



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS

TIC TRENS

CPTM

31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

CATEGORIA 3

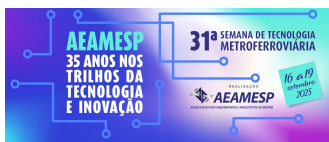
DIAGNÓSTICO AUTOMATIZADO DE REDE AÉREA – VIA MOBILIDADE

LINHAS 5, 8 E 9¹

SOBRE OS AUTORES

Fabio Farias Correa - Graduado em Engenharia Elétrica, pós-graduado em Gerenciamento da Manutenção, Engenharia Metroferroviária, Gestão de Pessoas e Gestão de Projetos, atualmente atua como Consultor de Engenharia de Manutenção de Energia e Rede Aérea na empresa MOTIVA. Em quase 27 anos de carreira, foi responsável pela manutenção preventiva e corretiva de equipamentos de eletricidade de baixa e alta tensão no sistema Ferroviário, com as responsabilidades de programar e coordenar a execução dos serviços de manutenção, além de desenvolver, implantar técnicas e métodos de atuação em sistemas de energia, atuando, orientando e dando suporte técnico às equipes de manutenção. Em 2012 assumiu a função de Engenheiro onde passou a contribuir no Desenvolvimento e Implantação de Projetos, ao longo de 11 anos no sistema Metroviário teve as atividades divididas entre novos empreendimentos e Gestão de Manutenção e Ativos.

¹ Artigo finalista do 12º Prêmio Tecnologia & Desenvolvimento Metroferroviários



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA **12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

Rafael Custódio de Sá - Eng. Eletricista com MBA em Projetos e 15 anos no setor metroferroviário. Atua como Especialista na Motiva, com experiência em implantação e manutenção de sistemas de energia nas linhas 4, 5, 8, 9 de SP, Salvador e VLTRJ. Foi responsável por subestações, gestão de energia, obras civis e sistemas auxiliares. Lidera equipe técnica focada em CAPEX, OPEX, riscos, estudos de engenharia e desenvolvimento de fornecedores, com foco em eficiência operacional e inovação em mobilidade.

Thiago de Oliveira Ramos - Eng. Eletricista com MBA em Projetos e 12 anos no setor metroferroviário. Atua como Especialista na Motiva, com experiência em implantação e manutenção de sistemas de energia. Destaques: subestações do metrô de Salvador (2014), gestão de energia nas linhas 4 e 5 (2018), liderança em engenharia de equipamentos (2021), obras civis e sistemas nas linhas 8 e 9 de SP e VLT-RJ (2022). Desde 2024, é responsável pelos sistemas de energia das unidades do grupo Motiva – Trilhos.

Carlos Costa de Lima - Eng. Eletricista com 12 anos na Motiva, atua como Analista de Engenharia de Manutenção de Energia e Rede Aérea. Desde 2018, oferece suporte técnico às equipes de campo, conduzindo estudos para eficiência operacional e redução de custos. Participou dos estudos de concessão da Linha 7–Rubi e TIC Eixo Norte, além das Linhas 11, 12 e 13. Desde 2023, atua de forma mais estratégica, com foco em planos de manutenção, análise de falhas, propostas técnicas e melhoria contínua dos processos.



DIAGNOSTICO AUTOMATIZADO DE REDE AÉREA – VIA MOBILIDADE

LINHAS 5, 8 E 9

INTRODUÇÃO

"E se fosse possível prever falhas antes que elas aconteçam, sem interromper a operação e com precisão milimétrica? Essa realidade já chegou às Linhas 5, 8 e 9."

A Rede Aérea de tração — a catenária — é muito mais do que um conjunto de cabos: ela é a espinha dorsal da alimentação elétrica que mantém os trens em movimento com segurança e precisão. Nas Linhas 5, 8 e 9 da Via Mobilidade – MOTIVA, essa infraestrutura assume papel crítico, sendo responsável por 30,5% das falhas



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

relacionadas ao fornecimento de energia elétrica nas linhas 8 e 9 (dados de janeiro/2024 a fevereiro/2025).

Essas ocorrências não representam apenas números. Cada falha pode significar paralisações operacionais, impacto na vida dos passageiros, riscos à segurança e custos elevados com reparos emergenciais. É um cenário que exige não apenas respostas rápidas, mas antecipação.

Foi pensando nisso que implementamos um plano inovador de diagnóstico automatizado da Rede Aérea, baseado em tecnologia embarcada de última geração. Nosso objetivo é claro: detectar desgastes e anomalias antes que se transformem em falhas, possibilitando ações preventivas, aumentando a confiabilidade do sistema e garantindo a continuidade do serviço.

O grande diferencial desta solução está na sua inteligência: as medições podem acontecer em tempo real, sem qualquer interrupção no serviço. Utilizando sensores ópticos e sistemas embarcados avançados, substituímos métodos tradicionais de inspeção — lentos, manuais e restritos à madrugada — por uma abordagem precisa, ágil e de menor impacto logístico.

As análises incluem parâmetros críticos para a tração elétrica, como:

- Altura e zigue-zague do fio de contato
- Força e aceleração no pantógrafo
- Desgaste e ocorrência de arcos elétricos



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

- Tensão, corrente elétrica e termografia
- Geolocalização de anomalias

Tudo isso é possível graças à integração de sensores de corrente e tensão, câmeras térmicas e detectores de arco elétrico, cobrindo 100% da Rede Aérea das Linhas 5, 8 e 9 com dados de alta precisão.

Mais do que tecnologia, esse diagnóstico representa uma mudança de paradigma na manutenção metroferroviária:

- Prever falhas antes que impactem o passageiro
- Reduzir custos emergenciais com ações planejadas
- Prolongar a vida útil dos componentes
- Aumentar a segurança e disponibilidade do sistema

Em um momento em que a sociedade demanda transporte público eficiente e confiável, investir em inteligência e automação não é apenas inovação — é garantir qualidade, segurança e confiança para milhões de usuários todos os dias.

DIAGNÓSTICO

Historicamente, a manutenção da rede aérea ferroviária é baseada em práticas reativas e preventivas manuais, com foco em:

- Inspeções visuais periódicas
- Substituição de componentes por tempo de uso



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

- Intervenções após falhas ou incidentes
- Dependência de mão de obra especializada e treinamentos internos

Essas práticas, embora eficazes, apresentam limitações como:

- Baixa previsibilidade de falhas
- Longos tempos de inatividade em caso de panes
- Baixa Precisão: As medições manuais estão sujeitas a erros humanos, resultando em dados menos precisos
- Detecção Tardia de Falhas: A identificação de problemas pode ocorrer tardiamente, aumentando o risco de falhas críticas que afetam a operação.

Nos últimos anos, houve uma transição para abordagens mais tecnológicas (com foco em manutenções) e preditivas, com destaque para:

- Monitoramento contínuo da catenária com sensores embarcados
- Inspeções noturnas com veículos rodoferroviários
- Mapas de calor para priorização de falhas
- Uso de termografia, análise de vibração e câmeras embarcadas
- Integração com sistemas de gestão de ativos e manutenção

Essas tendências apontam para uma manutenção cada vez mais digital, sustentável e integrada, seguindo essa tendência esse projeto contemplou a instalação de um sistema de medição óptica em um trem da frota, tanto da linha 5, quanto das linhas 8 e 9



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA **12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

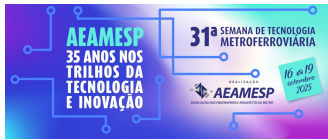
permitindo a medição automatizada de diversos parâmetros da rede aérea com o trem em movimento.

- As medições foram realizadas em duas etapas, que dividimos em pacotes:
 - **Pacote 1:** desgaste de fio de contato, altura do fio de contato, zigue-zague, gradiente, contorno e impactos no fio de contato.
 - **Pacote 2:** corrente, tensão, arcos elétricos, forças de contato, geolocalização e vídeos em HD da interação pantógrafo-fio.

As coletas ocorreram fora do horário comercial na Linha 5 (80,4 km percorridos) e durante a operação nas Linhas 8 e 9 (306,8 km percorridos), totalizando mais de 387 km de rede inspecionada, durante a primeira quinzena de fevereiro de 2025, totalizando apenas 6 acessos.

Foram empregados os seguintes sistemas de medição:

- Sensores de corrente e tensão: para monitoramento em tempo real dos parâmetros elétricos da rede.
- Sensor de arcos elétricos (UV): para detecção de centelhamentos e falhas de contato.
- Sistema de termografia: com câmeras infravermelhas para identificação de pontos de aquecimento anormal.
- Sistema de vídeo sincronizado: para inspeção visual e correlação com os dados técnicos.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS

TIC TRENS

CPTM

31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

- GPS e radar de distância: para georreferenciamento preciso dos dados coletados.

3. Procedimentos de Avaliação

Os dados foram processados e avaliados com o uso do software, que permite:

- Visualização gráfica dos parâmetros ao longo da via
- Análise de excedências com base em limites técnicos predefinidos
- Geração de mapas temáticos e relatórios georreferenciados
- Classificação automática de eventos críticos

Sistemas de medição e sensores

O equipamento para vários sistemas de medição foi montado no veículo 525 para a linha 5, já para as linhas 8 e 9 os equipamentos foram instalados no veículo A131 (Figura 1).



Figura 1 - frotas utilizadas para o diagnóstico. Fonte: Relatório de medição

31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

A Figura 2 mostra a estrutura esquemática da configuração de medição.

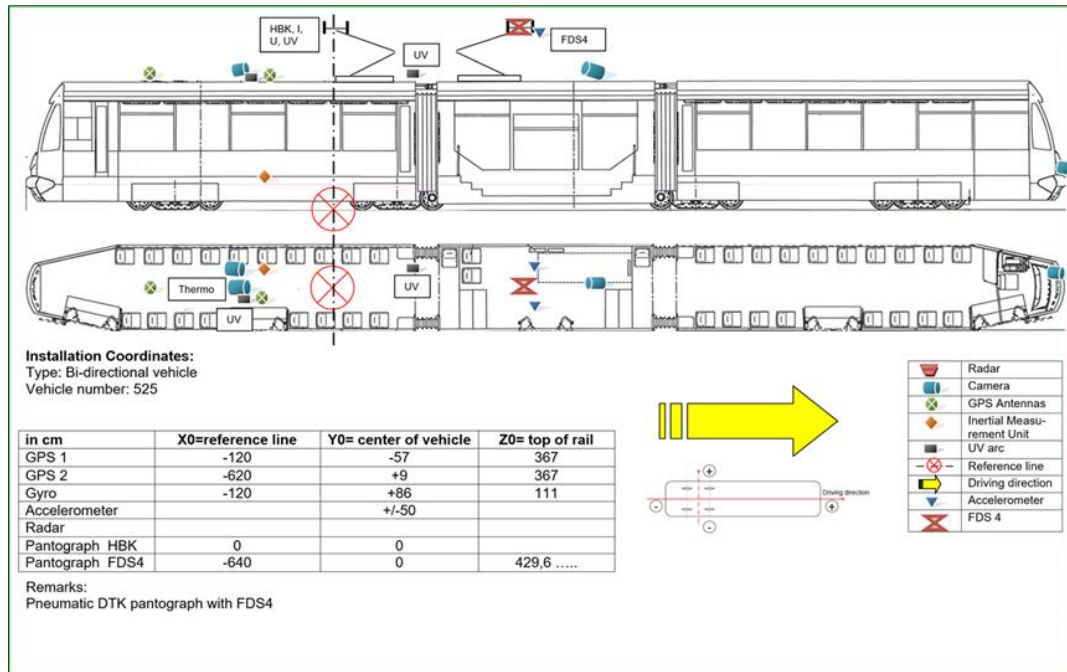


Figura 2 - Posições do equipamento de medição. Fonte: Relatório de medição

Câmeras com holofotes infravermelhos foram montadas na frente do trem para melhor orientação na via (Figura 3).



Figura 3 - Câmera com holofotes infravermelhos na frente do trem

A figura 4 mostra a câmara que registra a interação entre o pantógrafo e a catenária dos sistemas de medição (corrente, tensão, arco, elevação e termografia).

31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

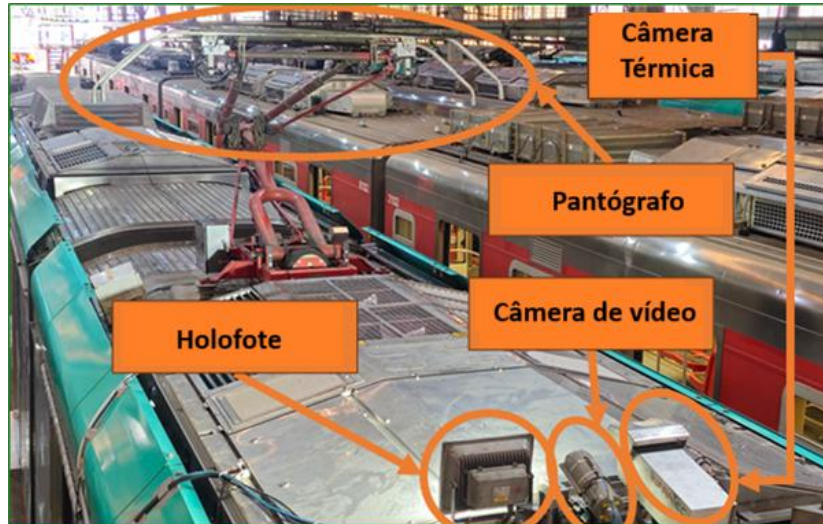


Figura 4 - Câmara com projetor e câmara térmica no teto do pantógrafo de registro do comboio (sistemas de corrente, tensão, arco, elevação e termografia). Fonte: Relatório de medições

Como mostrado na última foto, um holofote foi instalado ao lado da câmera de vídeo para medições noturnas e uma câmera térmica para medição termográfica. Um sensor de arco UV foi configurado para medir o arco UV (Figura 5).

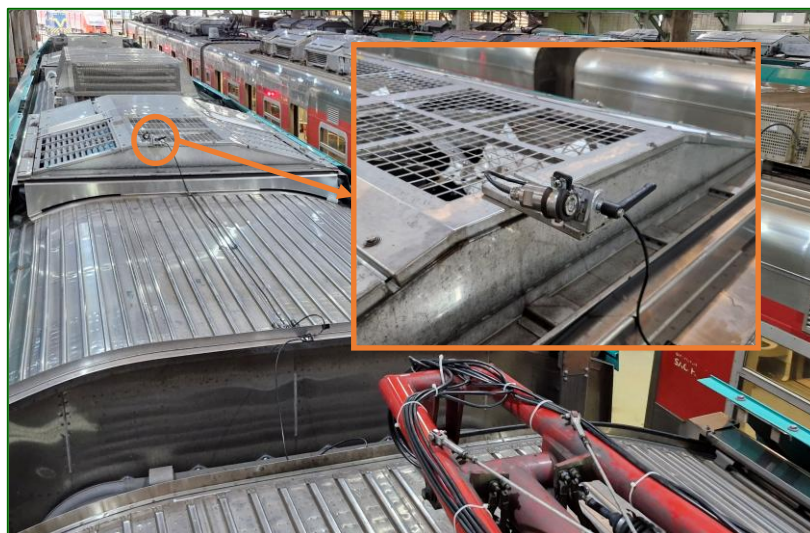


Figura 5 – Sensor de arco UV. Fonte: Relatório de medição

31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

A Figura 6 mostra as pinças amperimétricas de corrente para medição de corrente.



Figura 6 - Pinça amperimétrica. Fonte: Relatório de medição

Na figura 7 podemos observar o sensor de tensão.



Figura 7 - Sensor de tensão. Fonte: Relatório de medição

31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

A figura 8 mostra o sistema de medição do soerguimento que se baseia no pantógrafo.



Figura 8 - Sistema para medição de elevação. Fonte: Relatório de medição

A figura 9 mostra a câmara que registra a interação entre o pantógrafo e a catenária para o sistema de medição desgaste de fio de contato.

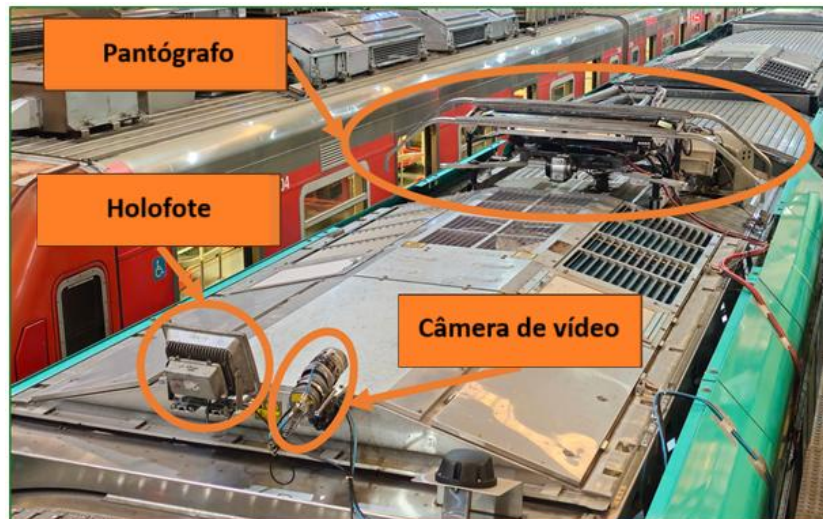
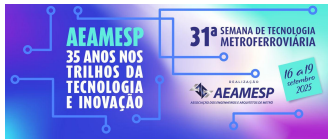


Figura 9 – Câmera com holofotes para gravação de interação. Fonte: Relatório de medição

Um sensor de radar *doppler* (figura 10) que produz impulsos contínuos por metro é montado por baixo do veículo. Isso fornece a distância percorrida e, com o tempo



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS

TIC TRENS

CPTM

31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA **12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

registrado em paralelo, a velocidade pode ser determinada. A forma como o pulso do sensor de radar é dividida e enviada a todos os sistemas para garantir a sincronização exata de todos os sistemas.



Figura 10 – Sensor de radar doppler. Fonte: Relatório de medição

As antenas GPS (Figura 11) fazem parte do sistema GPS que registra as coordenadas geográficas da rota percorrida, desde que o sinal não seja afetado, por exemplo, em túneis.



Figura 11 - Antenas GPS no teto do veículo. Fonte: Relatório de medição

31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

A Figura 12 mostra a configuração do sistema de medição de desgaste no teto do veículo A131. A barra do scanner está entre as tiras de contato para o perfil do fio aéreo e a medição de escalonamento.



Figura 12 - Scanner de desgaste. Fonte: Relatório de medição

A altura do pantógrafo e, por consequência, a altura da catenária são determinadas com o sensor de deslocamento dos fios (figura 13).

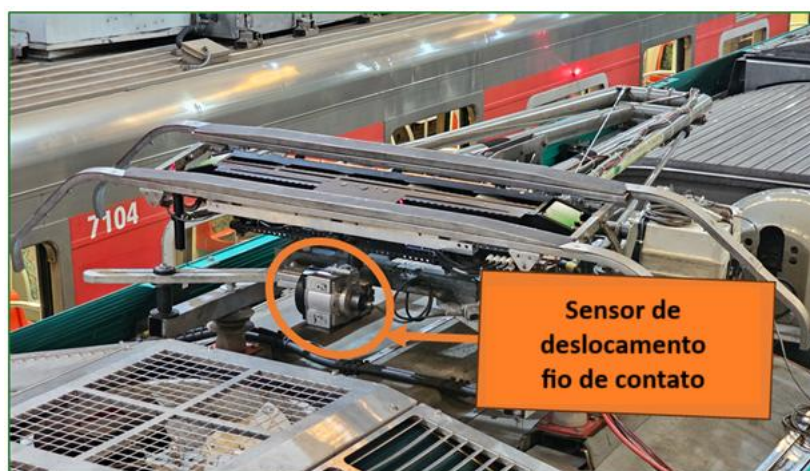


Figura 13 - Sensor de deslocamento de fio de contato. Fonte: Relatório de medição

31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA **12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

Dois sensores de choque foram montados nas laterais do pantógrafo para medir os impactos que ocorrem com a interação do pantógrafo e do fio de contato.



Figura 14 – Acelerômetros. Fonte: Relatório de medição

Os dados de medição são transmitidos para os computadores de medição no veículo por meio de cabos de fibra óptica. Todos os dados de medição do desgaste, corrente, tensão, arco, elevação, termografia e sensor de radar confluem no trem. Os dados são então registrados e exibidos em monitores para monitoramento ao vivo da medição, mostrados na Figura 15.



Figura 15 - Instalações dentro do salão da composição. Fonte: Relatório de medição



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os dados coletados foram processados por softwares especializados, permitindo a identificação precisa de falhas e desvios em relação aos padrões técnicos. Os principais achados incluem:

- **Desgaste do fio de contato:** pontos com espessura crítica, risco de rompimento e aumento de resistência elétrica.
- **Altura do fio de contato:** variações acima e abaixo do padrão, com risco de arcos elétricos, instabilidade e desgaste acelerado.
- **Zigue-zague:** desvios que comprometem a distribuição do desgaste e aumentam a chance de centelhamento.
- **Arcos elétricos:** causados por contato inadequado, desgaste ou desalinhamento da catenária.
- **Corrente e tensão:** variações que impactam a eficiência energética e a estabilidade da alimentação elétrica.
- **Choques pantógrafo-fio:** indicam descontinuidades mecânicas e risco de falhas operacionais.

Esses resultados foram consolidados em um relatório técnico detalhado, com mapas georreferenciados e vídeos sincronizados, permitindo a visualização clara dos pontos críticos.



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Os resultados obtidos revelam um panorama técnico detalhado da condição atual da rede aérea das Linhas 5, 8 e 9 da Via Mobilidade, evidenciando tanto a eficácia da metodologia automatizada quanto a necessidade de intervenções pontuais e estruturais.

Desgaste do Fio de Contato

A identificação de mais de 250 pontos com espessura crítica ($\leq 8,5$ mm) e 23 ocorrências de fios torcidos indica um desgaste acelerado em trechos específicos da rede. Esses pontos representam risco elevado de falha no contato elétrico, podendo comprometer a continuidade da alimentação dos trens. A presença de fios torcidos também afeta a precisão das medições e pode gerar desgaste irregular no pantógrafo.

Altura e Gradiente da Linha Aérea

As variações significativas na altura do fio de contato, com valores extremos entre 465,8 cm e 607,7 cm, ultrapassam os limites operacionais recomendados. Isso pode causar perda de contato com o pantógrafo, arcos elétricos e desgaste prematuro. A análise do gradiente revelou trechos com inclinações superiores a $\pm 25\%$, o que pode indicar deformações estruturais ou falhas de instalação.

Deslocamento Lateral

A ocorrência de deslocamentos laterais superiores a ± 50 cm, tanto em curvas quanto em trechos retos, compromete a distribuição uniforme do desgaste no pantógrafo e no fio de contato. Além disso, a presença de seções com stagger muito baixo (inferior a 10



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

cm) pode indicar desalinhamento da rede ou ausência de compensação em curvas, aumentando o risco de centelhamento.

Choques e Arcos Elétricos

Os choques entre pantógrafo e fio, com picos de até 130,3 g, são indicativos de descontinuidades mecânicas, como emendas mal executadas, isoladores de seção ou trilhos desnivelados. Esses eventos estão diretamente relacionados à ocorrência de arcos elétricos, que foram detectados em até 100% do tempo em alguns trechos, representando risco de falha elétrica e danos aos componentes.

Parâmetros Elétricos e Termografia

As variações de tensão (1905 V a 3535 V) e corrente (até 983,4 A) refletem a instabilidade da alimentação elétrica em determinados pontos. A eficiência de regeneração de até 35% é positiva, mas pode ser comprometida por essas flutuações. A termografia identificou pontos com aquecimento acima de 220°C, o que pode indicar conexões frouxas, oxidação ou sobrecarga elétrica.

Levantamento do Pantógrafo

A força de contato abaixo do mínimo recomendado (48,57 N) e a diferença de até 38,39 N entre extremidades do pantógrafo sugerem problemas de nivelamento ou desgaste assimétrico, que afetam a qualidade do contato e aumentam o risco de falhas.

Esses achados reforçam a importância de um monitoramento contínuo e automatizado da rede aérea, permitindo intervenções preventivas e a priorização de trechos críticos.



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

A adoção de materiais mais leves e flexíveis, como tiras de contato de menor inércia, pode contribuir para a redução de choques e desgaste, aumentando a confiabilidade do sistema.

A análise técnica automatizada revelou diversos pontos críticos na infraestrutura da rede aérea das Linhas 5, 8 e 9 da Via Mobilidade. Os resultados foram organizados por parâmetro técnico, conforme descrito a seguir:

1. Desgaste do Fio de Contato

- a) 251 pontos apresentaram espessura residual igual ou inferior a 8,5 mm, valor considerado crítico.
- b) 659 pontos estavam próximos ao limite de desgaste.
- c) 23 ocorrências de fios torcidos com ângulo de rotação superior a 90°, o que compromete a precisão da medição e a qualidade do contato elétrico.

2. Altura da Linha Aérea

- a) Altura máxima registrada: 607,7 cm
- b) Altura mínima registrada: 465,8 cm
- c) 426 pontos excederam o limite superior (555 cm)
- d) 605 pontos ficaram abaixo do limite inferior (545 cm)

3. Gradiente do Fio de Contato

- a) 24 ocorrências de inclinação fora dos limites técnicos ($\pm 20\%$)
- b) Maior ascensão registrada: +28,4‰



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

- c) Maior descida registrada: -27,6‰

4. Deslocamento Lateral

- a) 130 excedências válidas foram identificadas:
- b) 68 em curvas
- c) 62 em trechos retos

Valor máximo de deslocamento: ± 52 cm, 68 seções apresentaram muito baixo, sendo a mais longa com 97,12 metros de extensão.

5. Choques entre Pantógrafo e Fio

- a) 18 choques excederam o limite de ± 50 g
- b) Valor máximo registrado: +130,3 g
- c) Valor mínimo registrado: -70,3 g

6. Termografia

- a) 7 ocorrências de temperatura acima de 140°C
- b) 3 casos confirmados como críticos
- c) Temperatura máxima registrada: $221,09^{\circ}\text{C}$

Os pontos de calor foram associados à ocorrência de arcos elétricos.

7. Corrente Elétrica

- a) 21 ocorrências com corrente superior a 900 A
- b) Corrente máxima registrada: 983,4 A



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

A eficiência de regeneração energética chegou a 35% em alguns trechos.

8. Tensão Elétrica

- a) 19 ocorrências fora dos limites (2200 V a 3495 V)
- b) Tensão máxima registrada: 3535 V
- c) Tensão mínima registrada: 1905 V

9. Arcos Elétricos

- a) 18 ocorrências com taxa de arco superior a 5%
- b) Valor máximo registrado: 100%

10. Levantamento do Pantógrafo

Força mínima registrada: 48,57 N (inferior ao mínimo recomendado de 83 N)

Maior diferença entre frente e traseira do pantógrafo: 38,39 N

Esses resultados demonstram a presença de diversos pontos críticos que podem comprometer a operação segura e eficiente das linhas. A análise detalhada permite priorizar ações de manutenção e avaliar possíveis melhorias na infraestrutura, como o uso de tiras de contato mais leves para reduzir a inércia do sistema.

Os dados coletados foram processados e organizados por parâmetro técnico e nível de criticidade. Os principais achados incluem:

Linha 5

- **659 desvios identificados**



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

- 63 de criticidade alta
 - 194 de criticidade média
 - 402 de criticidade baixa
-
- Principais parâmetros com desvios: altura da rede aérea, arco elétrico, corrente, desgaste do fio, força de impacto, gradiente, ausência de zigue-zague, temperatura e tensão

Linhas 8 e 9

- **1.992 desvios identificados**
 - 984 na Linha 8
 - 1.008 na Linha 9
 - 105 de criticidade alta
 - 546 de criticidade média
 - 1.341 de criticidade baixa

Os dados foram apresentados em gráficos e mapas, permitindo a visualização clara dos pontos críticos e a priorização de ações corretivas e preventivas.

Monetização - Diagnóstico Automatizado de Falhas da Rede Aérea

Resumo do Projeto



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

O projeto de diagnóstico automatizado foi implementado nas Linhas 5, 8 e 9 da Via Mobilidade. O investimento total foi de €349.895,96, sendo €251.925,09 referente às Linhas 8 e 9.

Base de Cálculo

Foram utilizadas 700 falhas anuais como base de análise, com custo médio por falha estimado em R\$2.550 (mão de obra + materiais), sendo R\$1.050 o custo com materiais (70% do custo de mão de obra).

Estimou-se uma redução de 50% nas falhas com base em benchmarks europeus com sistemas similares, resultando em 350 falhas evitadas por ano.

Indicadores Financeiros

- CAPEX (Linhas 8 e 9): R\$ 1,378,030.24
- EBITDA recorrente anual: R\$ 1,072,500.00
- Payback estimado: 1.28 anos
- VPL (10 anos, 10% a.a.): R\$ 5,212,017.98
- Índice VPL/I: 3.78
- REPEX sugerido: a cada 2 anos

Principal KPI

- Indicador: Redução de falhas Z1 (emergenciais)
- Valor estimado: 50%
- Base: Benchmarks europeus em empresas como Deutsche Bahn, SNCF e SBB, com uso de manutenção baseada em sensores embarcados.



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Custos Não Considerados Diretos

- Multas contratuais por aumento de headway
- Acionamento do PAESE (estimado em R\$60.000 por evento)
- Perda de receita durante paralisações
- Impacto negativo na imagem e na satisfação dos clientes

CONCLUSÕES

A implementação do diagnóstico automatizado da Rede Aérea nas Linhas 5, 8 e 9 da Via Mobilidade representou um marco significativo na modernização da gestão de manutenção. Entre os principais benefícios observados, destacam-se:

- Detecção precisa e antecipada de falhas, permitindo intervenções proativas.
- Otimização dos planos de manutenção corretiva e preventiva, com priorização baseada em dados técnicos.
- Aumento da segurança e da confiabilidade operacional, reduzindo riscos de incidentes.
- Minimização dos impactos operacionais e custos emergenciais, com maior disponibilidade do sistema.
- Inovação e pioneirismo no uso de tecnologia embarcada no Brasil.

A integração entre as áreas técnicas da Via Mobilidade foi fundamental para o êxito do projeto, comprovando o potencial da colaboração aliada à inovação tecnológica na modernização da infraestrutura ferroviária.



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

A campanha de medições técnicas, baseada em sistemas embarcados de alta precisão, demonstrou eficácia no diagnóstico detalhado da rede aérea, identificando não conformidades relevantes, como:

- Desgaste excessivo do fio de contato
- Variações críticas de altura e deslocamento lateral
- Eventos de arcos elétricos
- Choques mecânicos
- Instabilidades nos parâmetros elétricos

Esses resultados reforçam a necessidade de um monitoramento contínuo e sistemático, que sirva não apenas para diagnóstico, mas também como base para decisões estratégicas em manutenção preditiva. A detecção precoce de falhas potenciais possibilita intervenções direcionadas, mitigando interrupções operacionais e elevando a confiabilidade do sistema.

Além disso, as informações obtidas oferecem subsídios técnicos para a reavaliação de projetos de infraestrutura, incluindo:

- Uso de materiais mais leves e flexíveis
- Melhorias no tensionamento da rede
- Ajustes no perfil geométrico da linha aérea, medidas que contribuem para a durabilidade dos componentes, a eficiência energética e a qualidade do serviço prestado à população



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA **12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

Do ponto de vista econômico, a análise financeira revelou playback inferior a dois anos e um VPL positivo e expressivo no ciclo de vida do projeto, confirmando que a aplicação de tecnologias preditivas é uma decisão estrategicamente acertada e financeiramente sustentável.

Próximos passos:

- Finalização de correção de todos os pontos divergentes apontados pelo relatório de medição
- Expansão da tecnologia para outras linhas e sistemas metroferroviários (como Linha 4 – SP e CCR Metrô Bahia – BA), ampliando a abrangência do monitoramento preditivo
- Integração com Inteligência Artificial (IA) e Machine Learning, para previsões automáticas e planos de manutenção baseados em modelos analíticos avançados
- Criação de um banco de dados centralizado (Big Data), permitindo análises históricas e identificação de padrões de degradação ao longo do tempo
- Desenvolvimento de dashboards em tempo real, acessíveis às equipes de manutenção e operação, garantindo respostas rápidas a desvios críticos
- Automação do fluxo de ordens de serviço, integrado ao sistema de gestão de ativos, para reduzir o tempo entre detecção e correção da falha
- Avaliação contínua de materiais e componentes inovadores, que ofereçam maior durabilidade, menor inércia e custos reduzidos



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Essas iniciativas consolidam a migração para um modelo de manutenção 4.0, elevando os padrões de segurança, confiabilidade e eficiência do transporte ferroviário no Brasil. Este estudo evidencia que a combinação entre tecnologia de medição embarcada e análise técnica especializada é um caminho promissor para a modernização da gestão de manutenção metroferroviária, alinhando-se às melhores práticas internacionais em transporte público de alta performance.



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Deutzer Technische Kohle GmbH. *DTK Report 739a – São Paulo Linhas 5*. Zeuthen, Alemanha, 2025.
- Deutzer Technische Kohle GmbH. *DTK Report 739b – São Paulo Linhas 8 e 9*. Zeuthen, Alemanha, 2025.
- ViaMobilidade. *Apresentação Técnica – Diagnóstico Automatizado de Falhas da Rede Aérea*. Núcleo de Energia – EngeMob, 2025.
- Diário do Transporte. “ViaMobilidade investe R\$ 2 milhões em tecnologia alemã para inspeção de redes aéreas”. Disponível em: <https://diariodotransporte.com.br/...>
- [ViaMobilidade investe 2 milhões em tecnologia para evitar falhas](#)