

32^a

SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL PARA OTIMIZAÇÃO DA MANUTENÇÃO DE PSDs

Robinson R. S. Oliveira · Rogério Patta

Alessandro L. Alves · Carlos A. Santos · André S. Grana

Gilson Cappelanno · Marco A. B. Nogueira

PALESTRANTES



Robinson Oliveira



Pós-Graduando em Cibersegurança pela FIA



MBA em Tecnologia para Negócios: AI, Big Data e Data Science pela PUC-RS



Pós-graduado em Administração de Empresas pela FGV



Graduado em Análise de Sistemas (Fatec-PG)



Analista de Desenvolvimento e Gestão 3
Coordenadoria de Monitoramento Operacional
Gerência de Manutenção do Metrô-SP



Rogério Patta



Pós-graduado em Segurança da Informação (FEI)



Engenheiro de Computação (Univesp)



Tecnólogo Mecânico (Fatec-SP)



Técnico em eletrônica



Técnico Especializado em Sistemas Metroviários
Coordenadoria de Monitoramento Operacional
Gerência de Manutenção do Metrô-SP

Entre centenas de portas, quais devemos inspecionar primeiro?

| O desafio não é manter mais. É priorizar melhor.

Desafios



**Recursos
escassos**



**Janelas
escassas**



**Silos de
dados**



**Heterogeneidade
de fabricantes**



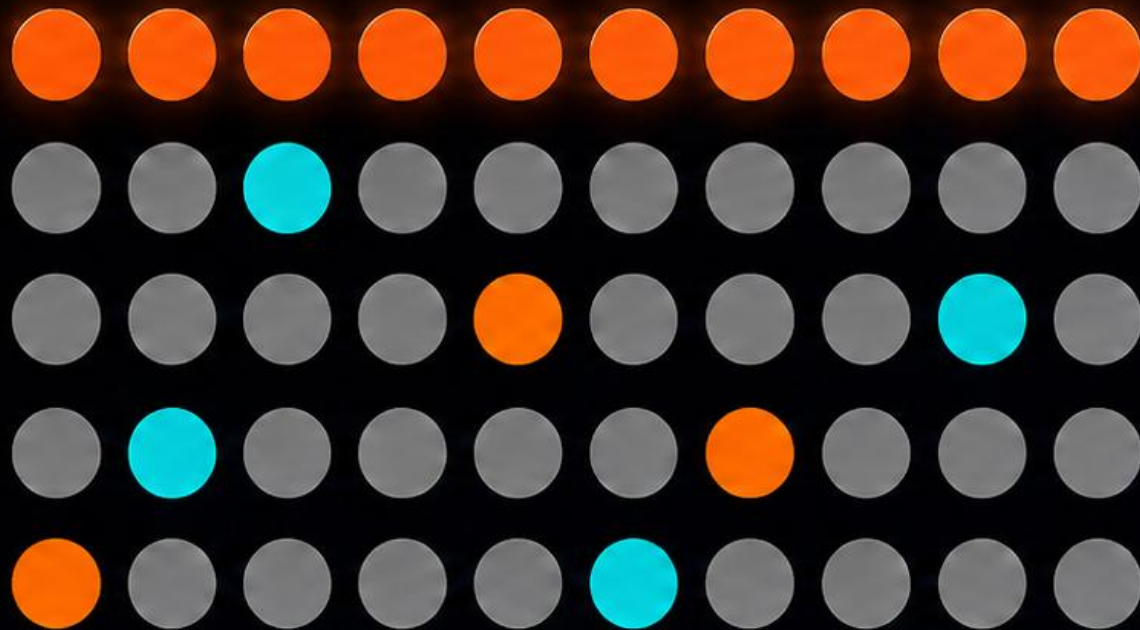
**Diferentes
períodos de
monitoramento**



**Complexidade
do sistema
de PSD**

O risco não é uniforme. A manutenção também não deve ser.

Matriz de Ativos



Abordagem tradicional
esforço homogêneo

Padrão crônico
20% concentram ~50%

A verdadeira questão não é prever o instante exato da falha, mas ordenar equipamentos por risco relativo.

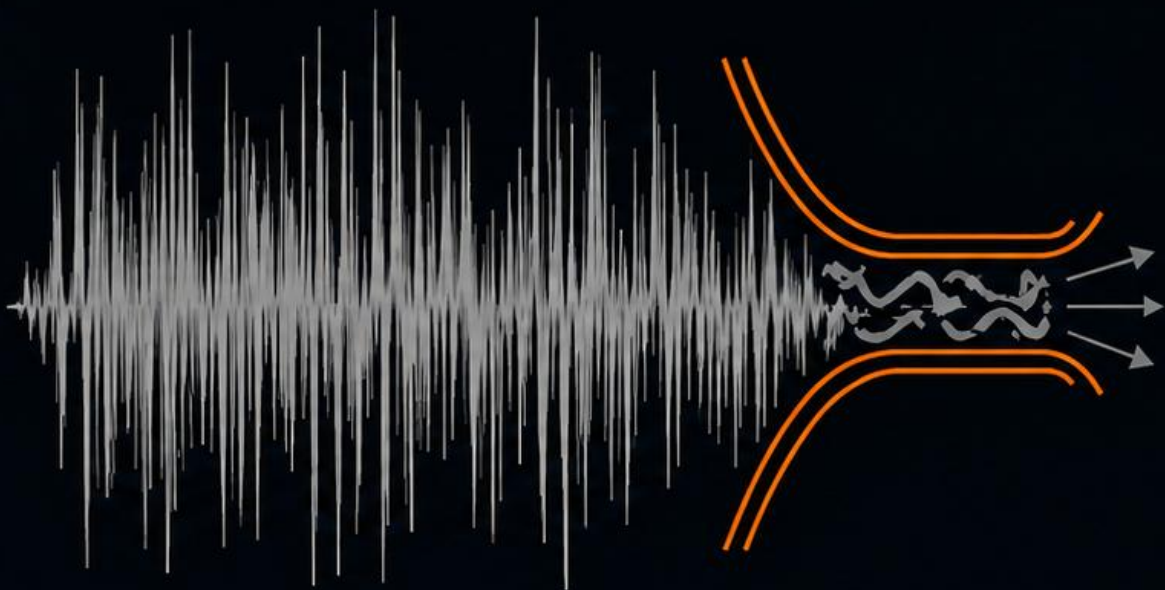
Arquitetura de dados da solução de manutenção preditiva de PSDs



Computação de Borda: Filtrando o Ruído na Origem

Desafio

Onda completa = excesso de dados



Solução

MDL extrai só o essencial



Benefício: menos banda, menos armazenamento, mais escala.

Três fontes. Uma visão do ativo. Uma prioridade.

ERP (As Evidências)

Logs (Os Eventos)

Telemetria (A Física)

**Eficiência
Alocativa**



1. Porta 056
(Risco Crítico)



2. Porta 015
(Risco Alto)



3. Porta 023
(Estável)

L02_SAC_PSD_PRT_035	L02	SAC	4 grandezas degradando
L03_VTD_PSD_PRT_011	L03	VTD	 Normal
L02_TTI_PSD_PRT_054	L02	TTI	★ pico → Atenção ≈ 24/08 (43d)

Figura 9 – Ranking de PDMs. Estação Sacomã com 4 grandezas degradando e Tamanduateí com projeção do peso da porta entrar em nível de atenção em 43 dias. Fonte: Extraído do sistema.

Peso da porta no fechamento (média 5.801 • σ 1.193 • $n=3.129$)

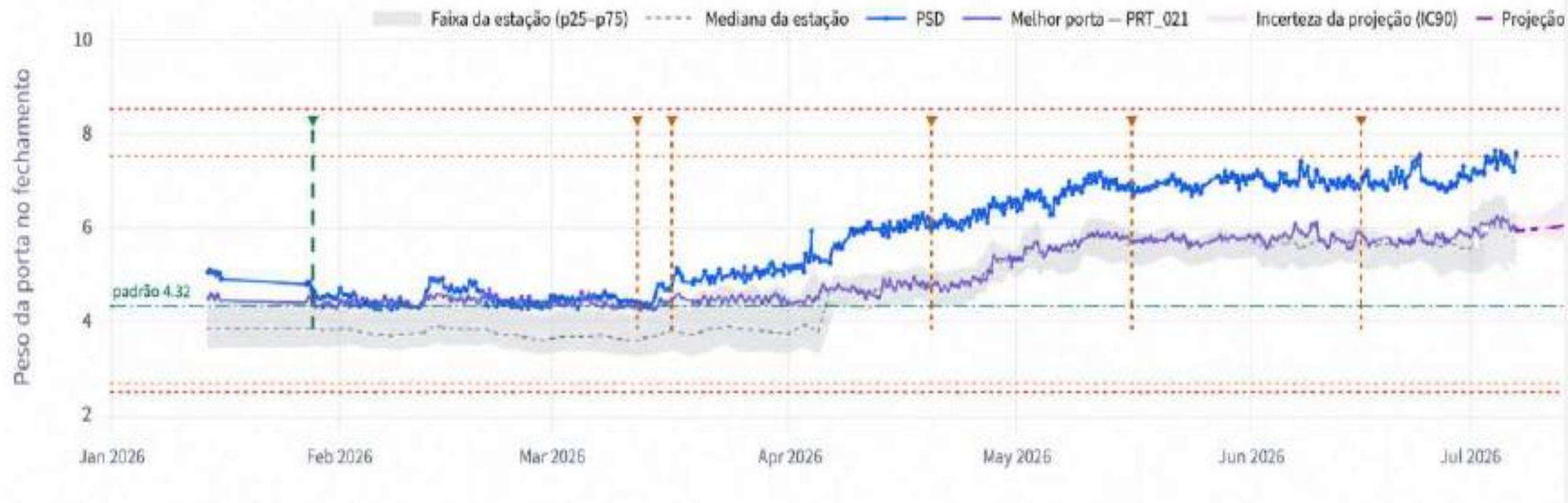


Figura 5 — Comparação do peso da porta com a melhor porta e mediana de todas as portas da fachada. Fonte: Sistema Preditivo de Manutenção

Métrica	Antes	Depois
Peso porta	8.22 ⚠️	5.24 ✅
Corrente pico fech. (A)	6.45 🛑	4.87 ✅
Corrente arrasto fech. (A)	1.96 ✅	1.31 ✅
Corrente manut. fech. (A)	1.86 ✅	1.89 ✅
Tempo fech. (s)	3.65 ✅	3.59 ✅
Assinatura fech. (%)	62.00 ✅	61.00 ✅
Corrente pico abert. (A)	-6.35 ⚠️	-4.62 ✅
Corrente manut. aberta (A)	-1.55 ✅	-1.52 ✅
Tempo abert. (s)	3.65 ✅	3.57 ✅
Assinatura abert. (%)	75.00 ✅	80.00 ✅

Estado vs faixa normal: ✅ na faixa · ⚠️ atenção · 🛑 desastre · — sem dados. Efeito: 🟢 aproximou do padrão ·

Figura 11 – Comparação de Métricas de Monitoramento antes e depois da Intervenção.

Fonte: Extraído do Sistema.



PORTA 56 – VTD
PRIORIDADE RANKING

SEM PREVENTIVA PROGRAMADA
MOTOR COM RUÍDO E MOVIMENTO ANORMAL

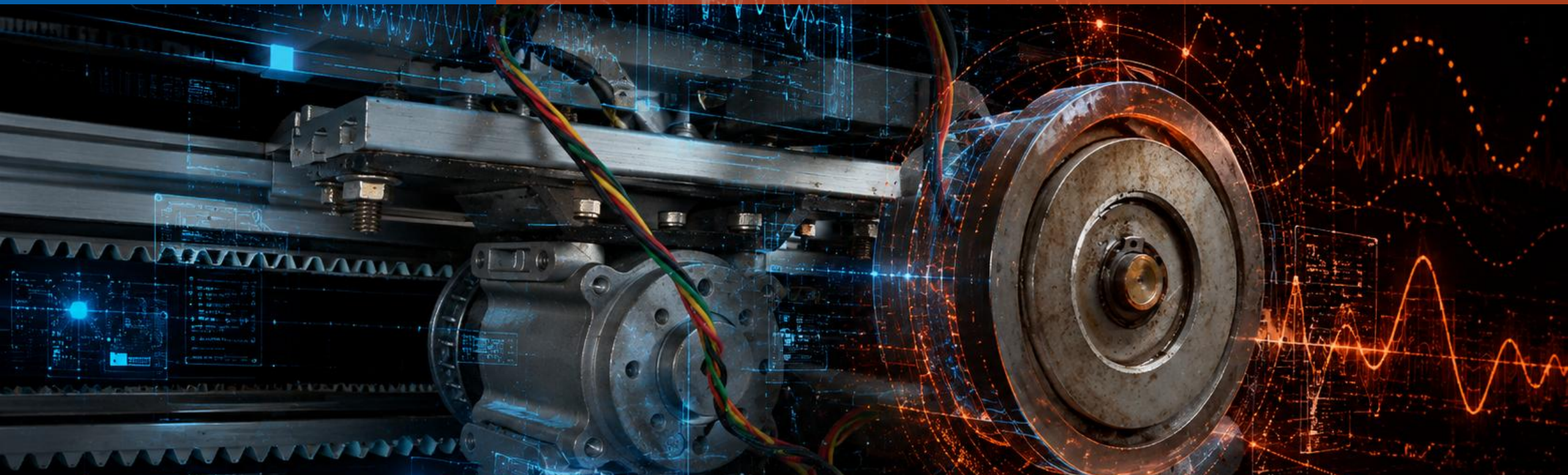


CONSTATADO DESGASTE MECÂNICO NA POLIA
E FOLGA EXCESSIVA



PORTA 16 – VTD
PRIORIDADE RANKING

COM PREVENTIVA PROGRAMADA



SEM DESVIO MECÂNICO ENCONTRADO

Recência, volatilidade e offset nas curvas

10 dobras • gap de 28 dias

Tempo

TREINO

GAP
28 DIAS

TESTE

TREINO

GAP
28 DIAS

TESTE

TREINO

GAP
28 DIAS

TESTE



PASSADO



28 DIAS



FUTURO

Da **priorização** ao valor operacional

Mesmo esforço. Melhor direcionamento. Mais valor.



TOP 10%

do ranking inspecionado

foco nas portas priorizadas



21-24%

das corretivas futuras

capturadas ao inspecionar
10% do parque

Tradução operacional e econômica



187-212

ocorrências/ano
potencialmente
sinalizáveis



375-424

h-pessoa/ano
potencialmente
realocáveis



R\$ 110-124 mil

equivalente direto
estimado



R\$ 330-495 mil/ano

potencial econômico
estimado*

* Estimativas anuais de ordem de grandeza. Não representam economia contábil realizada.

O HUMANO NO CIRCUITO (HITL)

HITL = HUMAN IN THE LOOP



**1. IA ANALISA
E PRIORIZA**



**4. DADOS RICOS
RETORNAM**



INDÚSTRIA 5.0
MELHORIA CONTÍNUA



**2. EQUIPE
ATUA**



**3. JULGAMENTO
HUMANO**

O que o sistema ainda não faz



**Não determina
causalidade**



**Não diagnostica
todos os modos
de falha**



**Depende da
qualidade e
maturidade dos dados**

→→→→ É um instrumento de priorização, não um substituto do diagnóstico técnico. →→→→

Próximos passos



Parque de IA

Modelos mais avançados



Corrente + encoder

Mais contexto físico



Testes A/B

Melhorar os rótulos

De **dados** dispersos a **decisões** priorizadas.

DADOS
↓
RISCO
↓
PRIORIDADE
↓
AÇÃO

A IA não substitui a manutenção.
Ela ajuda a colocá-la no lugar certo.



AGRADECIMENTOS

ADUELE ROCHA FARIAS

ALEXANDRE DE MAIO PARPINELLI

ANDERSON A. N. TERTULIANO

BRUNO ROBERTO MUNIZ CABRAL

EDNALDO FRANCISCO DA SILVA

EDSON CARLOS RODRIGUES

FELIPE RODRIGUES DOS SANTOS

FERNANDO SOARES DA SILVA

FLAVIO ORTIZ DE GODOY

FLAVIO VIEIRA GOMES

FRANCISCO MARTINS DA SILVA

HENRIQUE DE SOUZA SILVA

HENRIQUE T. S. GARCIA

JAEISON JOSE DA SILVA

JEFFERSON C. SILVA

JOSE MARCELO DA SILVA

JOSE RUBENS ALVES JUNIOR

JOSE SABARIEGO RUIZ FILHO

LEONARDO C. LOPES

LEONARDO MATOS FERREIRA

LUCAS MARTINS RALHO

MARCIO SOBRAL MORENO

MARCOS ALESSANDRO DINIZ

PATRICIO DE MEDEIROS MAIA

RAFAEL EDUARDO DE ASSIS

ROBSON TRINDADE SILVA

RODOLPHO M. B. ALMEIDA

RODRIGO DE AZEVEDO SILVA

SERGIO BARBOSA SOUZA

TULIO APARECIDO VIEIRA

VANDERLEY ROSA DOS SANTOS

VINICIUS RODRIGUES LOPES

VITOR MAZZEI

VITOR RODRIGUES LEONARDI

WELTON SANTOS DA SILVA

WILLIAN NAVES COELHO

** Imagens de fundo dos slides gerados utilizando o Copilot - GPT*

32^a

SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA



OBRIGADO!

Robinson R. S. Oliveira

rrsoliveira@metrosp.com.br

Carlos A. Santos

calfredo.santos@metrosp.com.br

Andre S. Grana

andre.grana@metrosp.com.br

Marco A. B. Nogueira

marco_nogueira@metrosp.com.br

Rogério Patta

rogerio_patta@metrosp.com.br

Alessandro L. Alves

alealves@metrosp.com.br

Gilson Cappelanno

gilsoncappelanno@metrosp.com.br



13ª Edição
Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP **TRILHOS**
Associação Nacional dos Transportadores
de Passageiros sobre Trilhos

TIC **Trens**

 **AEAMESP**
ASSOCIAÇÃO DOS ENGENHEIROS E ARQUITETOS DE METRO