/ISSO/IEC 27000, ISA/IEC 62443, Guia NIST SP 800-82.
- [3] Especificação Técnica: CLC-TS\_50701.
- [4] Acesso em 21/07/2022 as 21h22: <https://www.cisoadvisor.com.br/> <https://seginform.com.br/>
- [5] Acesso em 22/07/2022 as 18h15: [https://stringfixer.com/pt/IEC\\_62443](https://stringfixer.com/pt/IEC_62443) <https://senhasegura.com/pt-br/> <https://ldra.com/iec-62443/>
- [6] Acesso em 30/04/2024 as 17h00: <https://oglobo.globo.com/brasil/noticia/2024/03/01/> <https://exame.com/future-of-money/>

\* **Ricardo Frade Mourão** é engenheiro electricista (FEI – São Bernardo do Campo) e atua como engº especializado em projetos de telecomunicações na Gerência de Projetos do Metrô-SP. E-mail: [rfrmourino@metrospp.com.br](mailto:rfrmourino@metrospp.com.br)



## Tecnologia a serviço da manutenção eficiente: o sistema de monitoramento de ativos operacionais do Metrô de São Paulo

ANDRÉ LUIZ SIMONAGIO GRANA\* / ALEXANDRE DE MAIO PARPINELLI\*\* / CARLOS ALFREDO SANTOS\*\*\*  
GILSON CAPPELLANO\*\*\*\* / RENATO FRANZON SOARES\*\*\*\*\*

A modernização do parque de equipamentos nas linhas 1-Azul, 2-Verde e 3-Vermelha, a operação da Linha 15-Prata e a necessidade de redução do índice MKBO5, que mede o número de quilômetros rodados entre interferências operacionais maiores que cinco minutos, tornaram fundamental gerenciar, em tempo real, os ativos operacionais com foco em manutenção.

O Projeto batizado como **Sistema de Monitoramento de Ativos Operacionais - SMA** do Metrô-SP teve sua inspiração baseada na visita técnica ao *Centro de Operaciones de Mantenimiento y Monitorización de*

*Instalaciones* – COMMIT do metrô de Madrid em janeiro de 2013 onde foram apresentados, figura 1, os resultados de cinco anos de operação.

O SMA Metrô iniciou seu desenvolvimento no final de 2017, com uma linha orçamentária estimada de 30 milhões e conclusão prevista para dezembro de 2025.

Os resultados esperados do projeto incluem: aumento de disponibilidade, redução da interferência operacional decorrente de falhas em equipamentos, redução do número de ocorrências, redução no tempo de restabelecimento de ocorrências, redução no custo de manutenção, gestão *Data Driven*, aumento da assertividade nas ações de manutenção e na melhoria da imagem dos

serviços prestados aos nossos passageiros.

O SMA baseia-se em três pilares, ver figura 2. O primeiro é a coleta de dados, cujo elemento principal é o Módulo Data Logger – MDL, um produto destinado à leitura de dados físicos, seja em formato digital ou analógico. É compatível com sensores de temperatura, pressão, vibração, corrente elétrica etc. Além disso, pode ser aplicado em uma vasta gama de ativos, como escadas rolantes, trens, sistemas de ventilação, de diferentes gerações de automação, desde os controlados por relés e contadores, até aqueles que possuem CLPs (Controlador Lógico Programável) e inversores de frequência. O seu desenvolvimento permitiu alocar computação de borda (*edge computing*) executan-

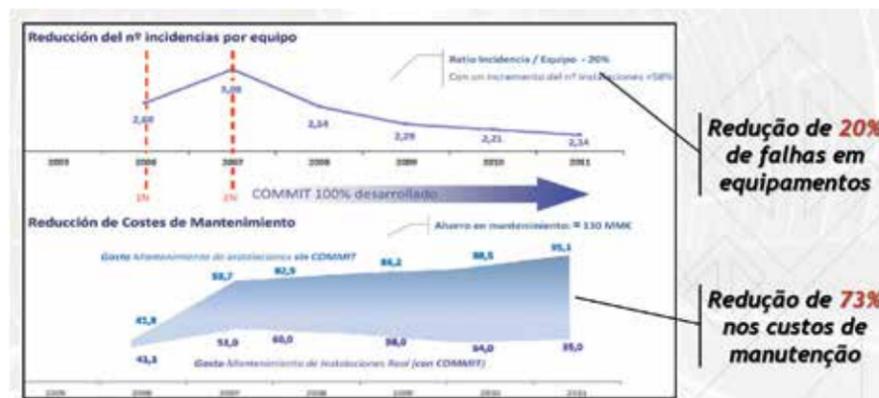


Figura 1 - Gráfico de redução de falhas e de custos proporcionado pelo COMMIT madrileno

do algoritmos de aprendizado de máquina (*machine learning*), acrescentando uma camada de Inteligência Artificial ao MDL. Esta característica capacita-o ao processamento local dos dados coletados, externando o resultado da análise, sendo desnecessária a transmissão dos dados brutos dos sensores pela rede, desonerando-a.

O segundo pilar realiza a transmissão, tratamento, armazenamento e disponibilização dos dados, batizado de Plataforma de Monitoramento de Ativos – PMA. Compõem-se de uma rede de fibra ótica que não compartilha nem interfere na infraestrutura de comunicação de dados das estações, sejam elas administrativas ou operacionais. Essa rede percorre estações, subestações, Centros de Controle Operacional – CCOs e pátios de manutenção. Além dela, na PMA estão dois parques de servidores computacionais: no primeiro, são executados os softwares que compõem o motor de coleta (engine), armazenamento e classificação dos dados em níveis de alarme para tratamento pelo CCM, sejam eles coletados pelo MDL ou provenientes de ativos informatizados e instrumentados nativamente; já o segundo parque, em fase de projeto, destina-se ao processamento dos dados coletados com o uso de ferramentas de Inteligência Artificial, figura 3.

O terceiro é o Centro de Controle da Manutenção – CCM, figura 4, localizado no prédio administrativo da manutenção no Pátio Jabaquara da Linha 1-Azul, exerce a função de interface homem-máquina. É composto por quatro consoles que monitoram os macrossistemas: Alimentação e Tração Elétrica; Sinalização e Telecomunicações; Sistemas Embarcados em Trens; e uma específica para os sistemas da Linha 15-Prata. Os operadores destas consoles são técnicos experientes provenientes das equipes de manutenção de campo e das oficinas de trens. Além dos ma-

crossistemas, está prevista a implantação de mais uma console para o Sistema de Monitoramento de Via Permanente – SMVP.

#### ACESSO A TODAS AS EQUIPES DE MANUTENÇÃO

As telas que os técnicos operadores visualizam nas consoles do CCM são compartilhadas para todas as equipes, desde as bases de manutenção alocadas ao longo da linha, até oficinas de manutenção e engenharia nos pátios de manutenção, mediante controle e permissão de acesso centralizado dos usuários às plataformas.

Quando o técnico de campo se dirige a uma estação, seja para atendimento de uma falha ou realizar qualquer outro procedimento de manutenção, a consulta prévia ao SMA o ampara no atendimento, verificando e localizando outras possíveis falhas ou degradações que demandem ação, otimizando a mão de obra. Já a oficina ao receber,

por exemplo, um módulo para reparo, consegue verificar o seu histórico de comportamento quando instalado no campo.

A engenharia, por sua vez, além de fornecer suporte, solicita listagens ou outros registros históricos para subsidiar as ações de manutenção, realizar análises econômico-financeiras e demais informações para fins de planejamento estratégico.

#### TUDO ACONTECE NOS BASTIDORES

O CCM, inaugurado oficialmente em agosto de 2022, tem foco exclusivo na manutenção do sistema, diferentemente do CCO cujo foco é a operação. Toda a sua estrutura, hardwares e softwares, destinam-se a detectar falhas, sejam as já ocorridas ou detectadas de forma preditiva, bem como as tendências de ocorrência, com o objetivo de aumentar a disponibilidade operacional, ou seja, mitigar possíveis interferências na operação dos trens e estações por falha em equipamentos.

A alocação dos monitoramentos dos macrossistemas, e futuramente a via permanente, num mesmo local físico permite observar de forma *online* como eles se interagem e como um interfere no outro, sob diferentes, contextos operacionais.

Na grande orquestra do transporte diário de aproximadamente três milhões de passageiros em uma das maiores cidades do mundo, o SMA e suas consoles no CCM trabalham nos bastidores, fornecendo apoio à manutenção e, conseqüentemente, à operação de todo o sistema.

#### APOIO À MANUTENÇÃO

Na ocorrência de falhas críticas com interferência operacional, antes do advento



Figura 2 - Os três pilares do SMA

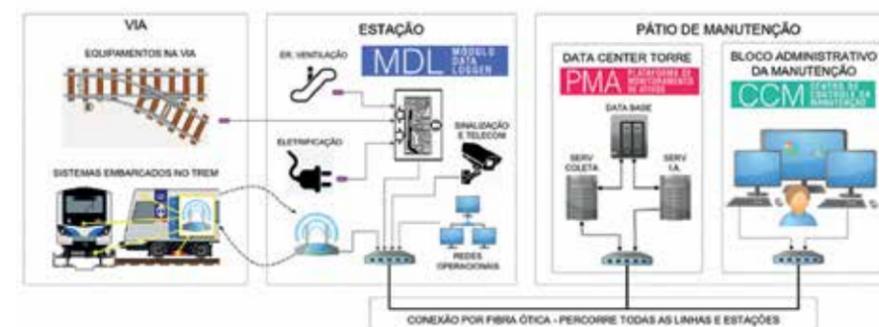


Figura 3 - Diagrama de implantação dos componentes do SMA

do CCM, o ente de informações que auxilia as equipes de campo na atuação sobre a falha era o CCO que, nestas condições, tem como prioridade a realização de manobras e acionamentos para contornar o problema, o que atrapalha a comunicação e o apoio à manutenção.

Já com o CCM, após a liberação do acesso ao ativo com falha pelo CCO, a equipe de campo ganha um grande aliado na atuação, pois na console há um técnico, o que facilita a comunicação, com uma visão holística do sistema e que consegue consultar os diversos sinais que trafegam entre os sistemas, fornecendo informações valiosas que auxiliam a equipe na atuação da falha. Este apoio também acontece nas ações de manutenção menos críticas ou preventivas do dia a dia.

Subsidiado pelo CCM, a qualidade e a

rapidez no atendimento pelas equipes de campo, principalmente em situações críticas, alcançam um patamar superior de atendimento à operação, diminuindo o *downtime* ou tempo de indisponibilidade dos ativos operacionais.

#### O DESAFIO DE SER FORNECEDOR DE SI MESMO

Após tentativas de se elaborar especificações para aquisição do SMA junto ao mercado, concluiu-se que a integração entre os sistemas atuais e os sistemas legados, muitos deles da década de 1970, possuía alta complexidade e que as soluções oferecidas não atenderiam de forma adequada.

A opção foi inovar através da capacitação de seus colaboradores e o desenvolvimento interno de um sistema que abranges-

se toda a linha de ativos operacionais, com foco em baixo custo de implantação. Inicialmente, foram realizadas entregas parciais de pequenos projetos que funcionaram como prova de conceito e já trouxeram valor para o processo de manutenção, percepção essa que se converteu em subsídio para a continuidade do desenvolvimento.

Desta forma, diferentemente de uma contratação convencional, o SMA teve seu desenvolvimento integralmente dentro da própria Gerência de Manutenção do Metrô-SP, desde a sua concepção, projeto, prototipagem, teste de sensores, rede de coleta, circuitos do MDL, servidores etc., ou seja, um sistema, ou melhor, uma ferramenta projetada e implantada pela Manutenção e para a Manutenção.

Atualmente o SMA está na fase de instalação da infraestrutura de alimentação elétrica e de dados, junto a um parceiro externo nas linhas 1-Azul, 2-Verde e 3-Vermelha, necessários para se alcançar todos os ativos a serem monitorados nas estações, vias, subestações, túneis etc.

Desta forma, ao final de sua total implantação, ele se tornará mais um sistema, cuja manutenção estará sob responsabilidade da Gerência de Manutenção. O desafio da equipe, formada por técnicos e engenheiros de manutenção, que antes não possuíam o desenvolvimento como atividade principal, é fornecer os recursos que são normalmente exigidos de terceiros como documentação técnica, sobressalentes, treinamento e softwares.



Figura 4 - Foto do CCM no Pátio Jabaquara

**O BIGDATA DA MANUTENÇÃO**

No seu parque industrial, quais informações você tem armazenadas sobre o seu ativo? Seriam dados puramente administrativos como registros de ordens de serviço de manutenção preventiva e corretiva? Há registro do comportamento técnico e operacional diário guardado em alguma pasta de Excel num notebook da manutenção? Você já ouviu o seu equipamento operacional hoje?

Pois bem, o foco do SMA não são informações administrativas, como uso de mão de obra e consumo de insumos, mas dados técnicos viscerais do comportamento efetivo dos equipamentos e sistemas como, por exemplo, tempo de operação da máquina, vibração em motores (balanceamento e falhas em rolamentos), comportamento da pressão em máquinas de chave hidráulicas, consumo de energia, tensão, corrente etc., considerando o contexto operacional em que o ativo está inserido.

A frase criada por Clive Humby, um matemático londrino especializado em ciência de dados, "Dados são o novo petróleo", também se aplica ao mundo da manutenção. Mergulhando no mundo dos dados e voltando a citar Humby, de nada valem esses dados se não for possível extrair valor deles. Aqui a equipe de manutenção se depara com mais um novo desafio: Aprender Ciência de Dados.

A definição do efeito físico a ser monitorado, a escolha do sensor, a instalação no ativo, o cálculo da taxa de amostragem, o tratamento pelo MDL, a etiquetagem, o envio pela rede, a coleta pela PMA e, finalmente, a sinalização no CCM são de pleno domínio da Manutenção do Metrô-SP. Este fato traz grandes vantagens como, por exemplo, a formatação dos dados já adaptada ao sistema do início ao fim. O que não ocorre, por exemplo, numa análise de sentimentos em rede social, com relação a uma determinada entidade, utilizando processamento de linguagem natural (*Natural Language Processing - NLP*) onde os dados precisam ser, em muitas situações, arduamente tratados.

Ao unificar o monitoramento dos macrosistemas e todos os seus dados como, por exemplo, posição do trem ao longo da linha, a potência consumida pelo trem e a potência fornecida pelo sistema de tração elétrica forma-se um gigantesco banco de dados com informações riquíssimas de onde é possível, mediante aplicação de ferramentas de inteligência artificial, encontrar

correlações e *insights* que permitirão a evolução para a manutenção preditiva.

Os dois parques computacionais da PMA, o de coleta e o de IA, proporcionarão um *pipeline* de dados e de processamento inteligente, não só de um equipamento ou sistema em específico, mas também suas interações.

O trabalho conjunto da inteligência artificial com a inteligência humana é fundamental para impulsionar avanços significativos, potencializar a criatividade, resolver problemas complexos e promover a melhoria da eficiência operacional. Essa colaboração permite explorar o melhor de ambas as capacidades, criando um ambiente em que as máquinas complementam e aprimoram as habilidades humanas, resultando em soluções mais robustas e inovadoras para manutenção.

**CINCO PEDIDOS DE PATENTE EM QUATRO ANOS**

A inovação trazida pelo advento do SMA incentivou o Metrô-SP, entre 2020 e 2023, a requerer a patente. Desta forma, foram registrados junto ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial – INPI, os pedidos de patente do SMA e do MDL. A disponibilização desses recursos fomentou atividades de inovação em outros setores da Gerência de Manutenção do Metrô-SP, que vislumbra possibilidades e desenvolveram seus respectivos métodos. Coube à área responsável pelo monitoramento de ativos operacionais fornecer os subsídios necessários para a implementação e integração ao SMA. Destes métodos, as áreas da Manutenção identificaram três que também obtiveram pedidos de patente, são eles:

**Sistema de monitoramento de porta de plataforma:** As portas de plataforma, embora sejam essenciais à operação, demandam um custo elevado de manutenção. Por exemplo, as ações de manutenção preventiva só podem ser executadas à noite. Ao monitorar a corrente do motor de cada porta, é possível identificar entre todos eles os que apresentam desajustes mecânicos, permitindo uma atuação pontual e assertiva.

**Sistema de detecção de queima de fusível de sapata:** O "pontamento" da alimentação elétrica por dentro do trem é refletido nas sapatas coletoras de energia que não estão em contato com o tramo do terceiro trilho energizado. Esta tensão é medida através de um "tramo falso", ou seja, ele não fornece alimentação, mas a recebe. Através de um conversor de tensão, ela é enviada a um MDL que a trata e a transmite. O objetivo inicial era de detectar apenas a

integridade do fusível da sapata coletora, mas percebeu-se que é possível detectar também sapata gasta (tensão baixa), e a mola da sapata desgastada (oscilação na medição), entre outras falhas.

**Deteção acústica de falhas no monotrilho:** Dois trens do monotrilho estão equipados com um MDL, um microfone e uma antena leitora de *Radio Frequency Identification - RFID*. Na viga do monotrilho, próximo às áreas de interesse, está instalado um *tag* de RFID. O MDL, ao ler um *tag*, inicia a gravação do som através do microfone, faz o processamento, analisa e informa pela rede do trem se encontrou um padrão sonoro que indique uma falha, como placas metálicas ou parafuso soltos. 

**\* André Luiz Simonagio Grana, MBA em IoT (Internet of Things) pelo PECE – Poli/USP. Formado em Engenharia Elétrica com Ênfase em Eletrônica pela EESC/USP e Ênfase em Informática pelo ICMC/USP. Técnico em Informática pelo CTI/Unesp. Engenheiro Especializado na Coordenadoria de Manutenção do Monitoramento Operacional na Gerência de Manutenção do Metrô-SP. E-mail: andre.grana@metrosp.com.br**

**\*\* Alexandre de Maio Parpinelli, Pós-graduado Big Data e Machine Learning (UNIFASAM), Engenheiro Eletricista - Modalidade Eletrônica (Mackenzie), Tecnólogo em Eletricidade (Mackenzie) e Técnico em Eletrônica (Liceu de Artes e Ofícios). Supervisor III na Coordenadoria de Manutenção do Monitoramento Operacional na Gerência de Manutenção do Metrô-SP. E-mail: aparpinelli@metrosp.com.br**

**\*\*\* Carlos Alfredo Santos, Pós-graduando em Gestão de Marketing e Estratégias Inovadoras de Mercado (FDC), pós-graduado em Gestão de Negócios (FDC), Big Data e Machine Learning (UNIFASAM), e Gestão e Tecnologias da Segurança da Informação (FEI). Graduado em Engenharia Elétrica (Estácio SP), e Técnico em Eletrônica (ETEC Guaracy Silveira). Coordenador de Manutenção do Monitoramento Operacional na Gerência de Manutenção do Metrô-SP. E-mail: calfredo.santos@metrosp.com.br**

**\*\*\*\* Gilson Cappellano, Bacharel em Ciências da Computação (PUC SP) e Técnico em Eletrônica (ETEC Lauro Gomes). Assessor Técnico III na Gerência de Manutenção do Metrô-SP. E-mail: gilsoncappellano@metrosp.com.br**

**\*\*\*\*\* Renato Franzon Soares, Pós-graduação em Tecnologia Metroferroviária (USP), Laboratório de Arquitetura e Redes de Computadores (LARC/USP) e Engenheiro Eletricista (São Judas). Assessor Técnico I (E) na Gerência de Manutenção do Metrô-SP. E-mail: rfsouares@metrosp.com.br**



Estação Sé do Metrô de São Paulo, intersecção das linhas 1-Azul e 3-Vermelha

# Metrô de São Paulo: a evolução da demanda de passageiros nos 50 anos de sua história

ANA REGINA HUM TCHEMRA\* / ELAINE DORO LABATE\*\* / MARCELO AUGUSTO MARQUES DOS SANTOS\*\*\*

**INTRODUÇÃO**

A história do Metrô de São Paulo, que mudaria para sempre os hábitos da população e os rumos da mobilidade urbana na cidade começa no dia 14 de setembro de 1974, com o início da operação comercial da Linha Norte-Sul



Foto de 1974: Viagem inaugural do Metrô de São Paulo

(atual Linha 1-Azul) no trecho entre as estações Jabaquara e Vila Mariana.

O Metrô de São Paulo foi o primeiro metrô a operar no país e desde sua inauguração cresceu e se consolidou como o meio de transporte mais rápido e seguro para deslocamentos na cidade. Exerce importante função estruturadora nos transportes públicos da região metropolitana e, embora fique dentro dos limites do Município de São Paulo, a integração com outros modos de transporte estende sua influência a outras cidades da região.

Atualmente a cidade de São Paulo conta com uma rede metroviária composta por seis linhas, 104,2 km de extensão e 91 estações, que efetuam integração com diversos modos de transporte (trem metropolitano, ônibus urbano, ônibus intermunicipal, ônibus interestadual, automóveis e bicicletas).

O Metrô de São Paulo é responsável pela operação de quatro linhas: 1-Azul, 2-Verde, 3-Vermelha e o monotrilho da

15-Prata. No total são 63 estações distribuídas em 71,4km de extensão (*figura 1*).

As outras duas linhas de metrô são operadas em regime de concessão pela Via Quatro (Linha 4-Amarela) e Via Mobilidade (Linha 5-Lilás). Juntas acrescentam 28 estações e 32,8km de extensão à rede metroviária da cidade.

## A EVOLUÇÃO DA DEMANDA DE PASSAGEIROS NOS 50 ANOS DO METRÔ DE SÃO PAULO

**1974 - 1984**

A primeira década foi marcada pela novidade. Em 1974, no dia 14 de setembro, foi inaugurado o primeiro trecho da Linha 1-Azul do Metrô de São Paulo, com 6,4km de extensão e 7 estações. Os passageiros ainda eram poucos, a maioria curiosa por conhecer o transporte de alta tecnologia que acabara de ser entregue à população. Segundo os jornais da época, o Metrô era comparado a um "Cometa" (*figura 2*).



Figura 1 - Rede do Metrô de São Paulo

Um ano depois, em 1975, o metrô já operava de Jabaquara a Santana, ligando o norte ao sul da cidade. Ainda neste ano teve início a integração com os ônibus municipais, trazendo mais passageiros para o sistema.

O primeiro trecho da Linha 3-Vermelha (Sé-Brás), que ligaria o leste ao oeste da cidade, foi inaugurado em 1979, possibilitando a transferência entre as duas linhas de metrô na Estação Sé. Nos anos seguintes a linha cresceu e, em 1983, operava o trecho de Tatuapé a Santa Cecília.

Ao final dessa década, a rede metroviária em operação possuía 24,7km de extensão e 28 estações. A demanda média nos dias úteis passou de 3.000 passageiros em 1974 para 1,33 milhão em 1984.

### 1985 - 1994

Ainda nos anos 1980, foram inauguradas 9 estações na Linha 3-Vermelha, que passou a operar de Corinthians-Itaquera a Palmeiras-Barra Funda, configuração que se mantém até hoje.

Em 1991, foi inaugurada a Linha 2-Verde, operando comercialmente o trecho de Paraíso a Consolação. Um ano depois foram inauguradas mais 2 estações: Ana Rosa e Clínicas.

O período de 1990 a 1994 foi marcado pela redução da atividade econômica

devido ao processo recessivo decorrente do Plano Collor. Em julho de 1994 foi implantado o Plano Real, porém os reflexos só puderam ser sentidos no ano seguinte.

Ao final da segunda década, a rede metroviária em operação atingia 43,4km de extensão e 41 estações. A demanda média de passageiros transportados nos dias úteis apresentou um crescimento de 62% passando de 1,33 milhão em 1984 para 2,15 milhões em 1994.

### 1995 - 2004

A terceira década de operação do metrô foi a que apresentou o menor índice de crescimento da demanda, devido à crise econômica.

Neste período a Linha 2-Verde recebeu mais 2 estações e passou a operar o trecho de Vila Madalena a Ana Rosa. A Linha 1-Azul expandiu para o norte com a inauguração de mais 3 estações, passando a operar de Jabaquara a Tucuruvi. Em 2002 foi inaugurado o primeiro trecho da Linha 5-Lilás, operando de Capão Redondo a Largo Treze, com 6 estações e 8,4km de extensão.

Ainda nesta década teve início a transferência livre entre o metrô e o trem metropolitano, beneficiando muitos passageiros e trazendo uma demanda adicional ao sistema metroviário.

Em 1995 a demanda esboçou uma retomada no crescimento devido ao aquecimento da economia decorrente da implantação do Plano Real em Julho de 1994. No entanto, as várias crises econômicas que ocorreram no mundo nos anos seguintes (México em 1996, Ásia em 1997, Rússia em 1998, Brasil em 1999 e tensão gerada pela guerra entre os Estados Unidos da América e o Iraque em 2003), tiveram forte papel recessivo sobre a demanda de passageiros.

No final dessa década, em 2004, mesmo com a ampliação da rede para 57,6km de extensão e 52 estações, a demanda média dos dias úteis cresceu apenas 11%, passando de 2,15 milhões passageiros transportados em 1994 para 2,39 milhões em 2004.



Figura 2 - Jornal Última Hora em 15 de setembro de 1974

### 2005 - 2014

Foi nessa década que ocorreram os principais fatos que impactaram de forma decisiva a demanda do Metrô, fazendo com que ela atingisse as maiores marcas de sua história.

Logo no início do período, a integração do metrô com os ônibus intermunicipais foi ampliada para as estações Campo Limpo e Capão Redondo da Linha 5-Lilás, realizada em terminais fechados sem a utilização de bilhete, facilitando o acesso de passageiros de diversos municípios, como Embu das Artes e Taboão da Serra, ao sistema sobre trilhos.

No entanto, foi a partir de 2006 que a demanda apresentou um aumento significativo. O principal responsável por esse crescimento foi o início da aceitação do Bilhete Único nas viagens de metrô.

A medida, que teve início no dia 30 de dezembro de 2005 no metrô e no trem metropolitano, foi resultado de uma parceria entre o Governo do Estado de São Paulo e a Prefeitura do Município de São Paulo, com o objetivo de integrar os serviços de transporte coletivo da região metropolitana com benefício tarifário aos passageiros.

A expansão da Linha 2-Verde também contribuiu para o crescimento da demanda. No período de 2006 a 2011 foram inauguradas 6 novas estações: Chácara Klabin, Santos-Imigrantes, Alto do Ipiranga, Sacomã, Tamanduateí e Vila Prudente e disponibilizado aos passageiros mais um ponto de transferência livre entre o metrô e o trem metropolitano na Estação Tamanduateí, proporcionando maior integração entre a capital e as cidades da Região Metropolitana de São Paulo.

Nessa década ainda, em 2010, foi inaugurada a Linha 4-Amarela, a primeira linha de metrô da cidade a ser operada em regime de concessão, ligando os bairros do Butantã à Luz na região central da cidade. Com a inauguração das novas estações foram criados mais pontos de integração entre linhas metroferroviárias, possibilitando outras opções de trajeto que, além de trazer novos passageiros de regiões que antes não eram atendidas pela rede metroferroviária, permitiu uma redistribuição das viagens de passageiros antigos. A nova linha possibilitou também aos passageiros da Linha 5-Lilás, a integração com as demais linhas de metrô utilizando a Linha 9-Esmeralda

da CPTM - Companhia Paulista de Trens Metropolitanos, como ponte de ligação entre elas.

Em dezembro de 2011, a Estação Palmeiras-Barra Funda do Metrô começou a aceitar o Bilhete Ônibus Metropolitano - BOM, cartão utilizado nas linhas intermunicipais da Região Metropolitana de São Paulo, sob gestão da EMTU - Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos de São Paulo. A ampliação da aceitação do BOM para as demais estações do Metrô de São Paulo teve início em dezembro de 2012 e ocorreu de forma gradativa, sendo concluída em abril de 2014.

Outro fator importante para o aumento da demanda do metrô foi o aquecimento da atividade econômica verificado a partir do segundo semestre de 2007, que levou à criação de novos empregos na cidade, aumentando assim a utilização do transporte público. Apesar de a crise econômica mundial, iniciada nos Estados Unidos da América em outubro de 2008, ter afetado vários setores da economia no país, a demanda manteve a tendência de crescimento.

No ano de 2014, o Metrô de São Paulo transportou um total de 1,11 bilhão de passageiros no ano, e se manteve na posição de ser o sistema metroviário mais carregado do mundo quando se relaciona a demanda de passageiros com a extensão da rede.

Ao final dessa década, a rede metroviária administrada pelo Metrô de São Paulo atingiu 66,2km de extensão e 59 estações. Ao compararmos a demanda média nos dias úteis de 2014 (3,81 milhões) com o ano de 2004 (2,39 milhões), verificamos um crescimento de 60%, ou

seja, mais de 1,4 milhão de novos passageiros por dia.

### 2015 - 2024

Logo no início da década, em 2015, foi inaugurada a Linha 15-Prata, o primeiro sistema de monotrilho da cidade, operando entre as estações Vila Prudente e Oratório. Nos anos seguintes a linha cresceu, foram inauguradas 9 estações e o monotrilho chegou em 2024 com 11 estações em operação comercial e transportando cerca de 135.000 passageiros por dia útil.

Outro fato importante que impactou a demanda de passageiros do Metrô de São Paulo foi a concessão da operação da Linha 5-Lilás para a Via Mobilidade, ocorrida em agosto de 2018.

No entanto, foi em 2020, após a OMS - Organização Mundial da Saúde, decretar a pandemia do Novo Coronavírus no dia 11/03, que a demanda do Metrô de São Paulo registrou a maior queda de sua história. A quantidade de passageiros transportados passou de 3,9 milhões no dia 11/03 para 646.000 no dia 26/03/20, uma queda de 83% em apenas 15 dias.

Atualmente a demanda média nos dias úteis é de 3 milhões de passageiros, cerca de 80% da demanda de 2019, ano anterior à pandemia.

No final dessa década, mesmo com a ampliação da rede para 71,4km de extensão e 63 estações, a demanda média dos dias úteis registrou uma queda de 24%, passando de 3,81 milhões passageiros transportados em 2014 para 2,90 milhões em 2024.

O gráfico da figura 3 resume o crescimento da demanda de passageiros e

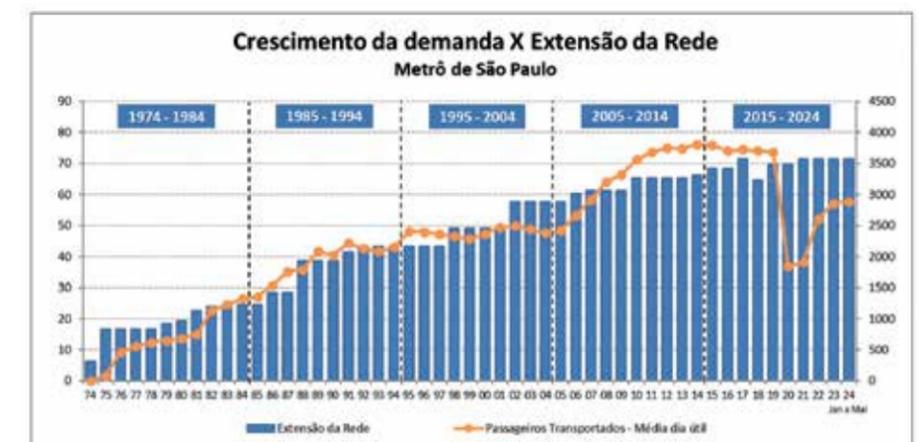


Figura 3 - Crescimento da demanda x extensão da rede



Figura 4 - Evolução dos passageiros transportados na rede

a extensão da rede operada pelo Metrô de São Paulo nos últimos 50 anos.

### PANDEMIA DE COVID-19 – REFLEXOS NA DEMANDA DE PASSAGEIROS NO METRÔ DE SÃO PAULO E NOS METRÔS DO MUNDO

A decretação da pandemia de Covid-19 em março de 2020 impactou drasticamente a demanda de passageiros dos sistemas de transporte públicos a nível mundial.

O Metrô de São Paulo registrou a maior queda na demanda de sua história devido às ações restritivas adotadas pelo Governo com o objetivo de conter o aumento da doença. Com o avanço da vacinação na cidade e consequente redução do número de novos casos e mortes por Covid-19, as restrições começaram a ser retiradas e a recuperação da demanda ocorreu de forma gradual. Ao longo dos anos de 2020, 2021 e 2022 observamos uma tendência de recuperação crescente, porém, a partir de 2023, houve uma redução no ritmo de crescimento com

tendência à estabilização em patamar inferior ao período pré-pandemia.

O gráfico da figura 4 mostra a demanda de passageiros transportados em todos os dias úteis de Janeiro de 2020 a Maio de 2024 e os principais fatos que influenciaram seu comportamento.

Comportamento semelhante foi observado na demanda dos sistemas de metrô do mundo.

Estudos realizados pelo COMET (grupo de benchmarking, que reúne 45 metrô do mundo) apontam que o impacto causado pela pandemia de Covid-19 provocou uma queda média de 84% na demanda dos sistemas. O Metrô de São Paulo ficou próximo à média dos demais sistemas, com queda de 81%. Alguns metrô paralisaram sua operação por um período com redução de 100% da demanda.

Segundo análise elaborada pelo Imperial College de Londres, decorridos quatro anos do início da pandemia, a demanda de passageiros no transporte metroviário mundial mostrou uma forte

recuperação no período de 2020 a 2022. Os dados a partir de 2023 sinalizam que a demanda está se estabilizando. O gráfico da figura 5 apresenta a evolução percentual da demanda em relação a 2019 (pré-pandemia) dos metrô que fazem parte do COMET agrupados por continente.

Mesmo com a decretação do fim da pandemia de Covid-19, em 5 de maio de 2023, a demanda de passageiros continuou apresentando tendência de estabilização. Isso pode ser atribuído à mudança no comportamento da população após a pandemia, como a manutenção do teletrabalho/home office, a consolidação das compras on-line, o Ensino à Distância (EAD) nos cursos de ensino superior e a migração dos meios de transportes públicos para o transporte por aplicativos e particular (carros e motos).

A tendência de estabilização da demanda de passageiros é um comportamento mundial e aponta para um novo patamar nos próximos anos.

A pergunta que fazemos é: “Será que atingimos nosso novo normal?”. 🔄

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] **AEAMESP** - (2020) – “Impacto da Pandemia do COVID-19 na Demanda de Passageiros do Metrô de São Paulo e Metrô do Mundo - 26ª Semana de Tecnologia Metroferroviária.

[2] **COMET/TSC** - (2023) – “Transport Strategy Centre at Imperial College of London (UK) Synthesis of Forum Responses on Coronavirus”.

[3] **METRÔ DE SÃO PAULO** - (2024) – “Comportamento da Demanda de Passageiros – Metrô de São Paulo e Metrô do Mundo – Balanço 2023.

\* **Ana Regina Hum Tchemra** é Administradora e Analista de Desenvolvimento e Gestão II da Coordenadoria de Estudos Estatísticos e Informações Estratégicas do Metrô-SP  
E-mail: ana.regina@metrosp.com.br

\*\* **Elaine Doro Labate** é Bioquímica e Coordenadora de Estudos Estatísticos e Informações Estratégicas do Metrô-SP  
E-mail: elabate@metrosp.com.br

\*\*\* **Marcelo Augusto Marques dos Santos** é Economista e Analista de Processos Operacionais II da Coordenadoria de Estudos Estatísticos e Informações Estratégicas do Metrô-SP  
E-mail: marcelo.santos@metrosp.com.br



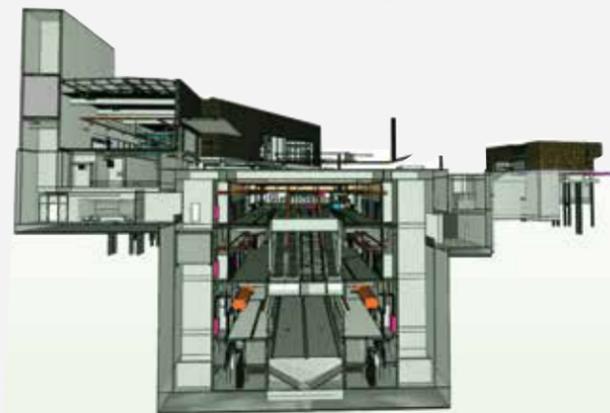
Figura 5 - Evolução percentual da demanda em relação a 2019



Futura Estação Vila Maria

### Características do Projeto da Linha 19 - Celeste

19,4km de extensão com 15 estações, 18 VSE's (Poços de Ventilação e Saídas de Emergência), 1 Pátio de Manobras, 1 Estacionamento, 2 Subestações, 17,6km de Túnel Shield (TBM) e Ampliação de estações existentes com as devidas integrações.



## LINHA 19-CELESTE

Trecho Bosque Maia (Guarulhos)/  
Anhangabaú (São Paulo)

## PIONEIRISMO NO DESENVOLVIMENTO DE PROJETO EM BIM

O projeto, elaborado pelo Consórcio MNEPIE e liderado pela Maubertec Tecnologia, se destaca pelo pioneirismo na utilização da modelagem em 3D, de toda a linha, utilizando a tecnologia avançada do **BIM (Building Information Modeling)**, promovendo o desenvolvimento integrado e parametrizado entre modelos tridimensionais de mais de 20 classes de projeto nas especialidades: civil, arquitetura e sistemas.

A inovação promoveu não apenas a integração técnica entre produtos, mas também a gestão integrada entre cliente e projetista, destacando-se a prática denominada “Big Room” para a aprovação dos projetos, através da junção de todas as equipes técnicas em um mesmo ambiente físico para uma análise final do projeto.

A **Maubertec** participa, desde a década de 70, do desenvolvimento da malha metroviária de São Paulo através da elaboração de projetos civis e gerenciamento de obras e de manutenção civil, tais como a obra do túnel em “Cut and Cover” da pioneira Linha 3-Vermelha, a Estação Ana Rosa da Linha 2-Verde e a premiada estação Alto do Ipiranga.

www.maubertec.com.br

Tel. 55 11 3352-9090  
maubertec@maubertec.com.br

**maubertec**  
TECNOLOGIA

PROJETO - GERENCIAMENTO - SUPERVISÃO



# A modelagem geológica tridimensional integrada ao processo BIM no projeto básico da Linha 19-Celeste do Metrô de São Paulo

MARCELO DENSER MONTEIRO\* / HUGO CÁSSIO ROCHA\*\* / BARBARA GREICY A. P. DA CUNHA\*\*\* / GUILHERME BRAIDATO ROBBE\*\*\*\* / AUDREY G. M. DE ALMEIDA\*\*\*\*\* / ANTONIO IVO DE B. MAINARDI NETO\*\*\*\*\*

## INTRODUÇÃO

Nos últimos anos o BIM vem se incorporando na construção civil e na engenharia de estruturas. O decreto presidencial nº 9.377, de 17 de maio de 2018, estimula o uso em todas as entidades públicas e regulamenta os padrões e as estruturas de dados, o que deve impulsionar a utilização e propiciar ganhos de eficiência, trazendo desafios para as empresas envolvidas (DE MIO, 2018).

A implantação dos dados de investigações geológico-geotécnicas em BIM, permite que os dados possam ser gerenciados digitalmente, evitando retrabalho com transcrições e minimizando erros a partir da composição de bancos de dados e

automação das empresas envolvidas. Importantes referências como De Mio et al. (2020) apresentam rotinas para que se alcance uma linguagem única digital informatizada.

O artigo apresenta a evolução no Metrô de São Paulo na integração da modelagem geológica tridimensional ao processo BIM, passando desde a obtenção dos dados de investigação em formato digital até as rotinas de modelagem.

## A IMPLANTAÇÃO DOS DADOS GEOTÉCNICOS DIGITAIS NO METRÔ

A geologia é uma ciência intrinsecamente tridimensional, mas o retrato e a comunicação dos resultados dos geólogos foram dificultados por mais de um século e meio pela na-

tureza bidimensional da mídia, como papel e sistemas GIS posteriores.

Uma boa indicação da demanda da 3ª dimensão real tem sido o crescimento exponencial de comissões de agências governamentais e parceiros industriais para modelos, para fornecer soluções reais para problemas da vida real.

O que testemunhamos nos últimos anos no BGS (*British Geological Survey*), apenas o início de uma mudança de paradigma na forma como as ciências geológicas são comunicadas a toda a população: o velho ditado que uma imagem pinta mil palavras vem à mente! Historicamente os produtos de representação gráfica das campanhas de investigações geológico-geotécnicas na engenharia brasileira são representações bidimensionais, conhecidas como seções geológicas ou seções geológico-geotécnicas. Nessas representações é atribuído um alinhamento, que será tido como referência a partir do qual os dados disponíveis estarão relacionados. Nos projetos do Metrô esse alinhamento referencial é a via 1.

De acordo com o manual de elaboração e fornecimento de documentação técnica do Metrô-SP, MAN-10-201 (CMSP, 2019), as seções geológico-geotécnicas devem apresentar a estratigrafia (disposição das camadas geológicas e geotécnicas), que interage com as estruturas de projeto, sejam enterradas ou elevadas, acompanhadas de suas características geotécnicas. Deve apresentar as características hidrogeológicas, os logs de sondagens com valores

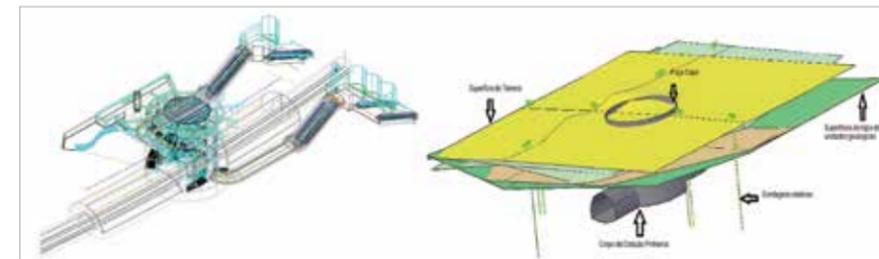


Figura 2 - Representações 3D da estrutura e da estratigrafia da Estação Pinheiro em seu projeto básico

de NSPT, além de eventuais dados de sondagens rotativas e classificação geomecânica de maciço rochosos (figura 1).

Apesar de amplamente difundida e de larga utilização na compreensão do contexto geológico local, as seções bidimensionais podem possuir nelas embutidas simplificações e vies interpretativo natural por meio da projeção de pontos de informação (sondagens, piezômetros, pontos de coletas e ensaios), que não se encontram próximos ao alinhamento referencial. A solução tradicionalmente adotada é a elaboração de seções bidimensionais paralelas e transversais, bem como a correção das posições de topo e base de camadas e níveis d'água (NA), considerando a distância desses pontos em relação ao alinhamento. A integração de todos esses procedimentos é o necessário para o adequado aproveitamento das informações em ambiente bidimensional.

Nos anos 1990 houve nos projetos do Metrô algumas iniciativas de representação tridimensional da estratigrafia associada às estruturas a serem construídas utilizando o AUTOCAD 3D, principalmente visando a modelagem numérica 3D pelo MEF (método dos elementos finitos). A figura 2 mostra a representação 3D da então futura Estação Pinheiros da Linha 4-Amarela.

Mais recentemente, no projeto básico da futura Estação Ponte Grande da Linha 2-Verde, elaborado pioneiramente no Metrô em BIM (figura 3).

Para a viabilização da implantação da modelagem tridimensional no âmbito do projeto básico, a primeira necessidade a ser atendida é a obtenção dos dados de investigações geológico-geotécnicas em formato digital estruturado. Para tanto, o Metrô passou a requisitar aos seus fornecedores

a entrega dos dados de sondagens e piezômetros em formatos específicos, por meio de exigências em especificações técnicas e cláusulas contratuais em processos licitatórios.

No âmbito dos documentos contratuais de caráter normativo, a especificação de sondagens do Metrô (ET-9.00.00.00/3W9-001, CMSP 2018), faz a primeira menção à entrega dos dados básicos em formato digital estruturado, conforme o tópico 5 – Documentos a serem fornecidos para o Metrô de São Paulo:

- Boletins de campo originais das sondagens;
- Perfil individual de sondagem (PIS), contendo período de execução dos serviços. Endereço e croqui de localização, coordenadas e cota, classificação tátil-visual e das amostras de sondagem rotativa, ensaios e gráfico SPT e posição dos níveis d'água;
- Dados em formato digital das sondagens, tais como descrição litológica e da estratigrafia (com cotas de topo e base de cada camada), nível d'água, valores de NSPT, RQD, % de recuperação, grau de alteração, grau de coerência, grau de fraturamento e descrição das descontinuidades em formatos XLS, CSV e/ou AGS (AGS format - Association of Geotechnical and Geoenvironmental Specialist), conforme solicitado pelo Metrô.

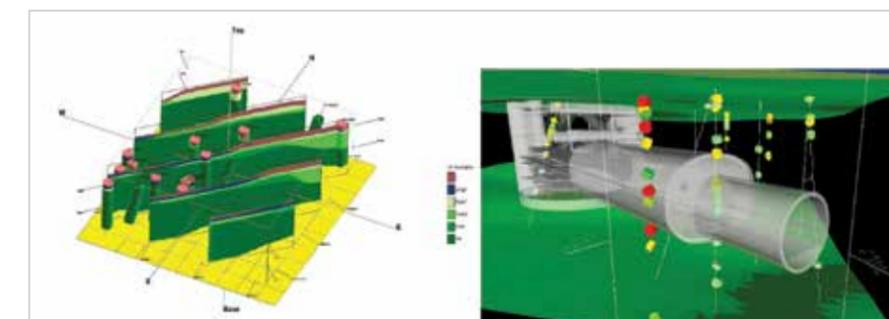


Figura 3 - Representação 3D da futura estação Ponte Grande da Linha 2-Verde

Segundo AGS Brasil (2019), o padrão AGS tem sido internacionalmente aceito na engenharia civil para a transferência e armazenamento eletrônico de dados de maneira apropriada. Anteriormente havia uma proliferação de sistemas, softwares e padrões de dados, que se diferenciavam tanto na forma como na proposta, mesmo que muito do seu conteúdo fosse comum. A AGS criou um grupo de trabalho com, o objetivo de estabelecer um padrão de intercâmbio que permitisse a transferência de dados entre sistemas com o mínimo de alterações. Entretanto, ainda resta muito a ser feito no sentido de estimular o uso de dados em padrão eletrônico.

Considerando a aplicação aos calendários e cronogramas da Linha 19-Celeste, a equipe técnica do Metrô realizou pesquisas e consultas no mercado junto a profissionais que atuam em empresas projetistas e fornecedoras de sondagens e ensaios geotécnicos sobre as rotinas de digitalização de dados e formatos digitais utilizados. A consulta evidenciou que, mesmo com todo o trabalho de divulgação e conscientização, realizados por entidades e grupos de trabalhos técnicos, o padrão AGS ainda carece de maior divulgação e amadurecimento junto à área técnica. O levantamento realizado no mercado atual, também relatou limitação de variedade e acesso ao uso de softwares para gerenciamento digital dos dados de investigações.

Diante do cenário identificado o Metrô estabeleceu para o projeto da Linha 19-Celeste uma opção de amadurecimento por meio da estruturação de banco de dados em formato CSV, que possui aceitação em

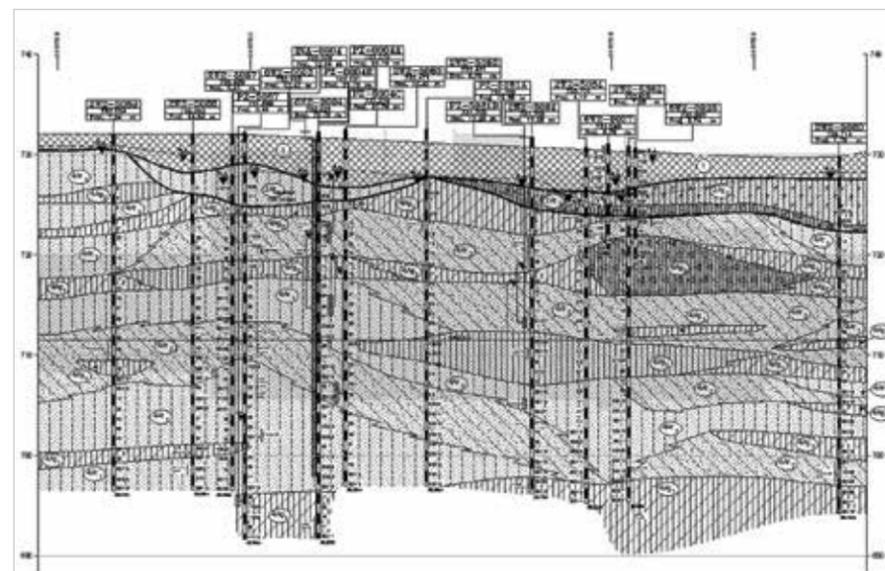


Figura 1 - Seção geológico-geotécnica elaborada a partir do tratamento dos dados de sondagens, piezômetros e ensaios (Fonte: Arquivo técnico do Metrô-SP)



programas de modelagem, e cuja linguagem se mostra acessível a grande parte dos fornecedores e projetistas.

Trata-se de um trabalho de sensibilização. Por meio da necessidade prática demonstra-se a importância de plena inserção dos dados digitais, preferencialmente em formato único - AGS, para subsídio à modelagem tridimensional. A expectativa de resposta do mercado é que, por ocasião de projetos futuros, o padrão AGS esteja com maior assimilação junto ao meio técnico brasileiro.

Rotinas com os dados digitais estruturados:

- Os dados provenientes das executoras de sondagens e ensaios foram armazenados em repositório virtual de documentos do Metrô (GED), vinculado aos arquivos dos perfis de sondagem, acessível a todos os colaboradores autorizados.

- A área técnica do Metrô analisa e aprova o material entregue pelas fornecedoras de sondagens e ensaios.

- Os dados digitais são utilizados em estudos e projetos internos do Metrô e modelos de composição são fornecidos às projetistas, por ocasião da abertura do projeto básico da Linha 19-Celeste para direcionar a estruturação do banco de dados.

- As projetistas executam o tratamento dos dados, elaboraram os modelos geológico-geotécnico, tridimensionais, que são analisados, comentados e aprovados pela equipe técnica do Metrô.

### MODELOS GEOLÓGICOS TRIDIMENSIONAIS EM BIM

Os dados das sondagens e piezômetros executados foram tratados no âmbito do BIM Geotécnico, por meio da digitalização dos dados e modelagem tridimensional dos estratos geológicos.

A equipe do consórcio projetista da Linha 19-Celeste implementou o gerenciamento do banco de dados, por meio do *software Hole Base* em interface com a plataforma Autodesk Civil 3D com a construção dos logs (Perfis individuais), de sondagens em visualização tridimensional. Aos logs foram relacionados atributos associados à caracterização geológica, índice NSPT e níveis de água subterrânea, conforme demandado pela equipe técnica do Metrô.

A técnica de modelagem geológica tridimensional escolhida foi a modelagem explícita. Segundo Carboni (2022) essa modelagem é realizada a partir da interpretação de variáveis geológicas oriundas de seções transversais e mapas. A interpretação é realizada pelo modelador, que aplica seu conhecimento, em conjuntos de dados e informações obtidos e o estende para um corpo tridimensional, utilizando algoritmos de triangulação.

Os resultados dos trabalhos de modelagem foram obtidos sob a forma de sólidos, com padrões de cores e hachuras inseridos no modelo BIM, que assim puderam ser federados, com as demais discipli-

nas para incorporação e visualização.

Para a composição do banco de dados, as informações apresentadas no PIS (perfil individual de sondagem), foram sistematizadas sob a forma de tabelas de dados com as seguintes informações:

**Localização:** indicação de dados do levantamento planialtimétrico em sistema topográfico local, profundidade atingida pelas sondagens, inclinação e direção.

**Intervalo:** compreende dados do trecho investigado em que foram realizados ensaios SPT, com a profundidade e NSPT obtido em cada metro.

**Estratigrafia:** compreende a delimitação em profundidades da unidade estratigráfica observada: materiais de aterro (tecnogênicos), unidades aluvionares (quaternário), sedimentos da bacia de São Paulo (incluem a Formação São Paulo e a Formação Resende), e solos residuais e rochas do embasamento pré-cambriano.

**Litologia:** a descrição geológica dos materiais observados nas sondagens de acordo com a sua granulometria principal (litologia 1) e secundária (litologia 2). Exemplos: argila siltosa, argila - litologia 1 e silte - litologia 2 categorizada no banco de dados como *arg\_sil*. Areia média argilosa, areia média - litologia 1 e argilosa - litologia 2 categorizada no banco de dados como *are\_arg*.

A construção dos modelos tri-

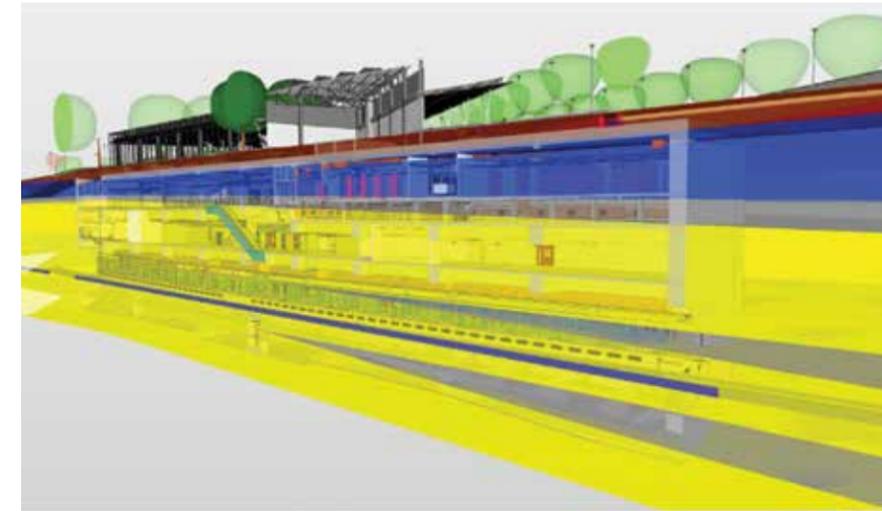


Figura 5 - Estação Catumbi - Vala a céu aberto. Observar espessura do solo aluvionar (cor azul)

dimensionais em ambiente computacional para a Linha 19-Celeste, evidentemente, exigiu uma série de cuidados a serem tomados. Há softwares de modelagem com diferentes níveis de acessibilidade e com variadas ferramentas de interpolação; alguns com elevado grau de autonomia por meio de algoritmos calibrados para variedades específicas de contextos geológicos e outros de simples projeção e interpolação direta ("liga pontos"). Na prática, "computador aceita tudo", portanto, foi imperativo que a modelagem realizada contasse com a participação de profissionais do consórcio projetista e do Metrô, com experiência em modelagem geológica, conceitos de estratigrafia e conhecimentos da geologia regional e local do empreendimento. Isso é fundamental para que as saídas da modelagem sejam calibradas e corrigidas para que reportem cenários plausíveis.

Os modelos BIM elaborados pelo consórcio projetista eram apresentados e discutidos em reuniões técnicas da disciplina de geotecnia e disponibilizados em repositório virtual para análise técnica e comentários.

São apresentados nas figuras 5, 6, 7, 8, e 9 alguns exemplos dos modelos elaborados incluindo as estruturas e a estratigrafia local, com destaque as camadas de areia em amarelo e argila em cinza, além dos solos aluvionares (solos moles) em azul.

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

1. A equipe técnica do Metrô espera, que as exigências para o fornecimento de dados de investigação e os requisitos de entregas do projeto básico da Linha 19-Celeste tenha contribuído com amadurecimento e sensibilização de fornecedores de serviços de investigação, sobre a necessidade de automatização dos dados em formato padronizado e único. Trabalhos de referência como De Mio (2015) já

alertavam para a importância da aquisição criteriosa e padronizada dos dados já na etapa de coleta (geração dos dados), reduzindo a possibilidade de erros e permitindo o armazenamento e acesso eficiente.

2. Na campanha de investigação geológico-geotécnica da Linha 19-Celeste observou-se que, as empresas executoras de sondagens e ensaios promovem a entrada dos dados ainda de forma manual, por meio da transcrição de dados provenientes dos boletins de campo de sondagens e ensaios. Para elaboração das entregas de dados digitais, esses fornecedores de dados de investigações enfrentam duras rotinas de sistematização dos dados, o que gera consumo excessivo e desnecessário de carga horária. No Brasil a entrada dos dados diretamente do campo (permitindo total acompanhamento), por uso de *tablets* pelas equipes de campo já ocorre de maneira localizada, mas ainda não é uma realidade dos fornecedores, que terão que investir no treinamento dos seus colaboradores. Aqui os contratantes podem contribuir bastante por efeito mandatório.

3. No Brasil a modelagem geológica tridimensional é uma realidade, em especial na área de mineração e petróleo/gás.

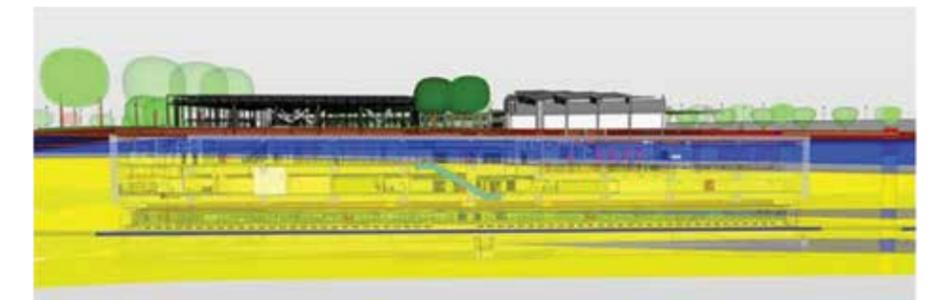


Figura 6 - Estação Catumbi - Vala a céu aberto - Vista longitudinal. Observar predominância das escavações em maciço arenoso (cor amarela)

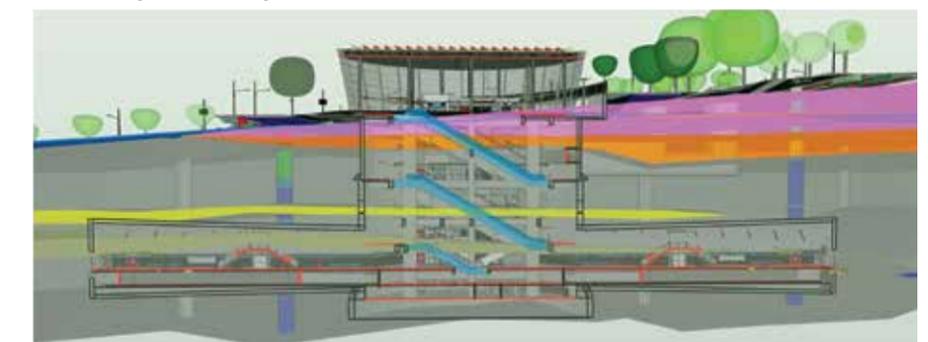


Figura 7 - Estação Guarulhos - Poço central e túnel de plataforma em NATM - Vista longitudinal. Observar interação da porção superior do poço com solos da Formação São Paulo (cores rosa e laranja), e predominância da interação do poço e corpo da estação com maciço argiloso da Formação Resende (cor cinza)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Location	Depth Top	SPT1	N Value	Blows Seating 1	Blows Main 1	Blows Main 3	Penetration	Penetration	Penetration Main 3	
7	SP-9465	5.00	2	3	1	1	2	15	15	15	
8	SP-9465	6.00	4	5	2	2	3	15	15	15	
9	SP-9465	7.00	6	7	3	3	4	15	15	15	
10	SP-9465	8.00	8	11	4	4	7	15	15	15	
11	SP-9465	9.00	11	13	5	6	7	15	15	15	
12	SP-9465	10.00	9	11	4	5	6	15	15	15	
13	SP-9465	11.00	6	8	2	4	4	15	15	15	
14	SP-9465	12.00	9	17	4	5	12	15	15	15	
15	SP-9465	13.00	9	10	4	5	5	15	15	15	
16	SP-9465	14.00	10	13	4	6	7	15	15	15	
17	SP-9465	15.00	10	12	4	6	6	15	15	15	
18	SP-9465	16.00	8	11	4	4	7	15	15	15	
19	SP-9465	17.00	9	11	4	5	6	15	15	15	
20	SP-9465	18.00	7	8	3	4	4	15	15	15	
21	SP-9465	19.00	12	14	5	7	7	15	15	15	

Figura 4 - Arquivo de dados digitais estruturados de sondagem do projeto básico da Linha 19-Celeste do Metrô-SP (Dados do Ensaio SPT)

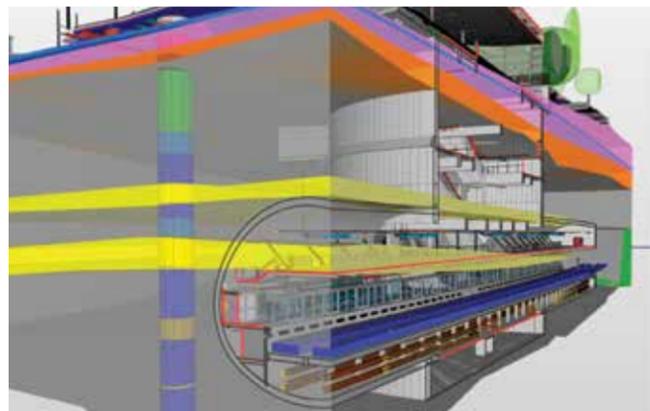


Figura 8 - Estação Guarulhos - Poço central e túnel de plataforma em NATM - Perspectiva 3D. Observar as camadas de areia na porção superior da frente de escavação do corpo da estação em túnel e acompanhando o teto do túnel (camadas com cor amarela)

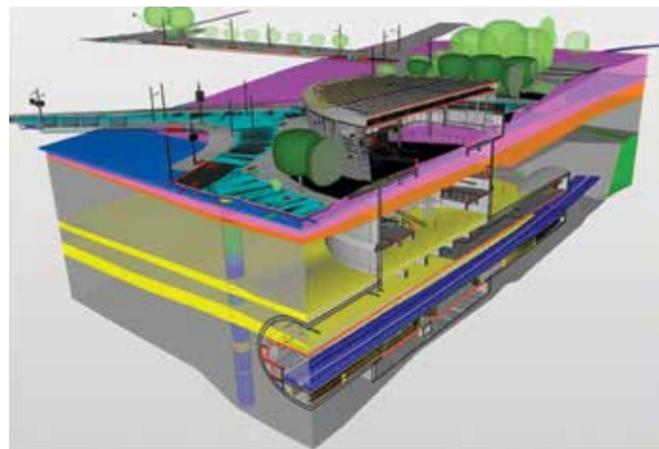


Figura 9 - Estação Guarulhos - Poço central e túnel de plataforma em NATM - Perspectiva 3D

4. Em todo projeto BIM Geotécnico, o método de interpolação das informações deve ser avaliada de forma adequada, considerando o contexto geológico local.

5. Modelagem geológica tridimensional não é o lançamento de dados em qualquer programa seguindo configurações pré-estabelecidas (*default*). Modelagem de contorno de topo e base das camadas geológicas não é "offset" da topografia.

6. Com relação ao método de modelagem utilizado, Carboni (2022) faz importante consideração que deve nortear as rotinas de trabalho: os procedimentos de modelagem geológica explícita são eficientes para que o modelador tenha liberdade na elaboração do seu modelo, podendo assim fazer, de modo quase que instantâneo, interpretações acerca das continuidades e extensões dele. Por outro lado, essa liberdade abre portas para a introdução de viés e subjetividade no modelo geológico. Esse método de modelagem, feito em sessões, obriga o modelador a ter mais atenção e maior percepção espacial, o que aumenta o tempo de trabalho da modelagem.

7. Mudar a rotina da abordagem clássica 2D para a representação 3D em dados geológico-geotécnicos de obras subterrâneas, também exige um amadurecimento do corpo técnico das projetistas e das empresas contratantes.

8. Entende-se também, que a gestão de dados geológico-geotécnicos no projeto básico da Linha 19-Celeste se configura como uma transição para

a adoção do sistema AGS em projetos futuros de novas linhas.

9. Entidades técnicas como a ABGE, ABMS, CBT, CBMR e IE têm o papel de contribuir para divulgação e dissemina-

ção das rotinas de trabalho com dados digitais estruturados para o meio técnico (fornecedores, projetistas, contratantes), para que estas estejam implementadas com a maior brevidade. 📧

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] **AGS BRASIL.** (2019) Transferência eletrônica de dados geotécnicos e geoambientais – AGS4 BR. 1ª edição. Grupo de Trabalho AGS Brasil, 62p.

[2] **CARBONI, L.** (2022) Modelagem tridimensional elaborada pelos métodos implícito, explícito e probabilístico aplicados à mineralização do depósito de Ambrósia, Paracatu-MG. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, 94p.

[3] **CMSP - Companhia do Metrô.** (2019) Elaboração e fornecimento da documentação técnica de engenharia civil, arquitetura, via permanente e desapropriações. MAN-10-201, Revisão 04. CMSP, 156p.

\* **Marcelo Denser Monteiro** é Geólogo, mestre em Hidrogeologia e Meio Ambiente e Geotécnico de Projeto Civil no Metrô-SP  
E-mail: mdmonteiro@metrosp.com.br

\*\* **Hugo Cássio Rocha** é Geólogo, mestre em Engenharia Geotécnica, e especialista no Metrô-SP  
E-mail: hcrocha@metrosp.com.br

\*\*\* **Barbara Greicy Azevedo Passos da Cunha** é Gerência de Projetos do Metrô-SP  
E-mail: bgapcunha@metrosp.com.br

\*\*\*\* **Guilherme Braidato Robbe** é Engenheiro

[4] **CMSP - Companhia do Metrô.** (2018) Sondagens e Ensaios Geotécnicos – Especificação Técnica. ET-9.00.00.00/3W9-001, Revisão A. CMSP, 18p.

[5] **DE MIO, G.; MONTICELLI, J. J. & MALANCONI, M.** (2020). Investigações geológico-geotécnicas para obras de infraestrutura – Diretrizes AGS-BR, 1ª edição, 44p.

[6] **DE MIO, G.** (2018). BIM das sondagens geotécnicas. Disponível no portal <http://www.e-geoinfo.com.br>.

[7] **DE MIO, G.** (2015). Dado geotécnico digital: da aquisição em campo ao modelo BIM Geotécnico. 15º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental. 10p.

Civil, Coordenador de Geotecnia e Dados Básicos da Gerência de Projetos do Metrô-SP  
E-mail: gbrobbe@metrosp.com.br

\*\*\*\*\* **Audrey Gregori Melchert de Almeida** é Engenheira Civil, Chefe de Departamento de Projetos Civis da Gerência de Projetos do Metrô-SP.  
E-mail: audrey.gregori@metrosp.com.br

\*\*\*\*\* **Antonio Ivo de Barros Mainardi Neto** é Arquiteto, exerce o cargo de Supervisor na Gerência de Projetos do Metrô-SP  
E-mail: imainardi@metrosp.com.br

# Implantação de soluções BI em projetos públicos

EDSON ALVES CARDOSO JUNIOR\* / INGRID LATHIERI DA SILVA BRITO\*\*

## INTRODUÇÃO

Observando o contexto atual, nota-se uma crescente necessidade de inovação nas organizações, a fim de aproveitarem as oportunidades proporcionadas pelos avanços tecnológicos. Ao longo da história, as tecnologias desempenharam um papel extremamente importante na evolução humana, alterando a forma social, econômica e política global. A tecnologia acelerou seus avanços, especialmente após o "Boom" da Inteligência Artificial Generativa, chegando ao ponto de questionarmos inclusive a participação humana em alguns processos (FINGER, 2023).

Destaca-se que inovação segundo OCDE, 2018 é um produto ou processo novo ou aprimorado (ou combinação de ambos), que difere significativamente do produto ou processo anterior da unidade, e que foi disponibilizado aos usuários potenciais (em forma de produto) ou utilizado pela unidade (em forma de processo).

Neste contexto tecnológico mutante, incerto, desafiador, mudar processos difundidos e, muitas vezes, consolidados em prol de melhorias pode ser um desafio. Ainda assim, segundo relatório da Zendesk (2023), inovação tecnológica e a transformação digital consoli-

daram-se como uma realidade incontornável para empresas que querem realmente se tornar competitivas ou se manter competitivas.

Entretanto, no setor público, a inovação não é desejável em si mesma, como ocorre em empresas privadas, mas sim pelo fato de aumentar o valor público na governança ou nos serviços em termos de qualidade, eficiência ou adequação ao propósito, podendo ser conceituada como processo pelo resultado (HARTLEY, 2006).

No âmbito público, as soluções inovadoras precisam ser tomadas para garantir o fornecimento de serviços públicos de qualidade, de forma eficiente e com menos recursos (CASTRO, 2015), uma vez que os governos mundiais estão se aproximando do limite operacional para prover serviços básicos aos seus cidadãos.

Percebe-se, então, a impossibilidade de sobrevivência das organizações sem a tecnologia da informação (TI), uma vez que esta é necessária para gerir todas as tecnologias envolvidas nas empresas. Porém, a organização pública possui maiores limitações de recursos financeiros relacionados, a contratação e maquinário, possuindo uma grade de funcionários muitas vezes escassa, limitando assim a sua área de atuação.

Nesse cenário de escassez, o setor pú-

blico busca alternativas, como a implantação de ferramentas tecnológicas de utilização simples, mas que geram economias significativas de recursos, como a *Power Platform*, formada por aplicativos da Microsoft, dentre os quais destacam-se o *Power Apps*, *Power BI* e *Power Automate*. Suas funcionalidades incluem a possibilidade dos usuários acessarem, analisarem, executarem processos e automatizarem tarefas com facilidade.

A *Power Platform* tem ganhado adeptos, treinamentos e divulgação, em canais de comunicação interna, inclusive com grande apoio das áreas de TI, as quais conseguem transferir suas demandas específicas para quem entende e pratica o negócio no dia a dia. Segundo dados disponíveis no Google Trends, a busca por produtos da *Power Platform*, como *Power Automate* e *BI*, aumentou mais de 1.000% nos últimos cinco anos (Google Trends).

Segundo Jifa (2013) e Sherman (2015), os dados são elementos básicos, brutos, aleatórios e desorganizados, a informação é resultado de uma contextualização dos dados, ou seja, dados que foram organizados, estruturados e processados. E o conhecimento resulta do processo da informação por parte de um indivíduo. Esse processo é denominado de *Business Intelligence* (BI).

Com tais avanços, a consequência imediata é que as tecnologias geram um grande volume de dados, que precisam ser tratados para gerar informações e a partir daí construir conhecimento. O conhecimento organizacional é importantíssimo para tomada de decisão. Em suma, o BI, na sua essência, trata apenas "da tomada de decisão eficaz" (PRIMAK, 2008).

Diante do exposto, esse artigo tem como objetivo apresentar os resultados obtidos e as problemáticas envolvidas na implantação de soluções em *Power Platform* em uma empresa de grande porte do setor público.



Figura 1 - Fluxo do levantamento, tratamento e apresentação dos dados (Fonte: Vasconcelos, Jandira & Santos, João, 2018)



Figura 2 - Fluxo de dados da solução do acompanhamento do projeto executivo



Figura 3 - Fluxo de dados da solução do acompanhamento revisado

**METODOLOGIA E FERRAMENTAS**

Neste artigo serão apresentadas duas soluções implantadas na Gerência do Metrô de São Paulo, a qual é responsável pela expansão e fiscalização da Linha 2-Verde, sendo composta por aproximadamente 5.000 funcionários, entre empregados da companhia e terceirizados.

A grandiosidade da Expansão da Linha 2-Verde, atualmente em fase de implantação de obras, infere o prolongamento do trecho em operação Vila Madalena/Vila Prudente. Com extensão de 8,4km de via, será executado predominantemente com o emprego da Tuneladora (TBM) e contará com 8 estações, 9 poços de Ventilação/Saída de Emergência, além de túneis para estacionamento de trens ao longo da via.

No desenvolvimento das soluções, utilizou-se o conceito de *Business Intelligence*, que consiste em coletar, tratar e organizar as informações, conforme representado na figura 1.

Para aplicar a metodologia de BI, utilizou-se de algumas ferramentas tecnológicas disponibilizadas pela Microsoft, descritas a seguir, conforme definidas pela própria empresa (Microsoft Learn, 2024):

**Sharepoint:** As organizações usam o Microsoft *SharePoint* para criar sites como um local seguro para armazenar, organizar, compartilhar e acessar informações de qualquer dispositivo.

**Power Apps:** É uma plataforma de dados que oferece um ambiente de de-

envolvimento rápido de aplicativos para criação dos apps personalizados para suas necessidades de negócios.

**Power BI:** É uma coleção de serviços de software, aplicativos e conectores que trabalham juntos para transformar suas fontes de dados não relacionadas em informações coerentes, visualmente envolventes e interativas.

O compartilhamento das informações foi feito através da publicação das soluções e consequente utilização das licenças "Premium", seguindo algumas diretrizes da Gerência de Tecnologia da Informação, as quais destacamos a seguir:

-Os dados precisam estar em nuvem ou em banco de dados/ fluxo de dados criado e atualizado de acordo com a destinação de uso.



Figura 4 - Fluxo de dados da solução de melhoria contínua

-O desenvolvimento da solução precisa ser aprovado por um grupo focal.

**RESULTADOS E DISCUSSÕES**

**Solução 1: acompanhamento de projetos**

Solução em BI com o objetivo realizar o acompanhamento e o controle dos projetos executivos das obras de expansão da Linha 2-Verde. Ressalta-se, que projeto para efeitos deste artigo, é entendido como conjunto de documentos de texto e desenhos relativos à referida obra.

A entrega dos projetos é feita por um sistema de Gerenciamento Eletrônico de Documentos – GED, chamado *GED Documentum*, no qual as informações do documento são previamente preenchidas pelos seus autores. Posteriormente, as informações contidas no sistema são enviadas para o Metrô, através de memorandos de remessas, de modo a realizar o preenchimento dos controles individuais, manualmente em planilhas de Excel. Ou seja, o controle por planilha gerava uma redundância ao GED.

A proposta para esse controle foi substituir a aquisição de dados feita manualmente por um acesso personalizado aos dados do GED, utilizando as informações já disponíveis no sistema, através de uma interface mais intuitiva e amigável do *Power BI*. A partir disso, desenvolver visuais com indicadores de acompanhamento e avaliação da qualidade dos projetos.

Participaram da solução, os membros da equipe de projeto civil da Linha 2-Verde, sendo um membro no desenvolvimento e 8 membros nas definições de escopo e avaliações, todos com formação acadêmica em engenharia civil.

No desenvolvimento da solução, inicialmente, foi apenas utilizada a ferramenta tecnológica *Power BI*, na figura 2 será representado o fluxo de dados.

A conexão do GED no *Power BI*, ocorreu por meio de um banco de dados em SQL, desenvolvido pela área de tecnologia da informação do Metrô, os dados do GED foram tratados dentro do próprio BI e posteriormente apresentados em *dashboards* com informações pertinentes ao gerenciamento de projetos (figura 3).

Com mais dois meses de operação assistida, foram percebidas necessidades adicionais com fontes de dados alternativas, apresentadas a seguir:

-Dados exportados em CSV do Sharepoint do consórcio gerenciador do projeto.

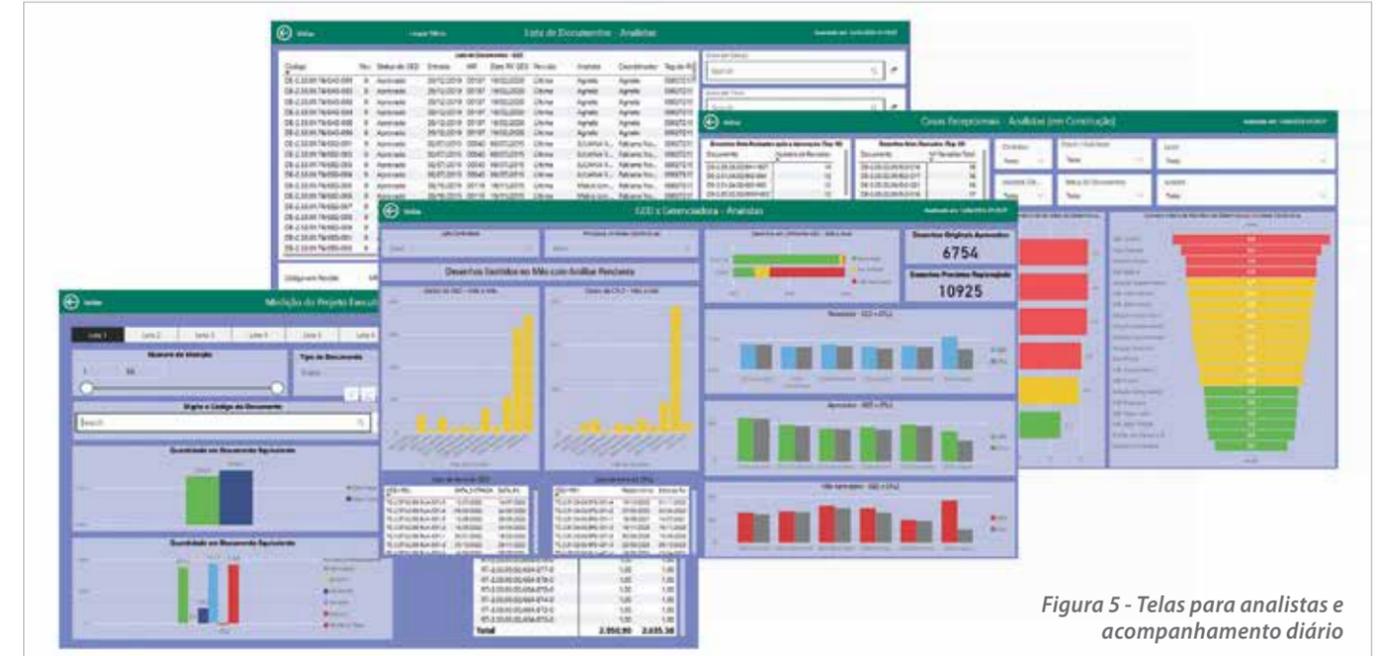


Figura 5 - Telas para analistas e acompanhamento diário

-Dados de um fluxo em cópia autorizada do Banco de Dados do ADETI – Sistema de medição de obras e projetos.

Dados de planilhas individualizadas de previsão de entrega dos projetos chamados de Índices de Documentos – ID.

Após mais um mês de testes, foram percebidas incoerências nos dados cadastrados no sistema, iniciando um período de correção das informações iniciais. Visto que tais informações são de responsabilidade dos autores dos projetos, esse ponto demandou muito esforço

para confiabilidade dos dados (figura 4).

Foram necessários aproximadamente três meses para realizar os primeiros testes da solução e mais seis meses para sua implementação efetiva e uso pleno.

**PROJETO CONCLUÍDO**

Hoje, o sistema conta com 12 páginas de relatório, das quais seis páginas trazem informações para microgerenciamento das informações e acompanhamento dia a dia realizado pelos Analistas Líderes de Projeto, e outras seis páginas para o ma-

crogerenciamento realizado pela coordenação e níveis superiores de gestão.

Neste primeiro grupo, destaco as principais telas focadas nos Analistas para o acompanhamento diário (figura 5).

**Lista de Documentos:** contém duas listas comparativas de entregas e análises de documentos relativos ao projeto executivo, além de contextos de segmentação de dados disponíveis dentro dos dados.

**Comparativo GED x Gerenciado-ra:** utilizando diversos visuais com o ob-



Figura 6 - Telas resumos dos níveis gerenciais

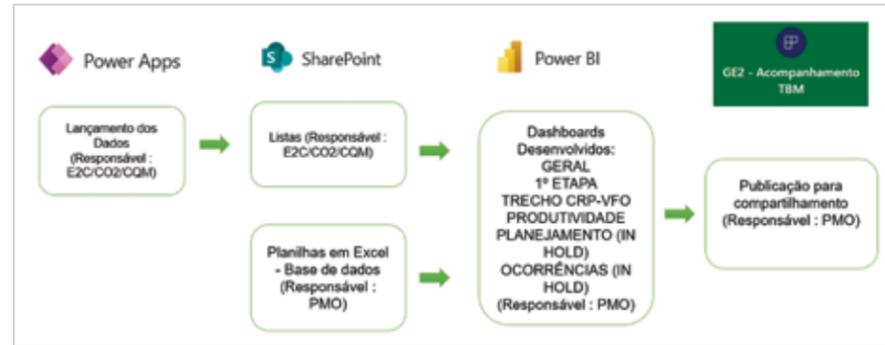


Figura 7 - Fluxo de dados da solução do acompanhamento da TBM

objetivo de comparar os dados adquiridos no sistema oficial (GED) e no sistema de controle da gerenciadora (Sharepoint), além de listas comparativas e contextos de segmentações de dados.

**Casos Excepcionais:** com o objetivo de localizar "outliers" e casos que fogem a regra geral utilizando listas nos diversos tipos de documentos, além de comparar padrões das diversas unidades construtivas graficamente e aplicando contexto de segmentações de dados.

**Medição do Projeto Executivo:** página de resumo das medições do projeto distinguindo as parcelas cobradas e efetivamente pagas aplicando contexto de segmentações de dados.

Neste segundo grupo, destaco as principais telas focadas no gerenciamento realizado pela coordenação e níveis superiores de gestão (figura 6).

**Análises e Revisões de Projeto:** o objetivo é observar a evolução dos prazos de análise e de revisão do projeto, bem como acompanhar a frequência de emissão durante o avançar da obra. Utilizando as ferramentas de inteligência temporal de dados do **Power BI**, faz-se uma previsão de valores para os meses correntes a partir das informações dos últimos seis meses.

**Comparativo entre Emissões e Análises:** com foco em localizar demandas e gargalos entre as projetistas contratadas e entender quais as diferenças de prazos ocorrem entre a emissão e o fim da análise.

**CPL2:** com foco no acompanhamento da contratada para gerenciamento do projeto executivo, observamos a distribuição das análises por lote, por disciplina de projeto, por status de análise, bem como o desempenho dos coordenadores e analistas da contratada em relação a prazos contratuais.

**Planejamento Geral do Projeto**

**Executivo:** visa acompanhar a Previsão, Emissão e Aprovação dos projetos executivos para toda a extensão da expansão da Linha 2-Verde em obras.

**Solução 2: acompanhamento da TBM**

Solução em BI que visa agrupar informações pertinentes ao monitoramento e controle da tuneladora (TBM), equipamentos que está sendo utilizado para a escavação da primeira fase de expansão da Linha 2-Verde. A equipe desenvolvedora deste projeto foi composta por três integrantes, sendo estes pertencentes as áreas de PMO ou obras, todos com formação acadêmica em engenharia civil.

Os registros das atividades da TBM no Metrô eram feitos manualmente em planilhas do Excel. Para aprimorar esse processo foi apresentada uma proposta de solução, visando centralizar todas as informações em um único sistema. Essa plataforma disponibilizaria diariamente dados atualizados sobre o andamento da obra, possibilitando a extração de informações essenciais para a fiscalização do Metrô.

Foram necessários aproximadamente três meses para realizar os primeiros testes da solução e mais seis meses para sua implementação efetiva e uso pleno.

No desenvolvimento da solução, foram utilizadas três ferramentas tecnológicas, que serão representadas em um fluxo de dados na figura 7.

Os dados referentes aos anéis da TBM, sejam instalados, ou sejam fabricados, são cadastrados através de um aplicativo do **Power Apps** e armazenados em uma lista no **SharePoint**. Os usuários podem editar as informações inseridas no próprio aplicativo, bem como acompanhá-las de maneira simplificada.

Uma planilha Excel, também hospedada no **SharePoint**, funciona como banco de dados e contém informações contratuais e de planejamento, cruciais para a criação de indicadores e visualizações eficientes no **Power BI**, no qual são estabelecidas conexões entre as planilhas, facilitando a integração dos dados.

Utilizam-se *dashboards* com diversos tipos de visualizações, para apresentar as informações de maneira objetiva e clara, de acordo com as necessidades do acompanhamento e da gestão. Para disponibilizar o acesso a esses *dashboards* desenvolvidos no **Power BI**, é essencial realizar a publicação *online* em um aplicativo, conforme as diretrizes da tecnologia da informação.

**PROJETO CONCLUÍDO**

-Apresentação das telas do **Power Apps** (figura 8).

**Tela Inicial:** dá as boas-vindas ao usuário e dois botões de escolha: **Instalação**, para equipe responsável pela fiscalização da escavação e da instalação dos anéis do TBM e o de **Produção**, para a equipe responsável pela fabricação dos anéis.

**Tela Lançamento:** ao clicar em um dos botões, o usuário será levado a uma tela de lançamento, com quadros que



Figura 8 - Esquemático do Power Apps.

Figura 8 - Esquemático do Power Apps

precisam ser preenchidos. Quando o usuário clicar no ícone de envio, essas informações serão enviadas para a lista de **SharePoint**.

**Tela Consulta:** após enviar os dados preenchidos na tela de lançamento, o usuário será enviado para tela de consulta, onde ele poderá verificar as suas informações lançadas no aplicativo. Tendo a

opção de apagá-las, caso encontre qualquer discrepância de preenchimento. -Apresentação das telas do **Power BI** (figura 9).

A implantação dessas soluções trouxe a organização as seguintes vantagens: -Centralização e disponibilidade da informação. -Agilidade na consulta das informações.

-Ter um histórico e armazenamento de dados seguro. -Automatização das atualizações. -Tomada de decisão mais assertiva. -Melhoria contínua do processo.

Quando o controle era realizado por planilhas em Excel, a disponibilidade das informações era afunilada e dependia de um analista para controlá-la e divulgá-la. Atualmente, a disponibilidade da informação é acessível a todos que precisam da informação por meio de um link e a atualização é feita diariamente.

A partir do conjunto de informações organizado e sem duplicidades, pode-se perceber algumas informações distorcidas, devido a erros de lançamento, que agora podem ser facilmente monitorados e corrigidos.

Quando há a adoção de sistemas como esses, alinhado com as práticas de gestão à vista, cria-se a janela perfeita para a melhoria contínua no processo, permitindo que os analistas encontrem gargalos e consigam solucioná-los, melhorando assim a produtividade de todo o processo.

Os dados eram armazenados em planilhas em Excel, localizadas em diferentes pastas da rede, sem padronização, podendo ser facilmente perdidas, hoje os dados ficam *online*, no **Sharepoint** do Metrô em locais previamente aprovados pela Tecnologia da Informação.

A adoção dos controles permitiu que o analista pudesse focar nas ações de gestão do contrato sob sua responsabilidade, ao invés dos lançamentos de dados que precisavam ser realizados manualmente nas planilhas de controle, em Excel. Resultando na diminuição do tempo de análise, o acesso a uma imensidão de dados em visuais intuitivos facilitou o seu entendimento.

Por exemplo, no controle de projetos, em medições diretas, lendo o Banco de Dados do GED obteve-se redução entre 8h e 16h semanais, referente à aquisição de dados cadastrais e a redução de aproximadamente uma hora semanal para a produção de resumos mensais e gerenciais.

Todavia, algumas demandas a mais surgem em decorrência das informações, as quais se tornaram conhecidas pela organização dos dados e serão apresentadas a seguir:

-Tratamento dos casos atípicos ou excepcionais;



Figura 9 - Apresentação das telas do Power BI

**Tela Inicial:** Apresenta fotos representativas e atuais da TBM e da Fábrica de Anéis, título e data de partida.

**Tela 2:** Apresenta o avanço geral da TBM, considerando as duas etapas (1 e 2) que devem ser executadas no final da expansão - Fase 1. Além de algumas informações gerais e o mapa de geolocalização da TBM, conforme os dados são lançados, de hora em hora são atualizados no **Power BI**.

**Tela 3:** Apresenta o avanço da ETAPA 1 da TBM. Além do perfil geológico do trajeto da TBM, legenda dos tipos de solo e mapa de geolocalização da referida etapa.

**Tela 4:** Apresenta o avanço do trecho específico da TBM. Além dos indicadores de produtividade, comparativo entre o real e o planejado e mapa de geolocalização da referida etapa.

**Tela 4:** Apresenta a produtividade da instalação e da fabricação dos anéis.

-Tratamento dos documentos “esquecidos”;  
-Tratamento dos documentos prévios à paralização da obra.

O montante de tempo necessário para as correções é de, aproximadamente, uma hora semanal, o que representa ainda assim uma economia total entre 20% e 40% das horas semanais de cada analista líder de projeto.

Entretanto, durante o desenvolvimento das soluções foi possível notar alguns contrapontos, dos quais destacamos os principais:

**Dificuldades no processo de normatização:** Apesar da organização possuir normativas para direcionar o desenvolvimento de novas soluções, não há informações relacionadas à publicação. A divulgação e o entendimento das normativas, não é trivial, o que demandou diversos alinhamentos com a TI.

**Ausência de especialistas nas ferramentas:** Mesmo com uma área robusta de TI, há pouca disponibilidade de profissionais que possam dar apoio aos desenvolvedores da solução, prejudicando a sua execução e aumentando o tempo de desenvolvimento. Além disso, os desenvolvedores precisam conciliar o desenvolvimento da solução com as suas demandas diárias, inerentes ao seu cargo.

**Resistência à mudança:** A dificuldade enfrentada pelos participantes do processo em aderir à solução é evidente. Mesmo quando as soluções são desenvolvidas em colaboração com os usuários finais, a transição esbarra em obstáculos, principalmente devido à falta de familiaridade com a ferramenta ou à desconfiança gerada pela ausência de conhecimento sobre o sistema.

### CONCLUSÃO

Diante do exposto, sobre a implantação de soluções em BI em projetos públicos, nota-se que a maior problemática é a escassez de mão de obra em volta do desenvolvimento dessas soluções.

Apesar disto, a implantação das soluções em *Business Intelligence* (BI) na gerência GE2 do Metrô proporcionou uma fiscalização mais eficaz e ágil. Agora, o foco está mais na análise das informações do que na mera organização dos dados em planilhas, que antes exigiam atualizações manuais constantes. Essa transição permitiu que os colaboradores ganhassem um tempo valioso para se dedicarem a atividades verdadeiramente importantes, bem como a

### REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS

[1]FINGER, ROGER. IA Generativa avança e já impacta algumas profissões. Isso é motivo para preocupação? Exame. São Paulo, 5 de dezembro de 2023. Disponível em: <<https://exame.com/bussola/ia-generativa-avanca-e-ja-impacta-algumas-profissoes-isso-e-motivo-para-preocupacao/>>. Acesso em: 13/03/2024.

[2]CASTRO, C. M. S. Antecedentes de inovação em organizações públicas do poder executivo federal. 2015, Dissertação (Mestrado em Administração) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade – FACE, Universidade de Brasília, 2015. Disponível em: <[http://www.real.p.unb.br/jspui/bitstream/10482/18763/1/2015\\_C%3%A1ritaMarilhantsSilvadeCastro.pdf](http://www.real.p.unb.br/jspui/bitstream/10482/18763/1/2015_C%3%A1ritaMarilhantsSilvadeCastro.pdf)>. Acesso em: 14/04/2024.

[3]OCDE. Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (2018). Oslo Manual; Guidelines for collecting, reporting and using data on innovation. 4ªed. Paris/ Eurostat, Luxembourg: 2018. Disponível em: <<https://www.oecd.org/science/oslo-manual-2018-9789264304604-en.htm>>. Acesso em: 14/04/2024.

[4]HARTLEY, J. Innovation and its Contribution to improvement. Public Management, 2006.

[5]JIFA, G. (2013). Data, Information, Knowledge, Wisdom and Meta – Synthesis of Wisdom-Comment on Wis-

dom Global and Wisdom Cities. Procedia Computer Science, 17, 713 – 719.

[6]SHERMAN, R. (2000). Business Intelligence Guidebook: From Data Integration to Analytics. Elsevier and Morgan Kaufmann.

[7]PRIMAK, F. V. (2015). Decisões com BI (Business Intelligence). Ciência Moderna. Rio de Janeiro.

[8]MICROSOFT LEARN - 2024. O que é o serviço do Power BI? Disponível em: <<https://learn.microsoft.com/pt-br/power-bi/fundamentals/power-bi-service-overview>>. Disponível em 14/04/2024.

[9]MICROSOFT LEARN - 2024. O que é o serviço do Power Apps? Disponível em: <<https://learn.microsoft.com/pt-br/power-apps/powerapps-overview>>. Disponível em 14/04/2024.

[10]MICROSOFT LEARN - 2024. O que é o Sharepoint? Disponível em: <<https://support.microsoft.com/pt-br/office/o-que-%C3%A9-o-sharepoint-97b915e6-651b-43b2-827d-fb25777f446f#:~:text=As%20organiza%C3%A7%C3%B5es%20usam%20o%20Microsoft,Internet%20Explorer%2C%20Chrome%20ou%20Firefox>>. Disponível em 14/04/2024.

[11]ZENDESK. Desafios na gestão de mudanças em TI: insights na transição tecnológica. Blog da Zendesk. São Paulo, 14 de dezembro de 2023. Disponível em: <<https://www.zendesk.com.br/blog/gestao-de-mudancas-ti/>>. Acesso em: 13/03/2024.

viabilidade das tomadas de decisões de uma forma mais estratégica e assertiva.

Além disso, com o desenvolvimento dessas soluções, identificou-se a necessidade de criar um grupo focal dedicado a atender demandas relacionadas à inovação. Esse grupo é principalmente voltado para as necessidades que requerem apoio da tecnologia da informação e o uso de ferramentas tecnológicas, como a *Power Platform*.

Entretanto, é conhecido que o desenvolvimento de soluções em BI é um passo inicial importante, porém não suficiente para alcançar seus objetivos propostos. No processo de implantação de uma solução, não se resume apenas a criar *dashboards* deslumbrantes com visuais coloridos e informações precisas.

Há todo um universo de usuários confusos sobre como utilizar a solução e desconfiados das informações. Portanto, é crucial desenvolver soluções que inspirem confiança nos usuários, por meio de interfaces intuitivas e programas de treinamento abrangentes.

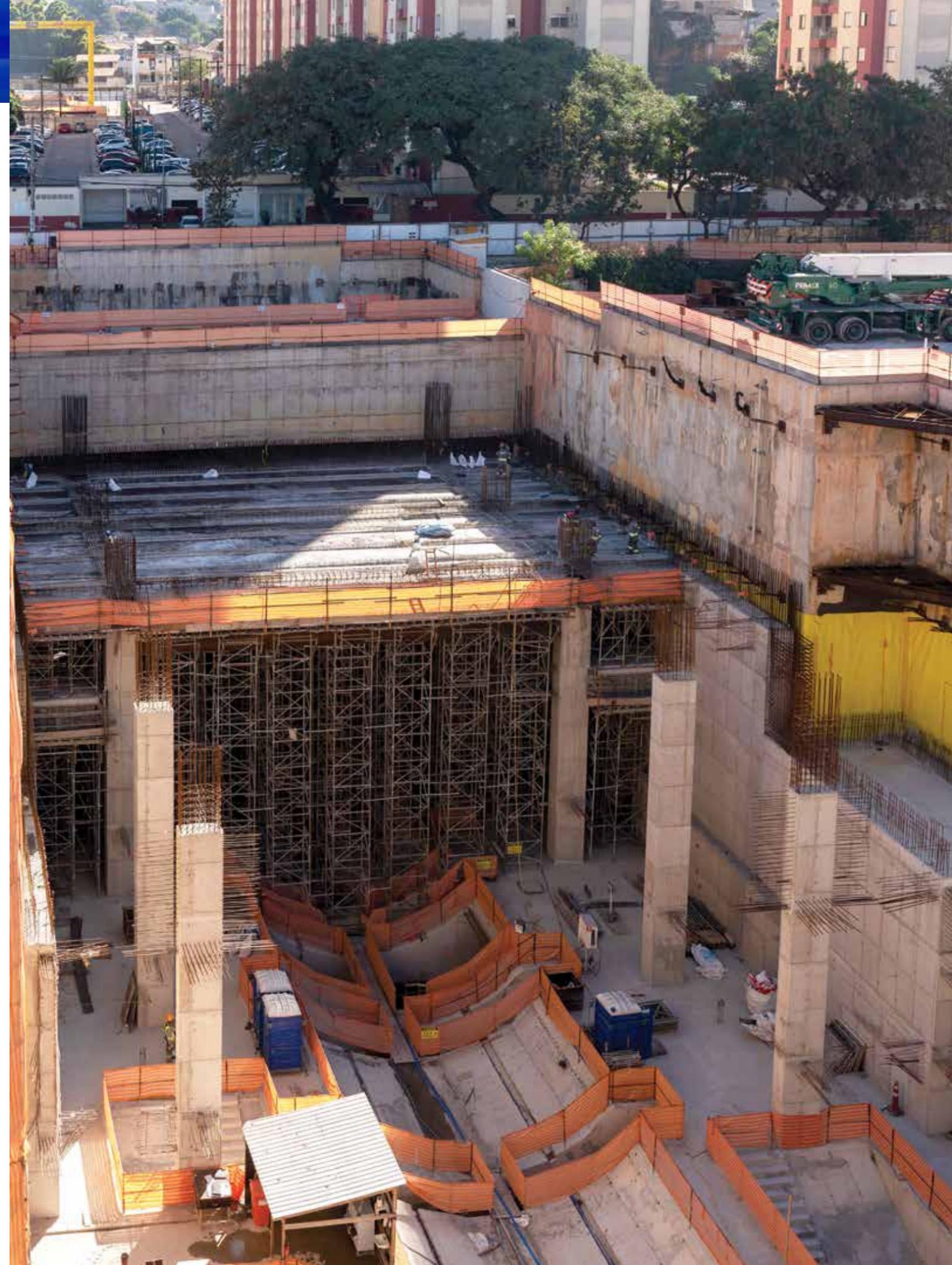
Com isso, mesmo com as problemáticas envolvidas no processo de implantação de soluções em BI, estas são essenciais para a crescente eficiência do setor público. 🔄

\* **Edson Alves Cardoso Junior** é Engenheiro Civil e TSM-II na GE2/EP/CP do Metrô-SP

E-mail: [edson.cardoso@metrosp.com.br](mailto:edson.cardoso@metrosp.com.br)

\*\* **Ingrid Lathieri da Silva Brito** é Engenheira de Planejamento na GE2/PMO do Metrô-SP

E-mail: [e\\_ingrid.brito@metrosp.com.br](mailto:e_ingrid.brito@metrosp.com.br)





# Eficiência energética e gestão de energia elétrica no Metrô de São Paulo

FERNANDO GOMES CLÍMACO\* / GLAUCO FERNANDES LOPES\*\*

O Metrô de São Paulo sempre esteve empenhado em fazer uma excelente gestão de energia para o sistema de tração e os equipamentos das estações. Desde o início da operação comercial, o Metrô de São Paulo, faz uma gestão direta sobre o consumo de energia e os melhores modelos de contratação. No início da operação comercial, entre 1974 e 1979, o Metrô obteve um contrato para fornecimento de energia elétrica com desconto de 75% no custo nominal. Ao longo dos anos o desconto foi progressivamente reduzido, o que impactou diretamente nos custos operacionais de energia.

A partir de 1987 ocorreu um aumento de 328% na tarifa de energia, o que incentivou o Metrô na formação do Núcleo de Energia. Em 2015 ocorreu a maior crise hídrica dos últimos 80 anos impactando em 60% de aumento no custo da energia para o Metrô.

Em 2016 de forma inovadora e contínua o Metrô de São Paulo criou o Comitê de Energia, capaz de verificar as melhores oportunidades de compra de energia e o desenvolvimento de ações de

eficiência energética, obtendo a partir dessas ações redução de custo de cerca de 35 milhões de reais. O Comitê de Energia é formado por colaboradores de áreas multidisciplinares de modo a envolver toda a Companhia para a questão energética, de forma a otimizar o intercâmbio de ideias na busca de melhores soluções.

Em 2022, a partir da vigência da resolução homologatória nº 3.053 da ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica houve um aumento de 30% nas tarifas aplicadas ao Metrô, exigindo novas ações estratégicas para redução dos custos com energia.

O gráfico da figura 1 apresenta o histórico das evoluções dos custos operacionais de energia elétrica da Companhia e da eficiência energética de tração, obtida pelas ações desenvolvidas pelas equipes técnicas.

O sistema de alimentação elétrica do Metrô é o responsável por fornecer, de maneira confiável e segura, a energia necessária para a tração dos trens (material rodante) e alimentação dos equipamentos auxiliares das estações, tais como escadas rolantes, iluminação, elevadores e

outros. A tração elétrica dos trens é responsável por aproximadamente 70% do consumo total da Companhia, que em 2023 foi de 431 GWh, representando um custo de 189,1 milhões de reais (Relatório Integrado 2023 - Cia. do Metropolitano de São Paulo), figura 2.

Qualquer sistema metroferroviário é eletrointensivo e, portanto, possui elevados custos com energia. Além das considerações de custo, a crescente conscientização ambiental coloca mais pressão sobre os metrôs para reduzir sua pegada de carbono e otimizar o uso da energia, caracterizando o consumo de energia um risco estratégico para as operadoras, acarretando a necessidade de um gerenciamento bem-sucedido do consumo da energia e da eficiência energética dos sistemas.

A expansão da rede metroferroviária e a melhoria dos serviços prestados são estratégicos para cenários de baixo carbono. As emissões de gases de efeito estufa (GEE) do Metrô estão fortemente vinculadas ao consumo de energia da Companhia e nesse contexto, verificou-se que de 2022 para 2023 as emissões totais de GEE caíram de 22.000 tCO<sub>2</sub>e para 21.000 tCO<sub>2</sub>e.

A avaliação dos benefícios da rede metroviária para a mitigação dos efeitos das mudanças climáticas considera os impactos resultantes da existência da rede metroviária em operação. Com base na análise das emissões evitadas e as geradas em função do consumo de energia elétrica para operação, é calculado o balanço das emissões de gases de efeito estufa (GEE) da rede metroviária, em unidade de CO<sub>2</sub>e.

No ano de 2023, o balanço de carbono foi de 648.000 toneladas em CO<sub>2</sub>e de emissões evitadas líquidas. Esse resultado foi obtido ao considerar que foram evitadas 664.000 toneladas, com a existência e operação da rede do Metrô, e emitidas 16.000 toneladas em decorrência do consumo de energia elétrica na operação. Isto significa que, a cada

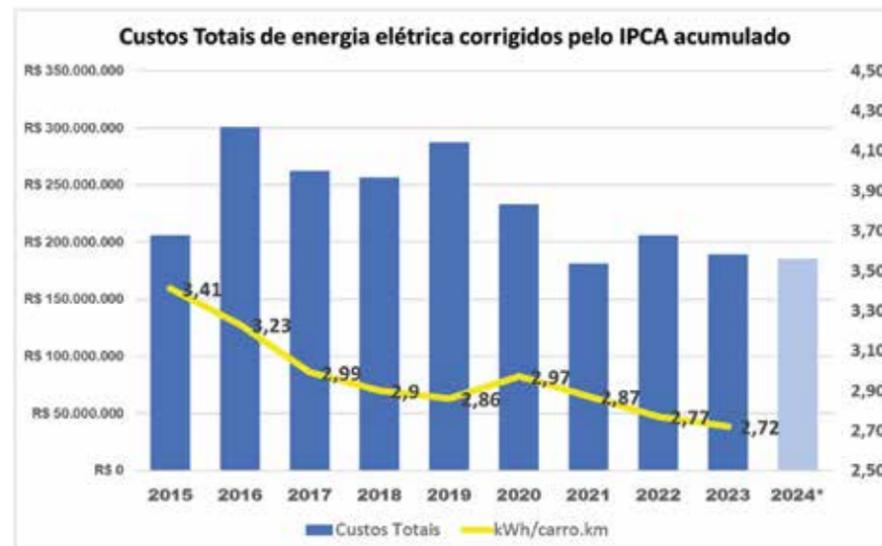


Figura 1 - Gráfico de custos totais de energia elétrica

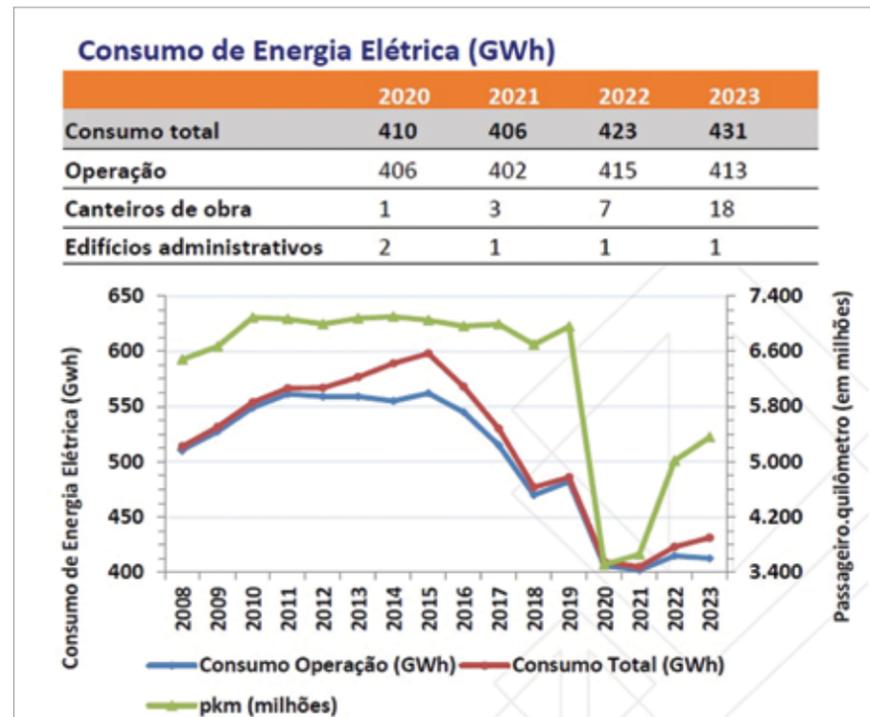


Figura 2 - Histórico do consumo de energia elétrica no Metrô-SP

tonelada de CO<sub>2</sub> emitida pela operação dos trens do Metrô foi evitada a emissão de 42 tCO<sub>2</sub>e (Relatório Integrado 2023 - Cia. do Metropolitano de São Paulo), figura 3.



Figura 3 - Emissões de carbono evitadas líquidas

O consumo de energia para a operação do sistema representa mais de 95% do total da Companhia, sendo o restante destinado para prédios administrativos e canteiros de obras. Mesmo com o incremento de 7% da demanda entre 2022 e 2023, houve uma redução no consumo de energia para operação, indicando ganho de eficiência energética. O consumo de energia de tração por carro-quilômetro variou de 3,41 kWh/carro-km, em 2015, para 2,72 em 2023.

As interferências operacionais podem influenciar fortemente no consumo de energia, uma vez que impactam, entre outros aspectos, nas velocidades médias dos trens e nas partidas e paradas não programadas, parâmetros determinantes no consumo elétrico de tração. Neste contexto, o

programa de oferta de trens e o software de controle de trens instalado no Centro de Controle do Metrô são determinantes para mitigar as interferências operacionais e quanto melhor ajustados, melhor será a eficiência energética do consumo de tração.

Ciente da importância da otimização do carrossel, a equipe técnica do Metrô está constantemente analisando, ajustando e melhorando o sistema de sinalização e controle de trens, assim como otimizando os principais parâmetros do programa de oferta de trens (figura 4).

Todas as ações do Comitê de Energia têm como principais objetivos reduzir o consumo de energia elétrica, melhorar a

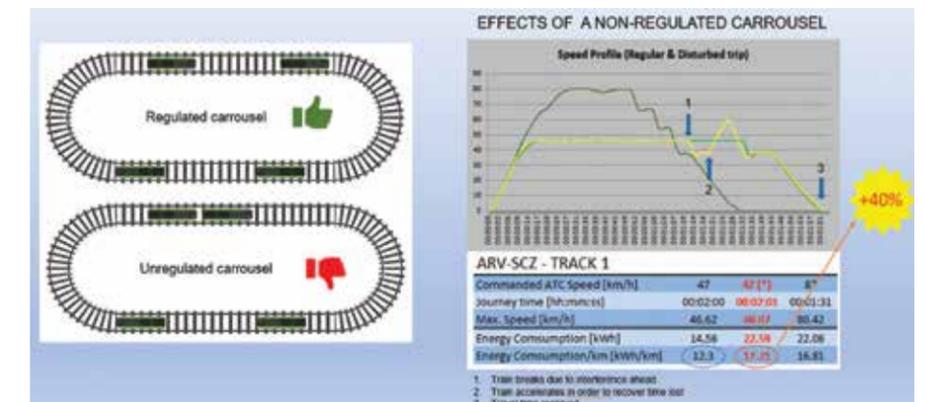


Figura 4 - Acréscimo no consumo de energia devido ao carrossel desregulado (11° International Railway Summit - UIC)

eficiência energética dos equipamentos e por fim, reduzir as despesas operacionais com este insumo. Dentre as ações em desenvolvimento, destacam-se:

- Implantação do CBTC (Communication Based Train Control) na Linha 1-Azul, Linha 2-Verde e Linha 3-Vermelha;
- Contratação de painéis solares para geração distribuída nas estações;
- Implantação de iluminação LED em trens e estações;
- Implantação de medidores inteligentes (rede digital e remota de medição);
- Autoprodução de energia renovável;
- Contratação de Inversor de Tração em 22 kV;
- Implantação do Trem Padrão por Desempenho;
- Implantação da ISO 50.001 - Sistema de Gestão de Energia.

A gestão energética do Metrô é desafiadora, uma vez que o conjunto de equipamentos é muito amplo e diverso. Acompanhar e analisar o consumo de cada tipo de carga é fundamental e para isso, o maior número possível de informações sobre o sistema elétrico e seu respectivo consumo de energia precisam estar disponíveis. Dessa maneira, atualmente no setor elétrico brasileiro existe uma forte tendência de substituição de medidores eletromecânicos por medidores digitais automatizados visando, além de uma maior precisão de medição, a possibilidade de leitura remota.

Com objetivo de trazer inovação tecnológica e modernizar o sistema de medição do consumo de energia, o Metrô optou pela substituição de seus dispositivos de medição eletromecânicos por multimedidores digitais que estão sendo instalados em todos os pontos relevantes de consumo do sistema (29ª Semana de Tecnologia Metroferroviária).

A figura 5 ilustra resumidamente o pro-



Figura 5 - Processo de modernização dos medidores de energia

cesso de modernização dos medidores de energia do Metrô.

Estão em implantação 237 multimedidores digitais de modo a configurar um sistema que permitirá o monitoramento das entradas de alimentação em três principais subestações:

- Subestações Primárias do Metrô: pontos de entradas de energia em 88 kVca da concessionária de distribuição;

- Subestações Retificadoras: fornecem energia em corrente contínua para tração dos trens;

- Subestações Auxiliares: localizadas nas estações e pátios de manutenção, onde estão os quadros principais de distribuição em 460Vca.

Outro aspecto importante no estudo do risco estratégico da energia para os metrôs está na determinação dos preços da energia elétrica para o futuro próximo. Compreender a evolução dos preços da eletricidade é importante para o planejamento antecipado de respostas aos diferentes cenários e, também, para a determinação da estratégia de compra de energia para o curto e médio prazo.

Em 2004, o setor elétrico brasileiro viveu uma significativa reestruturação. A eletricidade passou a ser comercializada em separado de seu transporte, possibilitando a introdução da competição na produção. O planejamento e o mercado passaram a ser o centro do novo modelo do setor. Em relação à comercialização de energia, foram instituídos dois ambientes para celebração de contratos de compra e venda de energia: o Ambiente de Contratação Regulada - ACR, do qual participam agentes de geração e de distribuição de energia e o Ambiente de Contratação Livre - ACL, do qual participam agentes de geração, comercializadores, importadores e exportadores de energia e consumidores livres.

Em janeiro de 2005, em decorrência da possibilidade de redução significativa dos gastos com a energia elétrica, o Metrô migrou para o ACL e tornou-se consumidor livre. Atendendo as legislações vigentes ao ACL e as leis particulares que regem o serviço público, o Metrô adquiriu energia em diversos momentos e com diferentes comercializadoras, dentre elas: CESP, EMAE, AES Tietê, BTG Pactual, Capitale, Matrix, EDP e Boven. O gráfico da figura 6 demonstra a



Figura 6 - Gráfico de preços da energia contratada atualizados pelo IPCA

evolução nos custos com energia para o Metrô.

Por fim, buscando otimizar a compra futura da energia e ao mesmo tempo obter redução de custos, previsibilidade orçamentária e melhoria da imagem corporativa sustentável do Metrô, em julho de 2023 foi publicado o edital da Chamada Pública Nº 10019617, cujo objetivo é selecionar um parceiro estratégico para a implementação de projeto de geração de energia renovável, em regime de Autoprodução.

Como Autoprodutor de energia renovável, o Metrô busca contribuir para a redução das emissões de carbono e assim reforçar suas ações em prol da sustentabilidade ambiental e social.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] RELATÓRIO INTEGRADO 2023 – CIA. DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO. Disponível em <https://af0020.azurewebsites.net/relatorio-integrado-companhia-do-metro-de-sao-paulo/>. Acesso em 28/05/2024.

[2] 11º INTERNATIONAL RAILWAY SUMMIT - UIC. BERLIN, GERMANY. Development and Implementation of Control Systems, Signaling and Trains applied in Energy Management at Metro São Paulo (MSP) - Brazil, with the application of new technologies and innovative techniques on Energy Savings. 2022.

[3] 29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA. Implementação do Sistema de Monitoramento de Energia no METRÔ-SP. 2023.

\* **Fernando Gomes Climaco** é Engenheiro Eletricista na Companhia do Metropolitano de São Paulo  
E-mail: fgclimaco@metrosp.com.br

\*\* **Glauco Fernandes Lopes** é Engenheiro assistente do diretor de operações da Companhia do Metropolitano de São Paulo  
E-mail: glopes@metrosp.com.br

# A tecnologia do Metrô de São Paulo, a mais avançada do mundo

PETER ALOUCHE\*

Desde os primórdios de sua criação em 1968, o Metrô de São Paulo sempre adotou uma política de desenvolvimento tecnológico visando oferecer a seus usuários o máximo conforto e uma segurança absoluta. A escolha acertada da sua tecnologia constituiu-se num dos pilares do sucesso da sua implantação e operação, sucesso aliás, reconhecido mundialmente. Para isso, estabeleceu um plano de tecnologia avançada, de médio e longo prazo, voltado para a modernidade, com a adequada escolha das melhores tecnologias do mundo.

Adotou para isso uma política de desenvolvimento tecnológico visando, em primeiro lugar, a segurança operacional dos usuários e do pessoal operativo, mas também a segurança pública dos usuários nos trens, estações e terminais. Em termos operacionais estabele-

ceu critérios rígidos, assegurando a regularidade no intervalo entre composições (headway), maior velocidade para um menor tempo de viagem, a alta confiabilidade dos equipamentos (material rodante, bilhetagem, escadas rolantes etc.), a rapidez na atuação e restabelecimento da normalidade em situações de falhas, incidentes ou emergências, o conforto nos trens e estações (lotação, iluminação, climatização, ruído etc.), a segurança dos usuários com portas de plataforma, a acessibilidade segura e confortável às estações e plataformas, facilidades na integração com outros modos de transporte como ônibus, trens, táxis etc., a limpeza das instalações, a informação visual e sonora clara e precisa sobre o transporte, a comunicação visual para os passageiros, as facilidades de acesso para pessoas portadoras de deficiência, modernidade no sistema de bilhetagem, atendimento adequado e rápido em ocorrências com usuários (mal estar, acidentes

para a construção de Estação Sé e outros.

Com seus 50 anos de operação, o Metrô de São Paulo entra numa importante fase de sua vida, onde a tecnologia terá, sem dúvida, um papel decisivo na sua evolução futura. De fato, se, de um lado, a operação comercial do Metrô é um sucesso incontestável, de outro lado, há dificuldades para expandir sua rede que é absolutamente insuficiente para atender as necessidades da Cidade de São Paulo. Por outro lado, com suas instalações que datam dos anos 1970, o Metrô necessita de uma renovação nos seus processos e equipamentos. Assim, o Metrô deverá estabelecer uma política de desenvolvimento tecnológico orientada para duas vertentes, que embora distintas, são complementares, uma política de renovação dos equipamentos, que já se aproximam do fim de seu ciclo de vida e a modernização administrativa da empresa, que deverá acompanhar esta renovação dos sistemas, além de uma política de desenvolvimento tecnológico que oriente os técnicos nas soluções a serem adotadas nas novas linhas, face aos avanços emergentes no mundo.

No estabelecimento de seu Plano Diretor de Tecnologia, alguns fatores relevantes são determinantes, como o Plano Estratégico já estabelecido pela própria Companhia, assim como os Planos de Transportes da Região Metropolitana de São Paulo, coordenados tanto pela Secretaria dos Transportes Metropolitanos (Metrô, CPTM, EMTU), quanto pela Prefeitura de São Paulo. O plano deverá levar em conta alguns cenários atuais e futuros, como a Concessão pelo Metrô da implantação e operação de suas linhas, o maior ou menor grau de terceirização pelo Metrô de seus serviços de manutenção e de energia e o grau de absorção pelo Metrô de linhas de trens metropolitanos, com a possível fusão futura entre a Companhia do Metrô e a CPTM.

Também deverá ser considerada na expansão da rede, além da transformação das linhas da CPTM em linhas de Metrô, a implantação de outras modalidades de transporte de massa, como o VLT e o Aeromovel. A experiência internacional de outros metrôs do mundo e a evolução vertiginosa na



Centro de Controle Operacional



Estação Sé, integração das linhas 1-Azul e 3-Vermelha



Mapa do transporte metropolitano de São Paulo



VLT da Baixada Santista implantado pela EMTU (Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos)

tecnologia dos equipamentos e componentes são elementos de balizamento.

Para o desenvolvimento do seu plano de tecnologia, o Metrô de São Paulo está adotando a estratégia participativa onde os diferentes setores da Empresa são consultados e envolvidos através de seus técnicos mais representativos e muitos de seus administradores. O apoio da Universidade e de consultores externos no processo tem sido importante para que o enfoque do plano seja mais abrangente.

O Plano Diretor de tecnologia leva em conta alguns fatores estabelecidos pela Companhia, como o seu plano estratégico de gestão e a necessidade de manter um equilíbrio financeiro na sua gestão operacional. Leva também em consideração o importante desenvolvimento tecnológico do setor metroferroviário, a nível mundial e o agrupamento sucessivo de grandes empresas fornecedoras de equipamentos, fruto do atual processo de globalização da economia.

Também considera os novos rumos da economia mundial e brasileira que está, nestes

últimos anos, impondo um processo contínuo de privatização ou concessão dos serviços públicos, que muitas vezes tem levado à degradação da qualidade de serviço, principalmente se o poder público e concedente não se armar com as ferramentas necessárias para controlar esses serviços.

### CONTEXTO DA EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA A NÍVEL MUNDIAL

Os últimos anos foram pródigos em desenvolvimento tecnológico dos metrô e ferrovias através do mundo, tanto na sua implantação quanto na sua operação e manutenção. Assim, houve importantes avanços na construção de túneis e estações, no material rodante, nos sistemas de energia, na sinalização metroferroviária, nas telecomunicações, na comunicação visual e sonora, nos equipamentos complementares (ventilação, climatização, acabamento, proteção contra incêndios, escadas rolantes etc.). Também há uma importante preocupação global, na renovação dos metrô antigos e nas ferrovias de subúrbio, que estão se transformando em metrô modernos de superfície. Enfim, verifica-se um desenvolvimento acelerado de sistemas de média capacidade sobre trilhos (VLT e Aeromovel).

Os Avanços Tecnológicos se desenvolveram no Metrô de São Paulo, nos mais diferentes setores. Na tecnologia da engenharia civil, houve importantes

desenvolvimentos com técnicas ousadas e inéditas na construção dos túneis, estações e na automação dos processos construtivos. Iniciou-se também a utilização de robôs na construção em operações de risco.

Na tecnologia do material rodante, o projeto é hoje concebido como um todo, com a fabricação estruturada por módulos, trens mais leves, com salão contínuo entre carros como tendência, um projeto concebido com funções de operação e manutenção, considerados desde o início, uma informatização integral e uma preocupação com a confiabilidade e a disponibilidade, incluindo inclusive na distribuição dos equipamentos. Utilizam-se materiais não inflamáveis e não tóxicos, tração com motor de indução, consumo reduzido de energia, portas automáticas, e sempre mirados numa preocupação primordial com o usuário garantindo-lhe a segurança absoluta de operação, o conforto ambiental, o baixíssimo nível de ruído, e uma comunicação visual e sonora moderna.

Em desenvolvimento tecnológico nos equipamentos fixos, importantes inovações têm se verificado no campo de energia, como a tecnologia dos retificadores, na sinalização, nas telecomunicações, na supervisão e controle operacional, na bilhetagem e no sistema de gestão operacional, integrando operação e manutenção. Enfim, há uma preocupação muito grande na modernização dos sistemas já em serviço, implantados, há muito tempo.

### A RENOVAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS

A renovação dos equipamentos é um dos pilares do plano tecnológico do Metrô de São Paulo. Esta renovação não é tarefa fácil de ser empreendida, porque ela não se constitui numa simples reposição de equipamentos ou componentes obsoletos. Não se trata de uma mera manutenção, por mais geral e profunda que esta seja. Cada sistema exige um estudo técnico e econômico, para fixar o



Aeromovel em implantação pela GRU Airport, com veículos produzidos pela Marcopolo Rail, para ligar a Linha 13-Jade da CPTM com os terminais do aeroporto de Guarulhos (SP)



Trem da Linha 5-Lilás, linha em operação pela concessionária Via Mobilidade



Eng.º Peter Alouche na cabine de um trem

novo ciclo de vida que se requer, estabelecer o grau de modernização que se pretende, garantir a segurança desejada e conseguir os recursos financeiros que serão necessários e disponíveis para esta renovação.

Nesta análise, o material rodante é certamente o equipamento mais complexo a ser abordado, porque além de envolver investimentos financeiros significativos, requer uma definição quanto ao limite que se requer na sua modernização. O novo e moderníssimo Centro de Controle Operacional - CCO poderá ser complementado com um outro centro de decisão mais abrangente, que supervisione também as futuras linhas em concessão e a operação das linhas da CPTM, atualmente em processo de transformação em linhas de Metrô.

As instalações elétricas e de sinalização, como também os equipamentos eletromecânicos (cabos de energia, seccionadoras, teletransmissão de dados, escadas rolantes, ventiladores, bombas d'água, grupos diesel etc.), que estão chegando ao fim de seu ciclo de vida, necessitam em alguns casos, de sua total substituição por equipamentos de melhor desempenho ou então da troca de componentes obsoletos. Esta renovação, em alguns equipamentos como a sinalização,

deve se dar sem a desativação dos sistemas existentes, para não afetar a operação comercial nem a segurança. No sentido de uma disponibilidade máxima dos equipamentos e do material rodante, técnicas de manutenção preditiva estão sendo ampliadas.

### AGENDA TECNOLÓGICA PARA O METRÔ

Além da modernização de suas instalações, o Metrô de São Paulo, na busca da excelência, também precisa posicionar-se face aos avanços tecnológicos em desenvolvimento no setor metroferroviário em todo o mundo. O Metrô deverá se preocupar dentro de seu plano tecnológico, com desenvolvimentos mais específicos, através de uma agenda tecnológica a ser estabelecida e que deverá apresentar ações concretas. A procura da redução dos custos na implantação das suas novas linhas é meta a ser perseguida. Assim, devem ser aperfeiçoados os métodos construtivos a serem adotados e as técnicas de construção e de instalação utilizados.

Enfim, nas novas perspectivas do Metrô, em que o modelo de concessão dos serviços é uma realidade para a expansão das linhas, os técnicos da Companhia se defrontarão com novas tecnologias de processos, que necessitarão de ferramentas especiais.

No meu entender, uma importante renovação do Metrô de São Paulo, como é o caso, aliás, de qualquer empresa já estruturada, que possa modernizar a gestão e os equipamentos e

preparar a Companhia para o futuro posicionando-a face aos avanços tecnológicos do setor metroferroviário, só é possível, se existir dentro de seu plano de desenvolvimento um projeto tecnológico de impacto, que possa revolucionar os espíritos e os processos, um projeto que exija a injeção de novos conhecimentos, novos recursos humanos, novas técnicas, novo impulso. Um projeto a ser adotado com firmeza, para ser desenvolvido em médio prazo, paralelamente à renovação e à expansão.

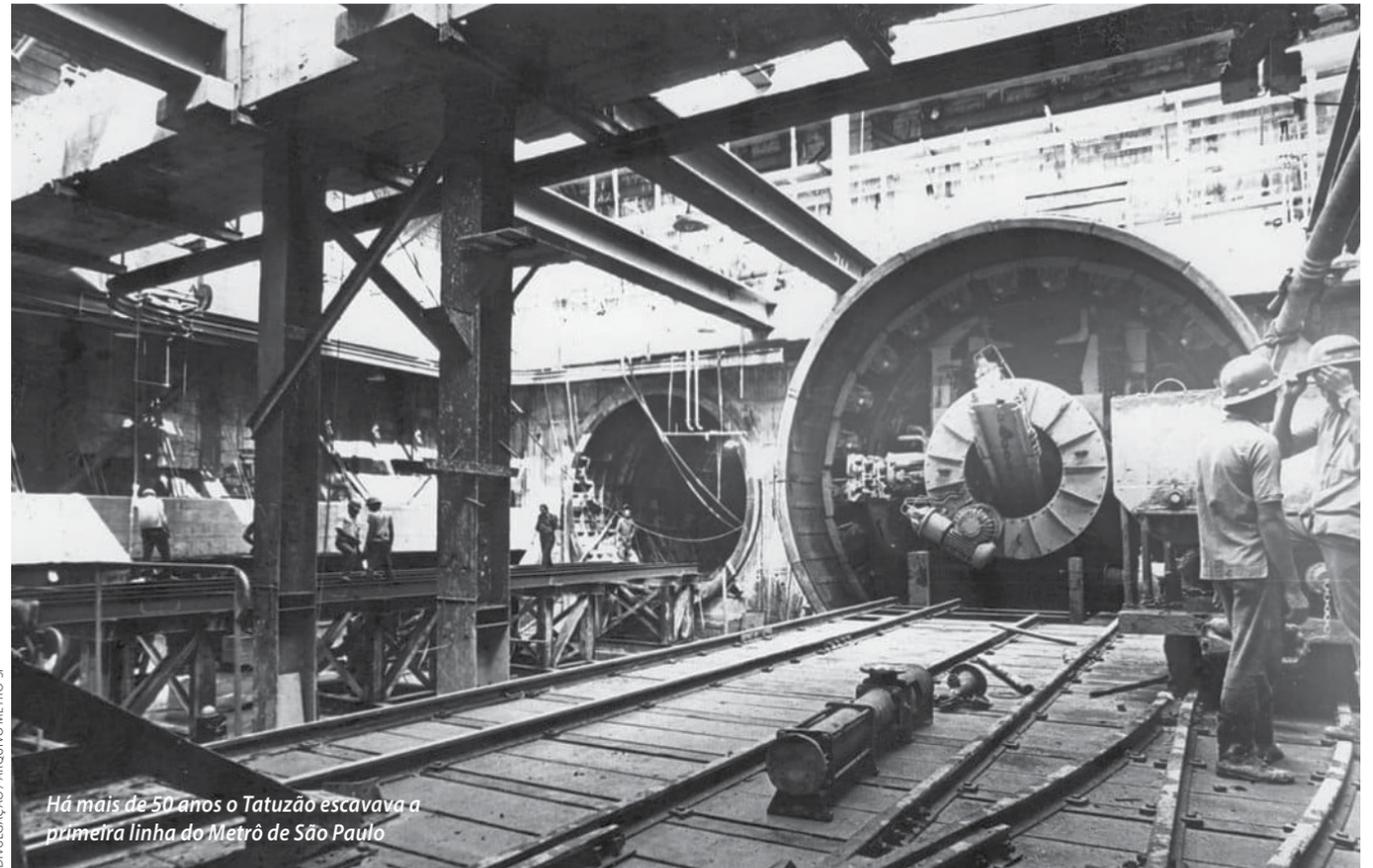
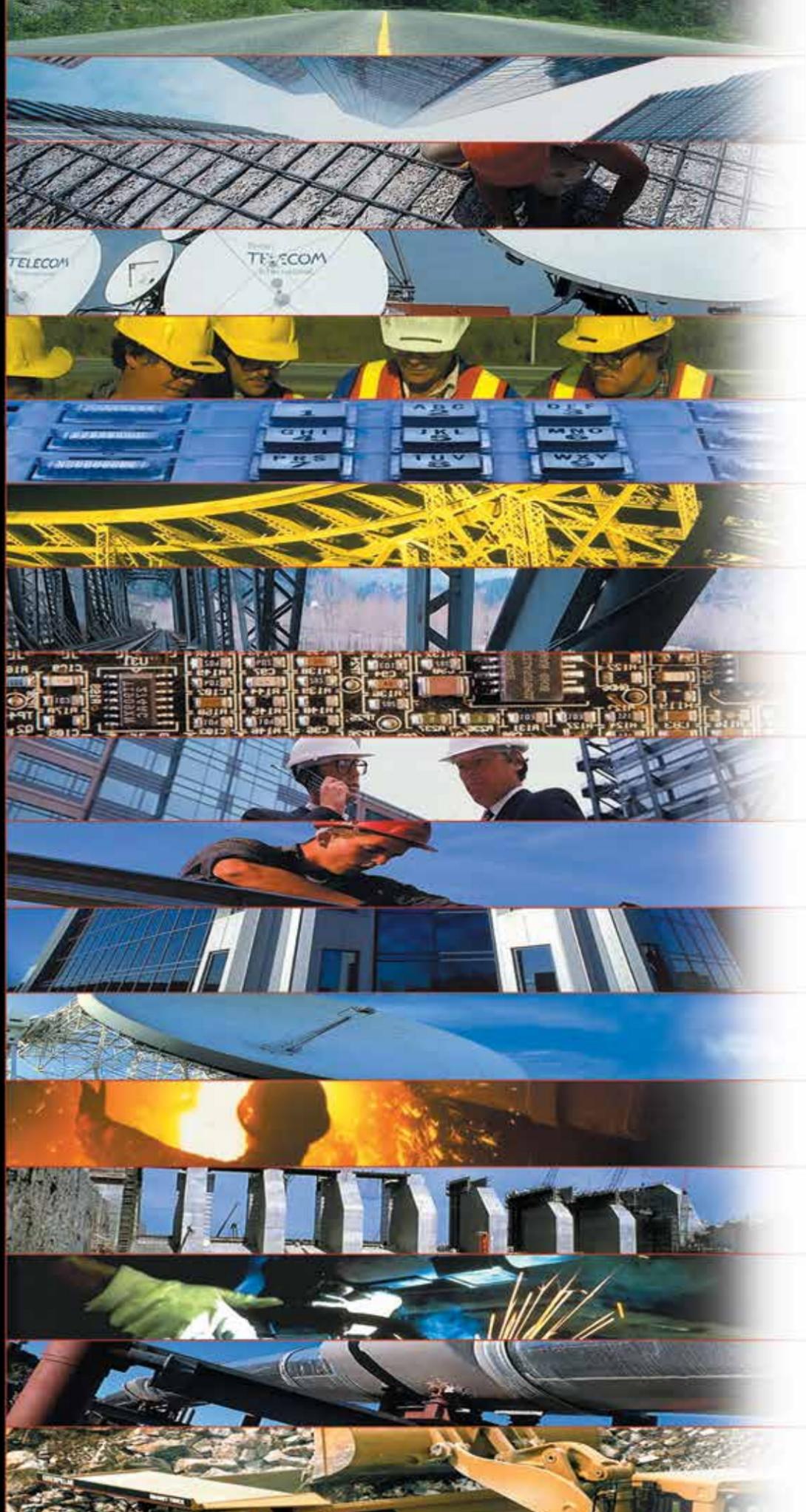
Evidentemente as novas tecnologias deverão ser avaliadas com profundidade, com suas reais vantagens em termos de economia nos custos operacionais e mesmo de implantação, além da sua segurança, da flexibilidade operacional e da garantia da disponibilidade de material rodante frente à disponibilidade de pessoal, que esta tecnologia proporciona.

No mundo atual marcado pela tecnologia, a sobrevivência de uma empresa depende substancialmente de sua renovação e atualização tecnológica. O Metrô de São Paulo que certamente deve grande parte de seu sucesso à sua modernidade, saberá se renovar e se preparar tecnologicamente frente aos desafios de sua expansão, e permanecer como um dos mais avançados do mundo, senão o mais avançado. 🚀

*\*Peter Alouche é Engenheiro Eletricista, formado no Mackenzie, pós-graduado em Sistemas de Potência na POLI-USP, com diversos cursos de especialização em transporte público na Europa e Japão. Foi durante 35 anos Assessor Técnico da Presidência do Metrô de São Paulo para Projetos Estratégicos e Tecnológicos. Foi por 25 anos, professor titular de Linhas de Transmissão nas Faculdades de Engenharia da FAAP e do Mackenzie. Hoje é Consultor independente nas áreas de tecnologia de Transporte. Tem inúmeros artigos publicados em revistas especializadas do Brasil e do exterior E-mail: peter.alouche@uol.com.br*



Equipe do Metrô de São Paulo por ocasião da última viagem do primeiro trem da Companhia



Há mais de 50 anos o Tatzão escavava a primeira linha do Metrô de São Paulo

DIVULGAÇÃO / ARQUIVO METRÔ-SP

## Metrô de São Paulo: desde o início um modelo para a engenharia civil

CARLOS EDUARDO MOREIRA MAFFEI\*

O Metrô de São Paulo contribuiu para a formação de várias gerações de técnicos, engenheiros e para a ampliação do limite do conhecimento da Engenharia.

Os inúmeros ensaios de campo, laboratório e as instrumentações nas obras das várias linhas do Metrô de São Paulo permitiram a consolidação do conhecimento geológico-geotécnico da Bacia de São Paulo.

Fui convidado a trabalhar na Promon Engenharia pelo Eng.º Dr.º Paulo Franco Rocha, para participar do projeto da primeira linha do Metrô de São Paulo, com uma equipe altamente qualificada, da qual destaco a Prof.ª Dr.ª Evelyn Bloen Souto.

Coordenava cerca de 200 engenheiros e técnicos, dentre os quais o Prof.º Dr.º Waldemar Hachich e o Prof.º Jaime Domingos

Marzionna, a quem quero prestar minhas homenagens póstumas.

Na Promon Engenharia tivemos a oportunidade de trabalhar com consultores estrangeiros e visitar metrôs de vários países. Esta troca de conhecimento e experiência foi fundamental para o êxito dos projetos e das obras nas primeiras linhas do Metrô de São Paulo, sendo que gostaria de citar uma em específico: o Trecho 3 da Linha Norte-Sul (hoje Linha 1-Azul).

### CONSIDERAÇÕES SOBRE OS PRIMÓRDIOS DA LINHA 1-AZUL

**Características de interesse dos métodos construtivos adotados**

Pretende-se resgatar parte do histórico do Trecho 3 do Metrô de São Paulo, caracterizado pela utilização de couraças para construção dos túneis de via, desde a Estação Ferroviária da Luz até o Largo Sete de

Setembro, onde iniciava-se o Trecho 4.

Fazia parte do Trecho 3 as Estações São Bento e Sé, esta denominada inicialmente Clóvis Bevilacqua ou, simplesmente, Estação Clóvis.

A figura 1 apresenta o traçado do Metrô desde a Estação Ferroviária da Luz até o Largo Sete de Setembro, sendo possível observar as diversas construções sobre os túneis do Metrô.

Destacam-se pela utilização de métodos construtivos especiais:

1. Travessia sob o Viaduto Ferroviário Santos-Jundiaí;
2. Travessia do Vale do Anhangabaú em baixa cobertura até o Muro de Contenção da Igreja / Colégio de São Bento;
3. Passagem sob a Rua Boa Vista;
4. Passagem sob o Viaduto General Carneiro (Boa Vista);

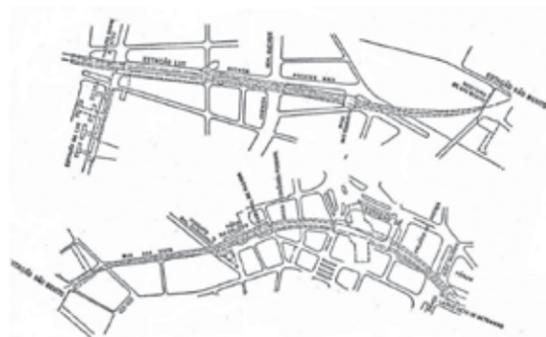


Figura 1 – Traçado do Trecho 3 do Metrô, Linha 1-Azul (Fonte: Silveira, E. B. S. e Maffei, C. E. M., 1975)

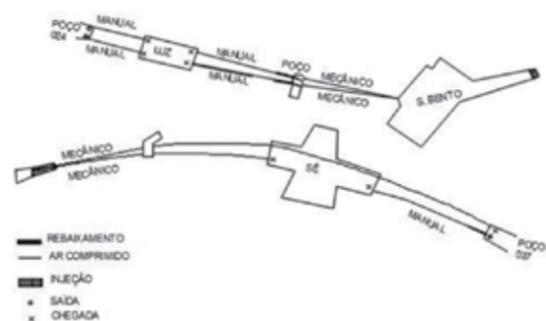


Figura 2 - Disposição das couraças manuais e mecânicas ao longo do traçado do Trecho 3 (Fonte: Adaptado de Silveira, E. B. S. e Maffei, C. E. M., 1975)

### TRAVESSIA SOB O VIADUTO FERROVIÁRIO SANTOS-JUNDIAÍ

Aventou-se, à época, executar o trecho da Rua Boa Vista por meio de método destrutivo, uma vez que não havia construções ocupando a rua. Entretanto, não havia espaço para implantar os dois túneis e ainda espaço para a implantação de poços de rebaixamento sem considerar, ainda, a possibilidade de danos nas edificações e, não menos importante, perturbar o próprio Centro Bancário. Destarte, foi resolvido executar também o trecho da Rua Boa Vista através de couraças superpostas.

Foram disponibilizadas quatro couraças, duas manuais e duas mecânicas (Bade II), dispostas conforme a figura 2.

As couraças manuais foram utilizadas no trecho considerado menos crítico, com poucas construções, como o Viaduto Santos-Jundiaí e a passagem sob as ruas até o poço VSE 024 na Avenida Prestes Maia.

A escavação da couraça manual é feita com equipamentos normais e o escoramento da frente é utilizado de acordo com a qualidade do maciço. As couraças manuais utilizadas eram do tipo abertas para permitir a escavação, mas com elementos de placas, cujas aberturas eram manejadas em função do comportamento do solo. O lençol freático foi controlado por meio de aplicação de ar comprimido, cuja pressão interna era regulada para estabilidade de frente e controle do lençol freático de modo a controlar a água e, ao mesmo tempo, evitando a percolação do ar comprimido.

A couraça mecânica (figura 3), apresenta frente constituída por facas para corte do terreno, de modo que a abertura pode ser controlada. Naturalmente, havendo necessidade de “fechar” totalmente os espaços entre as facas, não é possível escavar. Portanto, há necessidade de um mínimo de coesão do solo, o que é garantido pelo uso do ar comprimido.

A estrutura do Viaduto Ferroviário Santos-Jundiaí, na saída da Estação Ferroviária da Luz, era constituída de pórticos e, devido à

possibilidade de recalque diferenciais, interferirem na estrutura, foi resolvido executar travessamento com estrutura metálica entrelaçada.

### PARTICULARIDADES

#### Viaduto Estação Ferroviária Santos-Jundiaí

Em vista de as distorções terem sido avaliadas como inadmissíveis face, inclusive, à pouca experiência adquirida, optou-se por aumentar a rigidez da estrutura utilizando barras metálicas.

Os recalques observados foram da ordem de 11mm.

Da própria figura 4 é possível concluir a importância de serem mantidas as construções, inviabilizando o método *cut and cover*, implicando a escolha do método da couraça (Shield), informalmente conhecido como “tatzão” (figura 3), mesmo porque não estava disponível à época o método NATM.

A Avenida Prestes Maia, no Vale do Anhangabaú, encontra-se em cota inferior ao Largo de São Bento, de modo que a cobertura da couraça no Vale do Anhangabaú era mínima, mas o ar comprimido poderia percolar, causando *blow-up*.

Com a finalidade de evitar o *blow-up* no Anhangabaú, a travessia foi feita sob uma laje de concreto armado, ocupando o espaço da rua com dimensões em planta tais que o aumento do caminho de percolação e, conseqüentemente, do ar comprimido evitasse o fenômeno.

A diferença de cota de cerca de 14m entre o Anhangabaú e o Largo de São Bento é contida, ainda hoje, pela presença de um muro de pedra. Como a abertura das couraças relativamente às fundações do muro era mínima, resolveu-se “escorar” o muro com uma parede de concreto, ainda hoje visível pela Avenida Prestes Maia.

### TRAVESSIA DO VALE DO ANHANGABAÚ

#### Em baixa cobertura até o muro de contenção da Igreja / Colégio de São Bento

Na passagem das couraças sob a fundação do Colégio / Igreja São Bento praticamente não ocorreram recalques sensíveis na estrutura dos prédios, exceto por uma trinca que apareceu justamente no busto de São Benedito.

As couraças foram transladadas sobre as lajes da Estação São Bento. Como o pé direito entre as lajes é menor do que o diâmetro das couraças, a construção foi compatibilizada com a passagem das couraças (figura 5).

O arraste das couraças foi tornado possível pela criatividade do Eng.º Ballista, da Camargo Corrêa, ao adaptar uma “catraca”.

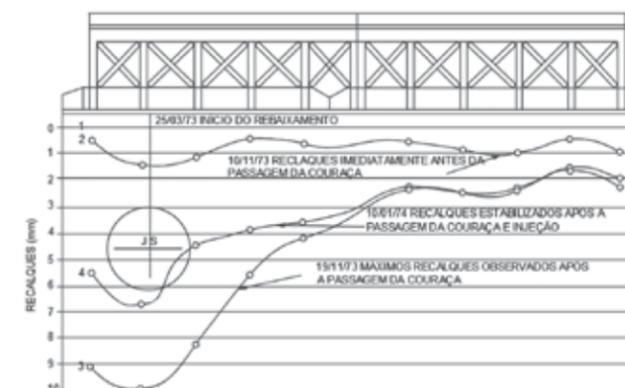


Figura 4 - Evolução da curva de recalques observados



Figura 5 - Muro de contenção

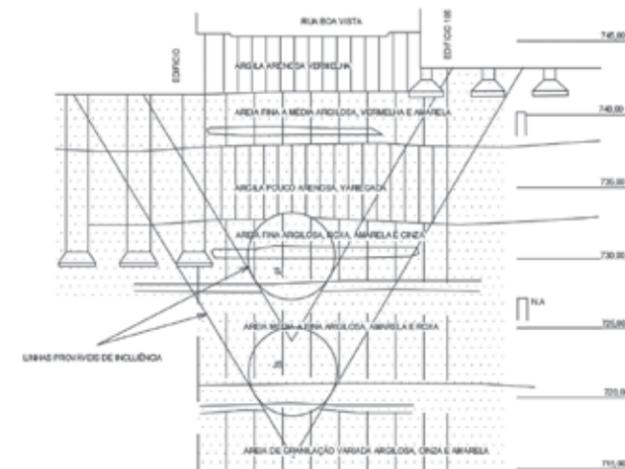


Figura 6 - Túneis superpostos

#### PASSAGEM SOB A RUA BOA VISTA

A Rua Boa Vista é estreita, de modo a tornar impossível a implantação de dois túneis, ainda que com pequeno espaçamento. Ademais, os edifícios construídos, chegando a mais de 14 andares, implicaram a execução de túneis superpostos, conforme a imagem da figura 6.

O lençol freático continuou sendo contro-

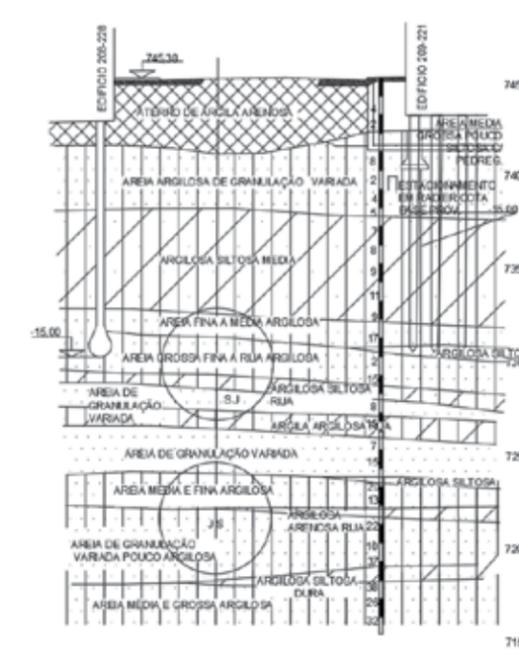


Figura 7 - Túneis superpostos

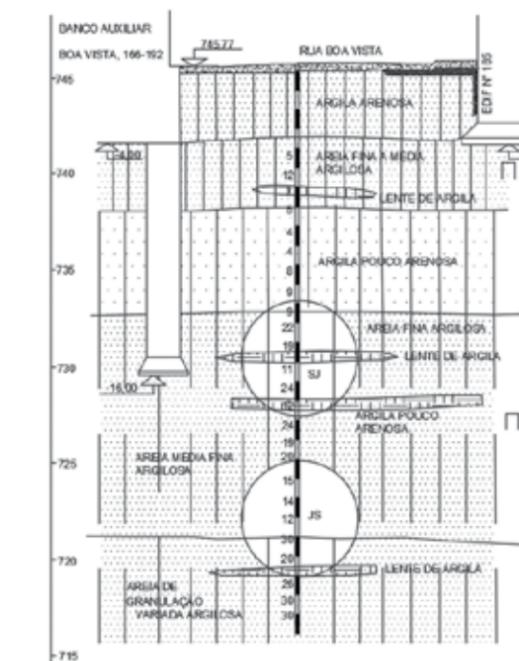


Figura 8 - Túneis superpostos

lado com a aplicação de ar comprimido. Naturalmente, o túnel inferior foi realizado antes.

Para que fosse possível elaborar o projeto, foi realizado um levantamento das características das estruturas dos prédios e detalhes, tais como fundação, subfundações, subsolos etc.

Não houve necessidade de estroncar o revestimento do túnel inferior pelo efeito

e eventual ovalização com a passagem do túnel superior, porque o espaço anelar entre os anéis era preenchido logo após a montagem de cada anel.

O projeto foi elaborado praticamente pela empresa Muir-Wood, mas a mesma não previu qualquer tratamento, melhoria no solo ou nas subfundações dos edifícios.

5. Passagem sob o prédio da Caixa Econômica Federal;
6. Subfundação dos túneis em couraça da Estação Sé (Antiga Clóvis)
7. Passagem sob o Palácio da Justiça.

de de um mínimo de coesão do solo, o que é garantido pelo uso do ar comprimido.

A estrutura do Viaduto Ferroviário Santos-Jundiaí, na saída da Estação Ferroviária da Luz, era constituída de pórticos e, devido à

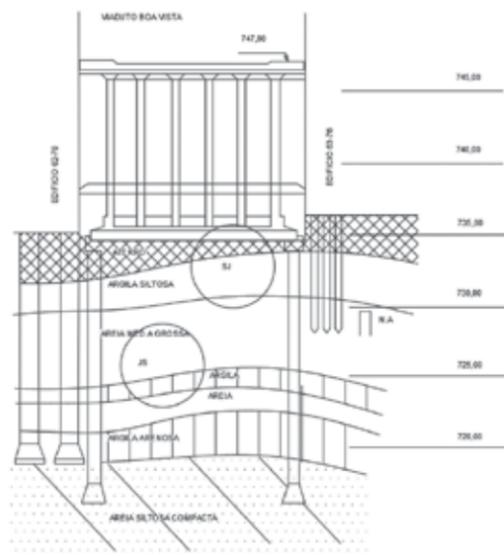


Figura 9 - Túneis superpostos

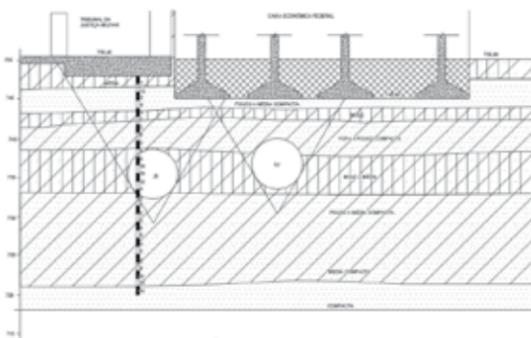


Figura 10 - Passagem sob o prédio da Caixa Econômica Federal

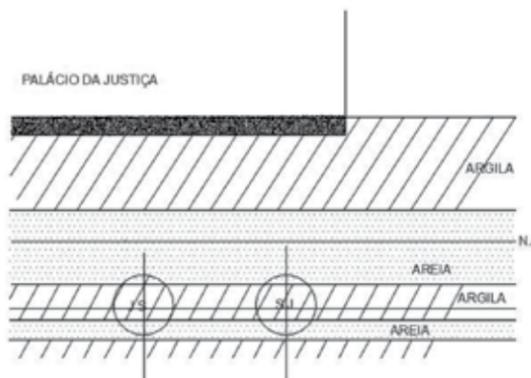


Figura 11 - Passagem sob o Palácio da Justiça

O receio de executar os túneis superpostos (figuras 7 e 8) na Rua Boa Vista fez o construtor contratar a consultoria da Soletanche, a qual previa condicionamento do solo em todo o trecho através de injeções, tendo sido colocado o seguinte problema, segundo o próprio Metrô: o preço havia sido contratado

sem qualquer tipo de tratamento. Quem pagaria a diferença?

Cooptada, a empresa não se responsabilizaria pelo projeto sem condicionamento.

O problema foi resolvido pelo Eng.º Epaminondas do Amaral, diretor técnico da Camargo Corrêa e pelo Eng.º Lauro Rios, diretor do Metrô.

Com os dados dos levantamentos de todas as estruturas seriam calculados os efeitos dos recalques e onde os cálculos – apoiados também na instrumentação, medidas de recalques comparadas com as de cálculos – indicassem problemas, seriam executadas injeções.

O Eng.º Epaminondas, ao analisar os cálculos da Promon, elaborados com a utilização do Método dos Elementos Finitos pelo Prof.º Hachich, praticamente assentiu em não realizar os tratamentos com injeções.

E assim, com o acompanhamento das obras e das medidas de recalques sempre bem abaixo das consideradas críticas, a obra foi realizada como prevista no Projeto Básico.

O único edifício onde foi executada uma subfundação com estacas-mega foi o do Banco Itaú, pois durante a construção foi resolvido mudar a arquitetura do nono andar em diante, após a construção atingir o oitavo andar.

O Prof.º Vasconcellos “exauriu” a reserva estrutural do prédio, de modo que foi preciso subfundar um dos pilares, cujo deslocamento vertical alcançava apenas 1mm.

### PASSAGEM SOB O VIADUTO GENERAL CARNEIRO (BOA VISTA)

Em função do desnível entre a Rua Boa Vista e a Ladeira Porto Geral havia sido executada a fundação do Viaduto com 200 estacas (tipo Forum), as quais interferiam com a passagem das couças, de modo que foi preciso executar uma nova fundação, através de tubulões a ar comprimido e reforçar a estrutura face ao vão livre para a passagem da couça, compatível com a estrutura do Viaduto e reforçá-la quando necessário para abrir espaço para a passagem dos túneis (figura 9).

### PASSAGEM SOB O PRÉDIO DA CAIXA ECONÔMICA FEDERAL

Havia necessidade, por questões de prazo (até onde a memória alcança), de permitir realizar testes com trens circulando pelos túneis em couça.

### SUBFUNDAÇÃO DOS TÚNEIS EM COURAÇA DA ESTAÇÃO SÉ (ANTIGA CLÓVIS)

Como a Estação Clóvis estava atrasada, não haveria tempo útil para terminar o escoramento das paredes-diafragma, desmontar as couças e executar a laje de fundo.

Enquanto as paredes-diafragma eram escoradas e escavadas, os túneis em couça eram utilizados, foi realizada a subfundação do túnel em couça por meio de uma subfundação (figura 10).

### PASSAGEM SOB O PALÁCIO DA JUSTIÇA

Devido às duas trincas da escultura de São Benedito, na Igreja de São Bento, à custa de observação, acabei compreendendo melhor o mecanismo que permite a formação das mesmas.

Por motivos de operação, e também por causa da sensibilidade da estrutura do rebuscado teto principal do Palácio da Justiça, apareceram trincas no Salão Nobre (figura 11).

### CONCLUSÃO

O bom desempenho das couças utilizadas demonstram que o conhecimento técnico não pode ser sobrepujado pelos equipamentos, modernos ou não. ➔

### Agradecimento

Parabenizo a Companhia do Metropolitan de São Paulo – Metrô, pelos 50 anos de operação comercial, também agradeço e cumprimento o diretor Editorial da BRASIL ENGENHARIA, Econ. Ricardo Mello, pela iniciativa de organizar esta publicação comemorativa.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] SILVEIRA, E. B. S.; E MAFFEI, C. E. M. – Artigo “Túneis em couça no Metrô de São Paulo”, apresentado no V Congresso Panamericano de Mecânica dos Solos, Buenos Aires, Argentina, 1975.  
[2] MAFFEI, C. E. M. – Artigo “Efeitos da Escavação pelo Método da Couça nas Edificações”, REVISTA ENGENHARIA, Edição 380, 1975.

\* Carlos Eduardo Moreira Maffei é Engenheiro Civil pela Escola Politécnica da USP, Professor Titular da POLI/USP, Doutor em Engenharia Civil pela POLI/USP, Diretor da Maffei Engenharia e Consultoria Ltda. E-mail: maffei@maffeiengenharia.com.br



NESTOR SOARES TUPINAMBÁ

é engenheiro, mestre em Urbanismo e consultor de Transportes

E-mail: nstupinamba@uol.com.br

## Registrando acervos...

Ao que parece no Brasil não se cuida dos acervos técnicos, que guardam importantes soluções encontradas e registradas pela sua competente engenharia.

Não sabemos onde se encontram os acervos técnicos do Desenvolvimento Rodoviário S.A. (Dersa), Companhia Energética de São Paulo (CESP) etc., que não estão acessíveis (muito embora gerados por uma empresa pública, razão pela qual, em tese, deveriam estar disponíveis a todos).

Também no Metrô-SP, que após a venda de suas linhas e do edifício Metrô-I, que abrigava o arquivo técnico e a biblioteca, a disponibilidade desse material restou prejudicada.

Talvez seja um comentário maçante ao leitor, mas os meus 47 anos fazendo projetos no Metrô-SP me impulsionam a fazer essa anotação, relembrando para a comunidade técnica alguns feitos relevantes.

Assim, faço um registro muito breve e incompleto, mínimo talvez, mas um início, que poderá ser enriquecido com outros que não aparecem aqui, para completar o que fizemos de boas e originais soluções. Vamos lá:

- Meio Ambiente: área em que o Metrô foi precursor, a cada árvore cortada 3 eram replantadas; nas obras da Estação República retiramos várias palmeiras Imperiais de 100 anos de vida com escavações profundas, o que era feito com guindastes, com raízes fechadas com sacarias úmidas levadas ao Jardim Botânico, local em que sobrevivem (diga-se, o que pelo porte das árvores foi um feito); no projeto da Linha 4-Amarela pleiteamos a restituição pela retirada de milhares de viagens de ônibus, o que representou ganho em crédito de carbono.

- Administração: nos anos 1990 adotamos o TQC (Total Quality Control) à moda japonesa, com muitos resultados nos 5S, a noção de Cliente Interno, além de sugestões originais magníficas vindas de empregados operacionais; avaliação 360 Graus entre chefias e subordinados; estímulo à pós-graduação em temas pertinentes; desenvolvimento de lideranças; formação do CRE, Conselho de Representantes dos Empregados; desapropriação de imóveis a preço de mercado, sem explorar o expropriado e sem pendências jurídicas.

- Nacionalização de equipamentos e fornecedores: só aceitávamos produtos com seus esquemas e projetos anexos, evitando as “Caixa-Pretas” e proporcionando economias vultuosas, pois tudo era feito internamente (temos trens rodando com mais de 40 anos porque são inteiramente recondicionados em nossas oficinas); anéis do Shield importados da Buderus, alemã, de ferro fundidos

(caros e de difícil manejo), após pesquisas foram nacionalizados pelos anéis de concreto, moldados *in- loco*, disponíveis no canteiro, que eram de manejo mais fácil e custos mais baixos.

- Assertividade pública (envolvimento com a comunidade): cadastro de redes públicas unificados feitos com todos os recursos (visitas de inspeção, plantas topográficas plani-altimétricas, inspeções com escavações, raios laser, detectores de metais) e cedidos à PMSP e todas as concessionárias de serviços públicos; Biblioteca e Acervo técnico abertos a todos os interessados (milhares de pesquisadores, professores e alunos nos visitavam e retiravam estudos, normas técnicas, documentos, tudo sem custo); Pesquisa O-D - Origem-Destino -, efetuadas de 10 em 10 anos e depois em 5 e 5 anos (Mni-OD), com um mapeamento de vontades, desejos e demandas de moradores nas regiões estudadas e cedidas às escolas, pesquisadores e até publicitários; eventos artísticos nas estações (o Metrô foi pioneiro das *Flash Mobs* com cantores da Orquestra Acadêmica de São Paulo, Estação Sé, onde havia um “duelo” de tenores e sopranos de ambos os lados de uma saída) surpreendendo os passageiros que chegavam; construção de “ligações locais” entre os lados separados pela ferrovia e Metrô na Zona Leste, com viadutos, passarelas e passagens subterrâneas; construção de creches no lado Leste da Linha 3-Vermelha; canalização de córregos na Zona Leste (Rincão, Gamelinha, Laranja Azeda, Rio Verde e outros), Zona Oeste (Água Preta), Zona Norte (várias galerias), Anel Viário Metropolitano (duplicação do Córrego), Córrego do Cordeiro e outros; construção da Rede Metropolitana de Trólebus e do Anel Viário Metropolitano (cerca de 60 km a soma dos dois); Ligação Oeste (reforma do sistema viário de Osasco até Itapevi), em sua obra básica; reforma de adutora da Sabesp (que abastece vários hospitais) por toda a extensão da Av. Dr. Arnaldo; levantamento da histórica (e perdida) Galeria do Moringuinho, encontrada nas obras da Estação Liberdade e descoberta em uma escavação, para que fosse cadastrada com o levantamento entregue à PMSP.

- Técnicas & Tecnológicas: estruturas metálicas de alumínio (liga estrutural) para grandes vãos (Estação Brás, Pedro II, Itaquera etc.); introdução da bitola larga para os trilhos (que trouxe maior velocidade e estabilidade); cura acelerada de vigas de concreto pretendidas (vigas de 38,00m de comprimento e 2,00m de largura no Elevado Sé-Brás), introduzindo-se um fio de cobre desencapado, por onde se passava uma corrente elétrica e com artifício, para se medir a temperatura e para se ava-

# A tecnologia na visão de uma testemunha ocular da história



**CLAUDIO DE SENNA FREDERICO**  
Engenheiro Consultor, formado pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

liar o desligamento; aterro de sobrecarga entre Penha e Artur Alvim, para eliminar “borrachudos” no solo a fim de obter uma adequada implantação da via; uso de concreto com micro-sílica na Estação República para se evitar infiltrações em sua estrutura (40m de profundidade); pesquisa de energia solar para uso nos trens; introdução do Método NATM (New Austrian Tunneling Method) para túneis urbanos, com pesquisas de Concreto Projetado (Shotcrete) e adequação ao seu uso na construção desses túneis, tornando-se referência mundial; Sistema Saci usado na Extensão Norte (não havia ainda a Internet), que foi a transmissão dos recalques nessa obra, em que se utilizou pioneiramente o Método NATM, por uma linha telefônica adaptada para a leitura no departamento de projetos a uns 15km de distância; leitura de cotas de inundações e uso de válvulas Flap para se evitar refluxos, introdução do Tempo de Retorno para cálculo de vazões em 50 anos (a PMSP usava 25 anos em vias expressas, só), e comportas para que os túneis nunca fossem inundados; substituição do Pilar 24 do Elevado Jango Goulart (Minhocão), que interferia com o túnel do Metrô, na Linha 3-Vermelha, por meio de uma sub-fundação, macaqueamento da estrutura e desvio para o novo bloco de fundação e feito sem interrupção do tráfego com sucesso; introdução da Implusão como método de demolição rápida e segura do edifício Mendes Caldeira, de 23 andares; estudo da Sub-Pressão e uso de lajes (3m de espessura), para se evitar a flutuação dos túneis; estudos e detonações de rochas em meio urbano; em conjunto com o IPT introdução de Paredes Diafragmas para contenções profundas e com fresadoras; execução de peças especiais em conjunto com o Liceu de Artes e Ofícios; concepção original de integração parcial de linhas à medida que os trechos eram terminados (orientação europeia e da HMD era somente com as linhas terminadas), com o Metrô construindo os terminais intermodais; construção da extensão leste, repassada a CPTM, para trens expressos e metrô com o Sistema Parador; uso do sistema para controle dos trens da Westinghouse na época apenas instalado no BART (Bay Authority Rapid Transit), metrô de São Francisco, EUA, contra a orientação alemã da HMD, com muito sucesso, já que ATC (Automatic Train Control) e ATO (Automatic Train Operation) controlam os trens automaticamente, só exigindo-se operadores devido à ausência das portas de plataformas, e hoje já em implantação o CBTC, um sistema moderno de controle de trens; adotamos as Portas de Plataformas, pioneiramente, no país, no Projeto da Linha 4-Amarela (o projeto dessa linha foi executado pelo Metrô e entregue ao Consórcio Via Amarela para execução; reconhecimento nacional e internacional; Metrô foi convidado pela Universidade de Londres para

ingresso no Commet Group (Commission of Metros), no qual somente se ingressava sob convite, por possuir importantes e originais benchmarkings; orientação consultiva à construção, sem lucro, para os metrôs de Rio Janeiro, Porto Alegre, Brasília e Salvador e, com remuneração, dos metrôs de Bagdá (11 km de projeto no trecho central) e Caracas (operação); ingresso no Guinness Book de recordes por ostentar 10,8 passageiros por m<sup>2</sup> na Linha 3-Vermelha em horário de pico.

Saibam que esse “report” é realmente um resumo. Isso porque, existiram muitos enfrentamentos no início dos projetos e das obras (muita oposição também), mas não conseguimos os depoimentos, já que dos iniciantes, que participaram de tudo, muitos estão aposentados e não foi possível a comunicação.

Importante mencionar, que o Metrô produz anualmente o seu Balanço Social, que mostra a economia gerada à sociedade por existir. São os chamados “intangíveis”.

Para terminar, relato que os empregados do Metrô eram importantes e emocionantes interlocutores com a comunidade nas inaugurações de novas linhas e estações. Os eventos ocorriam na ocasião do fim de semana e eram pagas horas extras para ajudar na logística dessas inaugurações. De fato, eram grandes eventos, que contavam com conjuntos musicais, artistas e distribuição de sanduíches aos empregados, que presenciavam a chegada do primeiro trem sob palmas e gritos de vivas dos moradores!

Lembro com emoção essa participação, que nos dava importante estímulo para os desafios, que sempre vinham.

Afinal, uma empresa pública, como na própria acepção do termo, deveria perseguir o atingimento de metas e não o lucro. A exemplo disso, os Metrôs de New York, Tóquio, Paris etc., que são públicos e usam do Contrato de Gestão, nos quais a subvenção é efetivada exatamente na medida do serviço prestado à sociedade. Ou seja, sem a simplória conta de “receitas X despesas”.

Torço para que continue assim.

P.S.: Estamos à disposição para fornecer maiores detalhes dos fatos citados. Realizamos agradecimentos aos colaboradores essenciais à elaboração dessa coluna e anoto que suprimi algumas partes, já que metroviários são orgulhosos no melhor sentido do termo e falam com riqueza documental sobre seus feitos, são eles: Arquitetos Ayrton Camargo, Nazareno Affonso; Engenheiros: Argimiro Alvarez; Cyro Mourão Filho, Eduardo Pacheco, Fábio Gianini, Jelson Siqueira, José F. Pereira (Pereirinha), Ilona Schiffer, e Marco A. V. Machado. Agradeço muitíssimo a todos pelas contribuições. 📧

**D**terno apaixonado pela tecnologia, Claudio de Senna Frederico conta como ela esteve associada – e sempre estará – à história do Metrô de São Paulo.

Quando o assunto é experiência na área de Transportes, poucas histórias de vida e currículos profissionais se equiparam ao de Claudio de Senna Frederico, engenheiro formado pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro em 1966, e hoje, sem embargo, uma das maiores autoridades em consultoria na área no Brasil e no mundo.

Contudo, com níveis de precocidade espantosa, essa trajetória teve início muito mais cedo. “Desde a infância, sou um desses apaixonados por tecnologia, e sempre trabalhei com ela pelo menos desde 1970, e nunca me afastei dela depois. Lembro que, em 1947, com apenas cinco anos de idade, quando os outros pais levavam seus filhos para assistir atividades esportivas, o meu me levava para o laboratório da Universidade da Califórnia, a UCLA, onde ele estava ajudando no desenvolvimento dos primeiros computadores americanos. E nunca me afastei da tecnologia desde então”, conta ele, com orgulho.

E, profissionalmente, isso vem acontecendo desde o início da década de 1970, quando Claudio de Senna começou a atuar na então recentemente implantada Companhia do Metropolitano de São Paulo. Um dos acontecimentos mais icônicos que ele lembra dessa fase aconteceu no dia 06 de setembro de 1972, quando ele acompanhou a primeira viagem de um trem do Metrô no Brasil, que, na verdade, era só um protótipo com dois carros, que rodou por cerca de 500 metros, sem passageiros, mas que representou um salto tecnológico marcante para a época, sob os olhares atentos do então presidente da República Emílio Garrastazu Médici. (NE: Com muito bom humor, Claudio contou essa história em uma instigante reportagem publicada no jornal Folha de S. Paulo, 50 anos depois, que vale muito a pena ler no link <https://shre.ink/brasilengenharia>). E, após dois anos da realização desse teste pioneiro, e seis após o começo das obras da então chamada “Linha Norte-Sul”, hoje Linha 1-Azul, a primeira linha de metrô no Brasil foi aberta ao público no dia 14 de setembro de 1974.

**50 ANOS E ALÉM** - O Metrô de São Paulo começou a construir sua primeira linha em 1968. E desde seu início, foram adotadas as soluções mais avançadas e, mais importante, com a liderança autônoma de sua equipe técnica e sem representar uma cópia ou *turn-key* de nenhum outro metrô de países mais avançados. Isso, inclusive, porque ao fim era ele, talvez, o metrô mais atualizado e moderno da época.

Entretanto, na leitura de Claudio de Senna, o ponto de

inflexão do período – que era o mencionado abandono de qualquer repetição de projetos

inteiros de fora – aconteceu especialmente entre 1970 e 1974, uma época bastante movimentada no âmbito da evolução tecnológica marcada, por exemplo, pelo surgimento dos primeiros PCs, do *Floppy* de 8” e da primeira impressora *laser*, todos em 1971, e da primeira tela de LCD, em 1972.

Tendo isso como pano de fundo, em uma situação que mesclava boas novidades na área da tecnologia, Claudio de Senna afirma que o desafio de tocar a obra adiante foi particularmente grande. Em especial, uma das razões disso era o de formatar um time técnico à altura da envergadura do desenvolvimento do projeto. E, para vencê-lo, não teve jeito: foi necessário agir com proatividade.

“A partir do final dos anos 1960, e durante o início dos anos 1970, a Companhia do Metropolitano de São Paulo – Metrô, começou a atrair uma equipe jovem, mas que, de forma geral não tinha qualquer experiência metroferroviária, e nem mesmo de transporte público. Os profissionais vinham das indústrias que brotavam no Brasil, principalmente das siderúrgicas, e dos setores automobilístico, elétrico, químico e das metalúrgicas. E a equipe que se formou estava ansiosa e disposta a se responsabilizar por um projeto tecnologicamente novo, para que este não fosse uma simples cópia de metrôs antigos”, destaca.

Por conta disso, a política de como implantar o metrô de São Paulo teve que se alinhar não só àquela época de desenvolvimento industrial acelerado, como também à aspiração dos técnicos de tomar o controle sobre os projetos nacionais e a tecnologia que seria desenvolvida. “E vale frisar que a tecnologia sempre esteve associada a esses objetivos produtivos e, ao mesmo tempo, motivadores para os passageiros. Por conta disso, o sucesso da inauguração do Metrô de São Paulo foi um resultado não apenas natural, mas cuidadosamente construído”, faz questão de registrar Claudio.

E os projetos futuros do metrô em São Paulo? “Bem, a atual popularidade da tecnologia precisa ser aproveitada para alavancar e corrigir suas deficiências estruturais. Então, sua ‘natureza’ incompleta deve partir de projetos de transporte com resultados desejados e viáveis, para, de fato, ser útil. Se não for assim, perderemos a oportunidade de ouro, e a tecnologia nada mais será do que uma custosa distração, ou uma “saída de relações públicas”, explica sabiamente o renomado consultor, citando, em tradução própria, uma frase do criador do behaviorismo, B. F. Skinner: “O verdadeiro problema não é se as máquinas pensam, mas se os homens pensam.” 📧

# O vinho



# de talha



**IVAN CARLOS REGINA**

é engenheiro do setor de transporte público, autor dos livros "Vinho, o Melhor Amigo do Homem" e "Harmonizando Vinho & Comida" E-mail: ivanregina@terra.com.br

**O**s vinhos costumam modernamente serem fermentados em grandes tanques de aço inox ou mesmo em cubas de cimento revestidas em epóxi.

Muitas vezes os vinhos também podem ser fermentados diretamente no barril de madeira, e depois permanecerem lá mesmo para serem envelhecidos, como é o caso de alguns bons vinhos feitos com a casta Chardonnay, que se presta muito bem a esta técnica.

De uns tempos para cá, contudo, uma velha prática vinícola está voltando à moda, os vinhos fermentados em talhas.

Estamos nos referindo a vinhos feitos em grandes ânforas de barro. A palavra talha se origina do latim "tinalia", que significa "vaso de grandes dimensões".

Tradicionalmente, para produzir o vinho de talha, as uvas são esmagadas (normalmente pelo sistema de pisa) antes de serem colocadas no recipiente. Vindo de uma tradição ancestral, tende-se a não fazer intervenções no vinho, portanto, espera-se que a fermentação se inicie naturalmente por meio das leveduras indígenas.

Quando a fermentação se inicia, sobem para cima do líquido borras, formadas de peles, sementes e outros resíduos da uva. Este dito "chapéu" precisa ser quebrado e novamente imerso no vinho para que a fermentação se dê sempre no modo aeróbico.

Uma vez terminada a fermentação é necessário que o vinho não sofra com a entrada de ar, o que se alcança mediante o fechamento das talhas com pano, madeira, ou mesmo, como se fazia antigamente, adicionando uma camada de azeite para isolá-lo da atmosfera.

Tanto os brancos como os tintos costumam ser feitos desta mesma maneira. Muitas vezes as uvas de ambas as cores são misturadas e o produto obtido é um vinho rosado.

Entre as tradições portuguesas está a abertura das talhas no dia de São Martinho, no dia 11 de novembro, quando quase sempre o vinho novo já acabou sua fermentação. Um ditado diz – "No dia de São Martinho, coma pão e beba seu vinho".

Os vinhos de talha, assim como outros estilos de vinho produzidos de forma quase ancestral vivem um renascimento nos últimos anos. A pouca intervenção faz com que sejam vinhos muito francos, de fruta muito presente e direta, e, devido à talha e ao processo de produção, geralmente apresentam toques ligeiramente minerais e oxidativos.



FOTO: JOÃO CANENA / VIDIGUEIRA / PORTUGAL

Uma região que vem investindo muito nesta técnica é o Alentejo, que é a maior produtora de vinho em Portugal.

A moda dos vinhos feitos em talhas coincide com os chamados "vinhos laranja", que nada mais são do que vinhos brancos produzidos como se fossem tintos, ou seja, durante e depois da fermentação são deixados em contato com suas borras.

Como vimos nas talhas este processo ocorre naturalmente, e o vinho laranja entrou em moda há poucas décadas, principalmente por um vinicultor radicado no Friuli-Venezia-Giulia, uma região no nordeste da Itália espremida entre a Áustria, a Eslovênia, o Mar Adriático e o Veneto, conhecida pela influência climática dos Alpes e por seus incríveis vinhos brancos.

Seu nome é Josko Gravner, e seus vinhos laranja, feitos em talhas, são reputados e caríssimos. Ele se utiliza de castas autóctones da sua região, como a Ribolla Gialla e outras.

Até 1990 ele era um produtor de excepcionais vinhos brancos, quando resolveu, após uma visita ao Estados Unidos da América, radicalizar e passar a fazer seus vinhos de forma tradicional e, para isso, foi estudar na Geórgia (considerada a região mais antiga na produção de vinhos artesanais).

No começo do século 21 começou a lançar seus vinhos laranja, que ele, dono de um temperamento apaixonado, diz serem âmbar (e não laranja). Inicialmente as críticas foram péssimas, pois as pessoas não conseguiam entender aquele vinho estranhamente concentrado e perfumado, diferente do que já haviam bebido antes.

O sucesso demorou a chegar, mas foi retumbante.

Hoje os vinhos laranja são um sucesso absoluto. Por serem muito expressivos, nem sempre são vinhos fáceis de harmonizar com a comida. Precisam de pratos sofisticados e com grande concentração de sabor, por isso muitas vezes é mais simples bebê-los sozinhos, como aperitivos.

Já os vinhos de talha tintos, por seu caráter amável e frutado, podem ser degustados com pratos mais simples, como um ensopado de frango ou de carne.

No mundo do vinho, o que vale é a diversidade. A variação dos vinhos é extraordinária. Assim corra para experimentar mais estas duas novidades: O vinho de talha e o vinho laranja. Saúde! 🍷

**DANTAS, Raul Omar de Oliveira.**  
**Perícia e auditoria de obras públicas.**

São Paulo - SP, Oficina de Textos, 2024, 320p.

O livro traz um conteúdo inédito e aprofundado sobre os elementos essenciais na elaboração de licitações para obras de engenharia, oferecendo um guia prático para profissionais que lidam direta ou indiretamente com obras de engenharia na Administração Pública, tratando o tema com uma abordagem detalhada dos elementos essenciais na elaboração de licitações de obras de engenharia. O livro foi escrito com

uma linguagem acessível e direta, permitindo que leitores de diferentes níveis de conhecimento compreendam facilmente os conceitos abordados. Isso facilita a absorção das informações e a aplicação prática do conteúdo. Este livro oferece uma análise atualizada conforme os novos requisitos legais, assegurando que o leitor esteja em total conformidade com a legislação vigente.



**FUSCO, Pércles Brasiense;**  
**ONISHI, Minoru.**  
**Introdução à engenharia de estruturas de concreto.**

São Paulo - SP, Cengage Learning Edições, 2018, 264p.

Esta obra, escrita de modo didático e apoiada por ilustrações técnicas e exercícios, objetiva esclarecer os conceitos básicos de fabricação e de utilização do concreto estrutural, isto é, do concreto juntamente com suas armaduras de aço, tendo em vista a execução do projeto. Finalmente, para conhecer a qualidade daquilo que realizará, é apresentada uma visão básica das regras da Teoria das Estruturas referentes à Engenharia Civil.



**KOUZES, James M.;**  
**POSNER, Barry Z.**  
**Aprendendo a liderar: os cinco fundamentos para se tornar um líder exemplar.**

Rio de Janeiro - RJ, Editora Alta Books, 2017, 352p.

A verdade é que os melhores líderes são os melhores alunos. A liderança é um conjunto de habilidades que, como quaisquer outros, podem ser aprendidas e melhoradas. Tornar-se um líder exemplar não é fácil. Requer autoconfiança, aspiração, determinação, suporte e prática deliberada. Mas com determinação sólida e orientação de apoio todo mundo pode aprender a se tornar um líder melhor do que é hoje. Aprendendo a Liderar entrega a estrutura concreta e os passos práticos para construir líderes exemplares para os desafios de hoje e de amanhã. Seja você um líder experiente ou alguém novo no papel, este guia completo oferece estratégias baseadas em evidência para assumir o controle do seu próprio desenvolvimento de liderança e libertar o seu líder interior.



**CAMPOS, João Carlos de.**  
**Elementos de fundações em concreto (2ª edição).**

São Paulo - SP, Oficina de Textos, 2022, 400p.

Diante da complexidade do projeto estrutural de edificações, é comum que engenheiros e projetistas se depararem com uma série de questionamentos: O que se pode considerar como segurança razoável ou como resistência adequada? O que é custo aceitável? Que vida útil deve ser prevista?

Em Elementos de Fundações em Concreto, o engenheiro e professor João Carlos de Campos detalha e exemplifica os cálculos estruturais, e também discute as características e as aplicações de fundações em concreto armado.

As etapas da Análise Estrutural, o dimensionamento de peças de concreto e modelos de cálculo para o controle de fissuras, as características do solo e os cálculos de tensão: tudo isso pode ser encontrado no livro.



**FERRAZ, Nelson Newton;**  
**BOTELHO, Manoel Henrique Campos (em memória).**  
**Construção de um aterro: uma história tecnológica.**

São Paulo - SP, Editora Blucher, 2024, 191p.

Este livro conta uma história que retrata uma situação muito comum em todo o país: um desastre com destruição de um aterro numa estrada municipal de significativa importância para a economia local e, justamente por isso, a necessidade de reconstruí-lo com urgência. Mas, esta urgência não deveria desprezar aspectos técnicos, fundamentais para evitar um colapso como o que destruiu o aterro antigo. Para tanto, as autoridades políticas

locais decidiram seguir o caminho indicado pela técnica, além, é óbvio, do bom senso. É essa a história contada que retrata todos os aspectos políticos e os aspectos técnicos da empreitada. Ali se descreve todos os trâmites, principalmente os técnicos, percorridos para atingir os objetivos propostos. Apresenta normas a serem observadas e parâmetros básicos de contratos com empreiteiros, considerações sobre fiscalização das obras, bases técnicas aplicadas, além de um glossário dos termos empregados no decorrer dos trabalhos.



**PINHEIRO, Antonio Carlos da Fonseca Bragança;**  
**CRIVELARO, Marcos.**  
**Materiais de construção (3ª edição).**

São Paulo - SP, Editora Érica, 2020, 184p.

O livro Materiais de Construção aborda os conceitos ligados à ciência e à engenharia de materiais no setor de construção civil, apresentando sua evolução desde a Antiguidade até o início do século 21. Trata da exposição dos ensaios e os critérios para seleção dos materiais (metais, cerâmicas, compósitos, semicondutores e biomateriais), com destaque para normalização, unidades e notação científica. Discorre, ainda, sobre temas como argamassa armada e suas técnicas de execução, sistemas de pintura, polímeros na construção civil e vidro inteligente.



**TERRIBILI FILHO, Armando;**  
**MARTINS, Marcelo Carvalho.**  
**Negociação em projetos: como obter melhores acordos no gerenciamento de projetos.**

Rio de Janeiro - RJ, Editora Alta Books, 2023, 158p.

Há centenas de livros que tratam do tema negociação, de renomados autores nacionais e internacionais; entretanto, se algo lhe chamou atenção neste livro é porque você sabe que negociação em projetos tem suas particularidades, pois não é competitiva e transcende questões exclusivamente financeiras. Em projetos se negociam prazos, recursos humanos, infraestrutura, empréstimos, férias e também, é claro, se negociam condições comerciais.

A vida de um gerente de projetos é negociar o tempo todo, não somente com fornecedores, mas também, com a equipe do projeto, com o patrocinador, com áreas internas da empresa e, por vezes, com a mídia. Se o gerente de projetos atua em uma empresa de prestação de serviços, há ainda outro elemento de negociação: o cliente, com quem as negociações de escopo, de requisitos de qualidade e de critérios de aceite, muitas vezes, se tornam difíceis e tensas.



**DAS, Braja M.;**  
**SOBHAN, Khaled.**  
**Fundamentos de engenharia geotécnica (9ª edição).**

São Paulo - SP, Cengage Learning Edições, 2019, 712p.

Este livro apresenta um panorama das propriedades e do comportamento do solo, além de discutir as práticas de campo e procedimentos básicos de engenharia. A clareza na explicação dos fundamentos da mecânica de solos desta obra desperta o interesse e o apreço dos estudantes de Engenharia, Arquitetura e Geologia pela área de engenharia geotécnica em geral.

Esta edição contempla uma cuidadosa revisão, um novo capítulo que traz uma introdução aos geossintéticos e examina os progressos e desafios desta área em constante expansão, além de novos exemplos e exercícios. Foram incluídos também textos em destaque sobre os solos tropicais que contemplam peculiaridades destes solos de larga ocorrência no Brasil.



**PAULA, João José Alves de.**  
**Cabos elétricos de potência: dimensionamento.**

São Paulo - SP, Editora Blucher, 2023, 444p.

Com esta obra, espera-se que os engenheiros atuais e futuros tomem um conhecimento profundo dessas metodologias, de modo que não somente saibam o que seus softwares estão fazendo, mas possam criar novos e melhorar os atuais. Esta obra traz as metodologias dos principais critérios de dimensionamento de cabos elétricos de potência e tem o objetivo de ser um material de consulta para projetistas de instalações elétricas, engenheiros de concessionárias de energia e para fabricantes de cabos elétricos e também como material didático para cursos de Engenharia. As metodologias baseadas em desenvolvimentos teóricos consolidados têm sua fundamentação demonstrada, enquanto aquelas mais empíricas ou com desenvolvimento teórico menos consolidado são somente apresentadas.



**CARVALHO JÚNIOR, Roberto de.**  
**Sistemas prediais hidráulicos e sanitários: princípios básicos para a elaboração de projetos (5ª ed.).**

São Paulo - SP, Editora Blucher, 2023, 368p.

O projeto hidráulico-sanitário é indispensável em uma obra, pois evita inúmeros erros na montagem das instalações, falhas de concepção sistêmica, falhas de compatibilização com os projetos arquitetônico e estrutural e erros de dimensionamento. Além de um bom projeto, é necessário o emprego de materiais de qualidade comprovada, pois os reparos nos sistemas prediais sempre apresentam custos elevados. Em trinta anos de atuação como projetista de instalações hidráulico-sanitárias, o engenheiro e professor Roberto de Carvalho Júnior constatou vários problemas relacionados à elaboração, à leitura e à compreensão do projeto hidráulico-sanitário por parte dos projetistas e de outros profissionais que atuam na construção civil.



**BELLEI, Ildony H.**  
**Edifícios industriais em aço (7ª ed.).**

São Paulo - SP, Oficina de Textos, 2024, 224p.

Este livro apresenta todos os fundamentos para que profissionais e estudantes possam desenvolver um projeto de edifício industrial em aço, desde os tipos de materiais e componentes até as etapas do processo de construção, do detalhamento à montagem. Ao longo de seus 21 capítulos, o livro edifícios industriais em aço trata de: Noções básicas; Partes que compõem um edifício industrial e a estrutura metálica; Etapas do processo de construção; O material complementar traz quatro apêndices com resumo e adaptação da especificação do AISC.

Esta 7ª edição foi revista para atender as novas especificações do AISC, sempre dentro do método das tensões admissíveis (ASD) e a NBR 8800. Com abordagem prática e mais de 700 ilustrações, é uma valiosa referência para profissionais, professores e alunos de Engenharia.



**JABBOUR, Ana Beatriz Lopes de Sousa;**  
**PEREIRA, Dhárana Grassi;**  
**LIMA, João Vitor Pedroso de.**  
**Minidicionário acadêmico: engenharia de produção.**

Rio de Janeiro - RJ, Editora Alta Books, 2015, 176p.

A motivação principal encontrada pelos pesquisadores na construção deste minidicionário foi o fato de que, atualmente, no Brasil, não existe um material que abranja todas as diversas áreas de conhecimento da Engenharia de Produção, mas apenas dicionários de termos específicos a certas áreas, como Logística e Planejamento e Controle da Produção. Sobre a engenharia de produção: É um curso novo (40 anos na história do Brasil) e possui uma formação híbrida (economia, administração e engenharia), então, certos termos e siglas não são muito bem definidos, além de haver termos específicos. É também um curso de graduação que tem crescido e expandido, portanto, propor um instrumento que auxilie o ensino de disciplinas iniciais em Engenharia de Produção se torna importante pra embasar os professores, alunos e profissionais.



## Mobilidade urbana e o Metrô



Vivemos tempos difíceis na mobilidade urbana nas cidades, onde os tempos de viagem aumentam e, cada vez mais, tornam a vida muito difícil para as pessoas que seguem para seus empregos, para escolas, suas compras e mesmo no lazer.

Isso é decorrência da migração das atividades das regiões rurais para as cidades, que implicou, na Região Sudeste, a existência de mais de 90% das pessoas vivendo nas cidades. A média nacional também é muito alta, acima dos 80%. Essa condição exige do poder público nas esferas federal, estadual e municipal, políticas públicas que enfrentem tais dificuldades. Nas recentes estatísticas sobre as demandas da sociedade, a mobilidade urbana já está no patamar da segurança e da saúde.

E para oferecer as condições que as pessoas merecem, é fundamental políticas públicas que incentivem o transporte coletivo e inibam o crescente uso do transporte individual. Em 2012, por meio da Lei 12.587/2012, foi apresentada a Política Nacional de Mobilidade Urbana (PNMU), com o objetivo de orientar as políticas públicas, cuja chave é a priorização ao transporte não motorizado, o transporte coletivo, a integração modal, e a aderência aos programas habitacionais e de saneamento básico. Entretanto, decorridos mais de uma década dessa promulgação, cada vez mais o uso do automóvel continuou aumentando drasticamente, se comparado com a expansão da infraestrutura viária, como também com o transporte coletivo, seja por ônibus ou trens, em total desobediência à legislação. Nesse período, a frota de automóvel simplesmente dobrou!

Diante desse cenário, a situação não é ainda mais crítica na cidade de São Paulo porque foi criada a Companhia do Metropolitano de São Paulo, que realizou sua primeira viagem comercial no dia 14 de setembro de 1974. Desde o princípio, o Metrô-SP esteve na vanguarda da boa Engenharia e das novas tecnologias em cada uma das suas etapas de construção e de operação, sendo um orgulho para a indústria da indústria brasileira. Precisamos escrever um extenso livro para apresentar tudo que o Metrô-SP trouxe em termos de novas tecnologias ao Brasil e à América Latina. E, neste artigo, vou citar algumas delas.

Na Construção Civil, por meio de consistentes estudos geológicos, o Metrô passou a utilizar as TBMs – *Tunnel Boring Machines* –, que permitem maior rapidez construtiva, e que interferem menos no viário urbano do que os métodos do “cut-in-cover” e o NATM. O processo dessa metodologia se dá com o uso do “Shield”, popularmente conhecido como “Tatuzão”.

Já na superestrutura da via permanente, desenvolveu sua Engenharia com a colaboração com universidades da Europa

e empresas especializadas, o sistema “Massa-mola”, que implica menores níveis de vibração e de ruído, bem como de intervenções da via para manutenção, quando comparado ao tradicional sistema de “Lastro”. Isso promove maior conforto para os passageiros, e menores vibrações e barulho para o entorno, o que redundou em grande aceitação da população nas regiões por onde passa o Metrô.

Nessa mesma direção, a Cia. do Metrô SP desenvolveu os Aparelhos de Mudança de Via de Ponta Móvel, que além de minimizarem os desgastes, também proporcionam maior conforto ao passageiro na entrada e saída da estação, bem como dos cruzamentos.

Na área de Sistemas, o Metrô-SP foi pioneiro em implantar o Sistema de Controle de Trens Baseado em Telecomunicações (CBTC), que permite, com total segurança, a manutenção de intervalos de trens próximos a 90 segundos, oferecendo mais trens aos passageiros. Também foi o Metrô-SP que trouxe a tecnologia do sistema “Driverless”, por meio do qual o trem opera com total segurança sem operador, sendo totalmente controlado pelo Centro de Controle Operacional (CCO). Também no material rodante (trens), a empresa foi pioneira no uso dos motores de tração de corrente alternada, com controle “Insulated Gate Bipolar Transistor” (IGBT), que proporciona melhor desempenho e menor consumo de energia.

Para maior conforto dos passageiros os veículos são equipados com ar-condicionado e câmeras de segurança nos salões. Ainda no ambiente da segurança dos passageiros, o Metrô-SP foi pioneiro na instalação das portas-plataformas nas estações, que operam totalmente automatizadas com a chegada e saída dos trens. E, mantendo a boa Engenharia nos projetos das construções civis, o Metrô opera com o sistema “Building Information Modeling” (BIM) nas etapas da pré-construção.

Com certeza, e sem nenhuma dúvida, na construção das novas linhas, a Companhia do Metropolitano de São Paulo continuará com sua saga desenvolvimentista. E não temos dúvida também de que células de hidrogênio, drones, Inteligência Artificial, *blockchain* e outras tecnologias do futuro serão adotadas nos momentos apropriados.

Finalizando, não poderia deixar de ressaltar que, ao longo desses 50 anos, todo desenvolvimento, pioneirismo e inovação tecnológica em benefício dos passageiros se deve à competência, à dedicação e à excelência dos colaboradores da Companhia do Metrô-SP, sem os quais esses resultados não teriam sido alcançados. 🚀

### JEAN PEJO

é secretário-geral da Asociación Latinoamericana de Ferrocarriles (ALAF – Brasil), diretor do Instituto de Engenharia de SP, e ex-secretário nacional de Mobilidade e Serviços Urbanos

Equipamentos de ponta, adaptabilidade inovadora e alta tecnologia para obras de excelência.



Equipamentos para:

- Fundações
- Contenções
- Tratamentos de solo



tecnogeo.com.br

A iDrill é a fabricante de equipamentos da TecnoGeo Ground, especializada em atender demandas de forma personalizada às condições de cada projeto, melhorando a produtividade e garantindo segurança e conforto para os trabalhadores.

# SOLUÇÕES DE TRANSPORTE PARA UM PLANETA MELHOR

O aumento da população e da concentração urbana fazem das infraestruturas de transporte os pilares sobre os quais o desenvolvimento sustentável deve estar apoiado. Na ACCIONA, construímos infraestruturas resilientes que contribuem para o bem-estar da sociedade de hoje e das gerações de amanhã.



Saiba mais em:



BUSINESS AS UNUSUAL