

32^a

SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

METRÔDETECTA

Sistema de Monitoramento
Acústico Inteligente para Detecção
de Falhas em Finger Plates

Alessandro Lins Alves Ronaldo Pereira Lacerda
Diego Silva Rocha Viviane Ricarda Lima Veiga
Jackson de Carvalho Galocha

OS QUATRO EIXOS

01

O PROBLEMA

Por que 337 Finger Plates da Linha 15-Prata precisavam de uma nova forma de observação.

02

A SOLUÇÃO

O MetrôDetecta transforma os próprios trens em plataformas móveis de monitoramento.

03

O DETALHAMENTO

Arquitetura embarcada, RFID, dados, interfaces e a rede humana do projeto.

04

A CONCLUSÃO

As lacunas respondidas, o reconhecimento das equipes e o legado para o setor.

O ESSENCIAL

TRÊS MENSAGENS PARA LEVAR DAQUI

Se nada mais ficar desta apresentação, que fiquem estas três ideias.

01

A FALHA AVISA ANTES

A degradação altera o comportamento dinâmico do componente antes de produzir qualquer sinal visual. Existe uma janela de antecipação que a inspeção visual não alcança.

02

O TREM É O SENSOR

Em vez de instrumentar a via, o MetrôDetecta instrumenta o veículo que percorre a linha inteira todos os dias. A cobertura deixa de depender da quantidade de equipamentos instalados no campo.

03

SEM IDENTIDADE NÃO HÁ DECISÃO

Tags RFID dão a cada Finger Plate um identificador único. É o que transforma um registro genérico em uma ordem de inspeção dirigida ao ativo certo.



O CUSTO INVISÍVEL

CADA CORREÇÃO É TRABALHO EM ALTURA, À NOITE, SOB JANELA CURTA

Trocar um Finger Plate degradado exige equipe em acesso de risco, sobre via elevada e dentro de uma janela noturna de poucas horas. Detectar cedo muda essa equação: menos exposição das equipes, menos horas extraordinárias e menos retrabalho.

EIXO 01

O PROBLEMA

Um ativo crítico, invisível à inspeção tradicional.

01

O ATIVO

337 Finger Plates ao longo de 29 km de via elevada.

02

A LIMITAÇÃO

A inspeção visual só enxerga o que já é visível.

03

OS MODOS DE FALHA

A degradação altera o comportamento antes da aparência.

04

O RISCO SISTÊMICO

Uma falha localizada afeta toda a operação da linha.

CONTEXTO

CONFIABILIDADE É MOBILIDADE

A indisponibilidade de um único componente crítico ultrapassa a dimensão técnica da manutenção.

01

REGULARIDADE

A circulação perde ritmo e os intervalos entre trens se alargam.

02

CAPACIDADE

A oferta de transporte cai justamente quando a demanda é maior.

03

PERCEPÇÃO

Os passageiros e os lindeiros sentem a falha antes de qualquer relatório técnico chegar.

04

DESEMPENHO GLOBAL

O indicador da linha inteira responde por um único ponto da via.

A LINHA 15-PRATA

Monotrilho do Metrô de São Paulo, vias 1 e 2.

337

Finger Plates instalados e monitorados ao longo da linha

29 KM

de extensão operacional considerando as duas vias

11

estações atendidas pela infraestrutura elevada

600

componentes previstos com a expansão da linha

A FÍSICA DO SISTEMA

POR QUE O MONOTRILHO É DIFERENTE

A circulação ocorre sobre vigas-guia de concreto, com pneus de borracha como elemento de contato.

01

TRANSFERÊNCIA DE ESFORÇOS

O arranjo altera profundamente a forma como as cargas chegam à infraestrutura.

02

PADRÃO DE VIBRAÇÃO

A resposta dinâmica não se comporta como em sistemas ferroviários convencionais.

03

GERAÇÃO DE RUÍDOS

A assinatura sonora da passagem é própria deste arranjo veículo-via.

04

SENSIBILIDADE LOCAL

A via permanente responde de forma acentuada a irregularidades localizadas.

O ATIVO

O QUE É UM FINGER PLATE

O elemento que mantém a superfície de rolamento contínua.

- 01** Componente metálico instalado nas juntas de dilatação entre segmentos das vigas-guia do monotrilho.
- 02** Garante continuidade da superfície de rolamento para a passagem dos pneus, acomodando variações térmicas, esforços dinâmicos e deslocamentos diferenciais.
- 03** A geometria dentada permite que placas adjacentes se sobreponham de forma funcional, reduzindo descontinuidades.
- 04** Não é apenas um fechamento de junta: é um elemento cuja condição define disponibilidade e confiabilidade.



O ATIVO EM CAMPO

O FINGER PLATE, COMO ELE REALMENTE É

337 unidades instaladas nas juntas das vigas-guia, sob carga a cada passagem de trem.



NA VIA

Instalado na junta entre segmentos da viga-guia.



A GEOMETRIA

Os dentes se sobrepõem e garantem a continuidade do rolamento.



A ESCALA

Centenas de unidades ao longo de 29 km de via elevada.

CRITICIDADE

A CADEIA DE CONSEQUÊNCIAS DE UMA FALHA LOCAL

Os Finger Plates estão na interface veículo-via: qualquer alteração se propaga.

01

Uma falha localizada altera a resposta dinâmica da placa.

02

A alteração produz ruídos anormais na passagem do trem.

03

As vibrações se intensificam no conjunto veículo-via.

04

Há impacto direto sobre os pneus da composição.

05

Surgem restrições operacionais de velocidade ou de via.

06

A regularidade da circulação é comprometida.

07

A capacidade de transporte ofertada diminui.

08

A confiabilidade percebida pelo passageiro cai.



LACUNA 01

ANTES DE SER VISTA, A FALHA JÁ É OUVIDA

Os mecanismos de degradação alteram o comportamento dinâmico do componente antes de produzir qualquer evidência visual. A inspeção visual, indispensável, chega depois do início do processo.



O MODELO TRADICIONAL

COMO A CONDIÇÃO ERA AVALIADA

Indispensável, mas com um ponto cego estrutural.

- 01** Inspeções visuais e atividades periódicas executadas pelas equipes durante as janelas operacionais disponíveis.
- 02** Modelo adequado para anomalias visíveis: deformações, fissuras, deslocamentos aparentes e danos observáveis na superfície.
- 03** A eficácia é limitada quando a degradação se desenvolve de forma gradual e sem manifestação visual evidente.
- 04** A antecipação passa a depender da frequência das inspeções e da percepção do inspetor em campo.



OS LIMITES

O QUE O MODELO TRADICIONAL NÃO ALCANÇA

Quatro limitações que o diagnóstico do projeto tornou explícitas.

01

O TEMPO ENTRE INSPEÇÕES

Entre uma inspeção e outra, milhares de passagens de trens continuam impondo solicitações mecânicas.

02

A BAIXA OBSERVABILIDADE

Elementos críticos, como os parafusos de fixação, permanecem sob a placa, fora do alcance visual.

03

A ESCALA DOS ATIVOS

Centenas de componentes dispersos ao longo da linha inviabilizam o monitoramento contínuo presencial.

04

A AUSÊNCIA DE HISTÓRICO

O Finger Plate era avaliado em um instante específico, sem série temporal que revelasse tendência.

DIAGNÓSTICO

MODOS DE FALHA IDENTIFICADOS

A análise histórica das ocorrências revelou um conjunto recorrente.

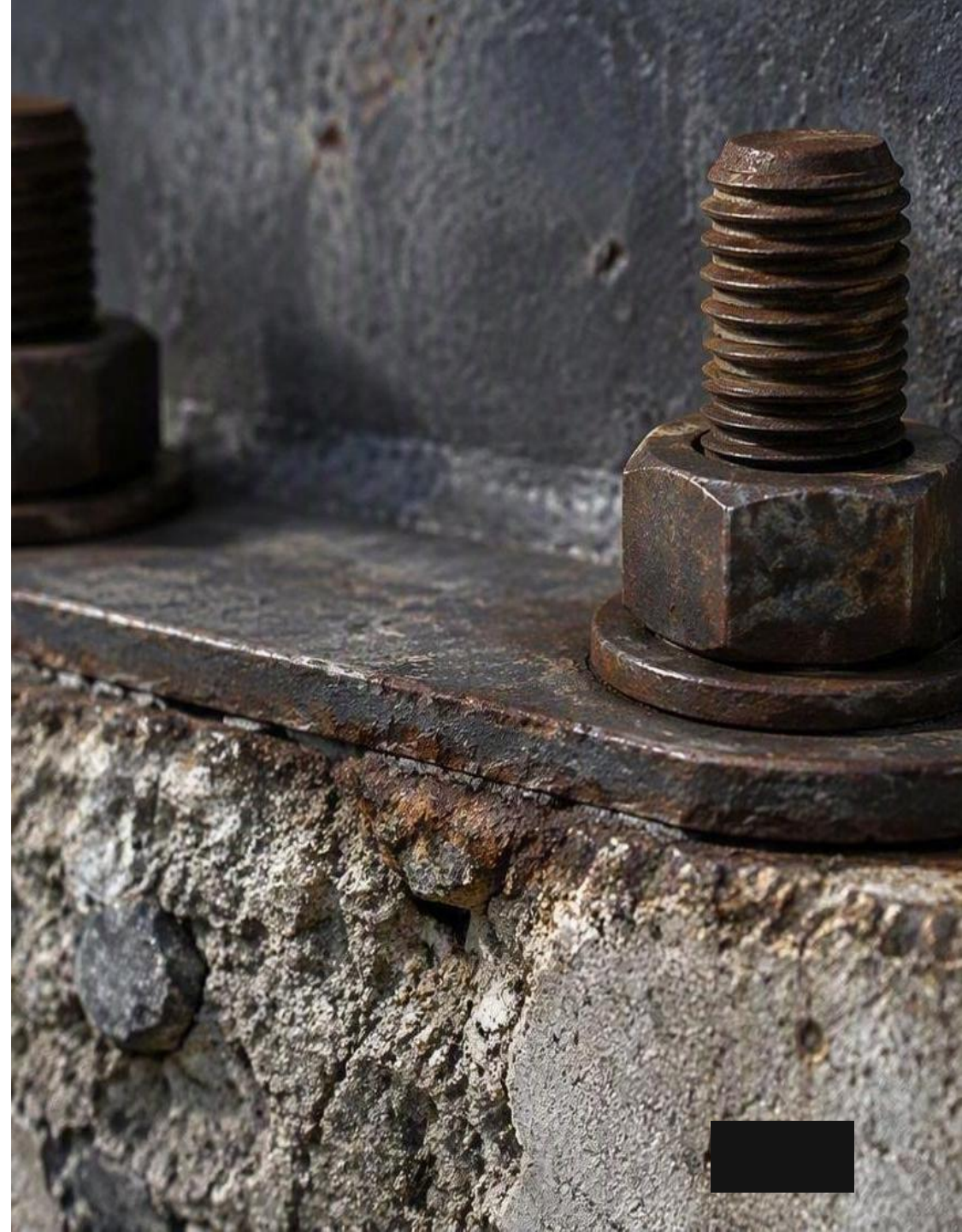
- | | | | |
|-----------|--|-----------|--|
| 01 | Fadiga dos parafusos de fixação, submetidos continuamente a tração, compressão e cisalhamento. | 04 | Perdas localizadas de rigidez do conjunto. |
| 02 | Vazios estruturais entre a face inferior da placa e a superfície da viga-guia. | 05 | Deformações permanentes acumuladas pela repetição dos carregamentos. |
| 03 | Desalinhamentos progressivos entre componentes adjacentes. | 06 | Todos convergem para a mesma característica: a anomalia muda o comportamento antes de mudar a aparência. |

ANATOMIA DE UM MODO DE FALHA

FADIGA DOS PARAFUSOS DE FIXAÇÃO

O primeiro modo crítico identificado na análise histórica.

- 01** Os elementos de fixação recebem continuamente solicitações de tração, compressão e cisalhamento a cada passagem de trem.
- 02** A repetição dos carregamentos favorece a formação de microtrincas e a progressiva perda de capacidade resistente.
- 03** A dificuldade diagnóstica é estrutural: esses elementos permanecem sob a placa, com baixa observabilidade visual.
- 04** É um modo de falha que evolui em silêncio e só se manifesta quando a capacidade do conjunto já está comprometida.



ANATOMIA DE UM MODO DE FALHA

VAZIOS ESTRUTURAIS SOB A PLACA

Formados entre a face inferior do Finger Plate e a superfície da viga-guia.

01

ALTERAM O APOIO

O conjunto deixa de se apoiar de maneira uniforme sobre a viga-guia.

02

REDISTRIBUEM ESFORÇOS

A distribuição de carga muda e concentra solicitação em pontos não previstos.

03

MUDAM A RESPOSTA

Há alteração sensível no comportamento acústico e vibracional da placa.

04

ANTECIPAM O VISÍVEL

O efeito aparece na dinâmica da passagem antes de se tornar visualmente evidente.

“

**A ANOMALIA PRODUZ ALTERAÇÃO COMPORTAMENTAL ANTES
DE
PRODUZIR EVIDÊNCIA VISUAL CLARA.**

Constatação central do diagnóstico, sustentada pela literatura de monitoramento estrutural (Worden e Dulieu-Barton, 2004; Farrar e Worden, 2012).



LACUNA 02

UMA FALHA LOCAL, UM IMPACTO SISTÊMICO

Em uma ocorrência crítica, a degradação evoluiu progressivamente por fadiga dos elementos de fixação e perda gradual da capacidade resistente do conjunto. As inspeções visuais realizadas até então não identificaram sinais suficientes para justificar uma intervenção preventiva.

O CUSTO DE NÃO ENXERGAR

Impacto operacional registrado no período crítico do incidente notável.

393

viagens canceladas

82%

de redução no volume de passageiros transportados

700+

homens-hora (Hxh) consumidos em ações emergenciais de recuperação

LEITURA TÉCNICA

O QUE O INCIDENTE ENSINOU

O aspecto mais relevante do evento não está nos números, mas no aprendizado técnico gerado.

01

A FALHA NÃO FOI REPENTINA

As evidências indicaram evolução gradual do mecanismo de degradação ao longo do tempo.

02

OS SINAIS EXISTIAM

Provavelmente estiveram presentes durante o processo, mas não foram capturados pelos métodos disponíveis.

03

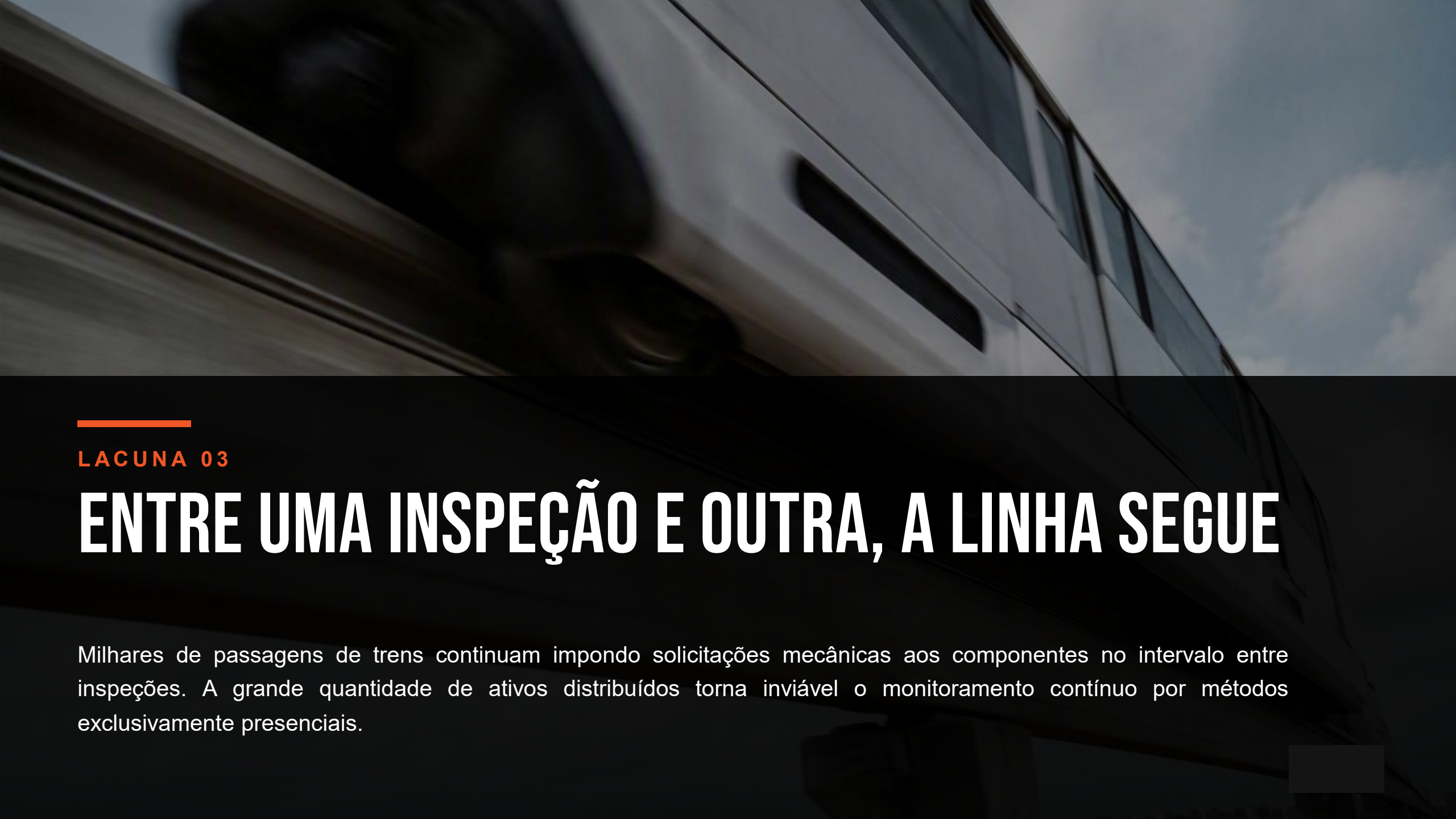
O IMPACTO FOI SISTÊMICO

Circulação, oferta de transporte, mobilização de equipes e confiabilidade percebida foram atingidas.

04

A LACUNA ERA DE SISTEMA

Faltava captar, interpretar e transformar sinais em decisão antes da manifestação funcional da falha.



LACUNA 03

ENTRE UMA INSPEÇÃO E OUTRA, A LINHA SEGUE

Milhares de passagens de trens continuam impondo solicitações mecânicas aos componentes no intervalo entre inspeções. A grande quantidade de ativos distribuídos torna inviável o monitoramento contínuo por métodos exclusivamente presenciais.



LACUNA 04

DADO SEM IDENTIDADE NÃO VIRA DECISÃO

Sem um mecanismo confiável de identificação, qualquer informação coletada perde valor operacional: a equipe de manutenção não teria como determinar qual ativo deveria ser inspecionado.



AS QUATRO LACUNAS

O problema não era executar inspeções, era acompanhar o comportamento dos ativos ao longo do tempo, durante a operação real.

01 A degradação altera o comportamento antes da aparência.

02 Elementos críticos ficam fora do alcance da inspeção visual.

03 O intervalo entre inspeções deixa a linha sem observação.

04 Registros sem identificação do ativo não geram decisão.

OS REQUISITOS

O QUE A NOVA SOLUÇÃO PRECISAVA FAZER

Requisitos definidos a partir da análise do problema, compatíveis com a realidade operacional da linha.

- 01** Acompanhar os ativos durante a operação comercial dos trens.
- 02** Permitir a identificação individualizada de cada Finger Plate monitorado.
- 03** Operar de forma escalável ao longo de toda a linha.
- 04** Minimizar intervenções adicionais na infraestrutura.
- 05** Disponibilizar informações para acompanhamento das equipes de manutenção.
- 06** Construir histórico individualizado para cada ativo monitorado.

BASE CONCEITUAL

ONDE A SOLUÇÃO SE APOIA

A hipótese do projeto tem lastro em campos consolidados da engenharia de manutenção.

01

SHM

Structural Health Monitoring
(Monitoramento da Saúde Estrutural):
alterações estruturais se manifestam
primeiro no comportamento dinâmico.

02

MANUTENÇÃO PELA CONDIÇÃO

A decisão passa a usar informação do
comportamento do ativo, e não apenas
periodicidade.

03

GESTÃO DE ATIVOS

A ABNT NBR ISO 55001 orienta a
identificação precoce de alterações no
comportamento operacional.

04

MONITORAMENTO POR VIBRAÇÃO

Dados operacionais assumem papel
central no acompanhamento do ciclo de
vida do componente.

O QUE A LITERATURA SUSTENTA

A hipótese da assinatura acústica como indicador antecipado não é isolada.

- 01** Worden e Dulieu-Barton (2004): a detecção inteligente de falhas parte de mudanças no comportamento de sistemas e estruturas.
- 02** Farrar e Worden (2012): o monitoramento estrutural se consolida como disciplina orientada a dados.
- 03** Jardine, Lin e Banjevic (2006): diagnóstico e prognóstico sustentam a manutenção baseada na condição.
- 04** Randall (2011): o monitoramento por vibração é aplicável a ativos industriais, aeroespaciais e automotivos.
- 05** ABNT NBR ISO 55001 (2014): requisitos de sistemas de gestão de ativos.
- 06** Lei et al. (2020) e Lee, Bagheri e Kao (2015): aprendizado de máquina aplicado ao diagnóstico de falhas.

A JANELA DE DECISÃO

ATUAR ANTES DO IMPACTO OPERACIONAL

SEM MONITORAMENTO

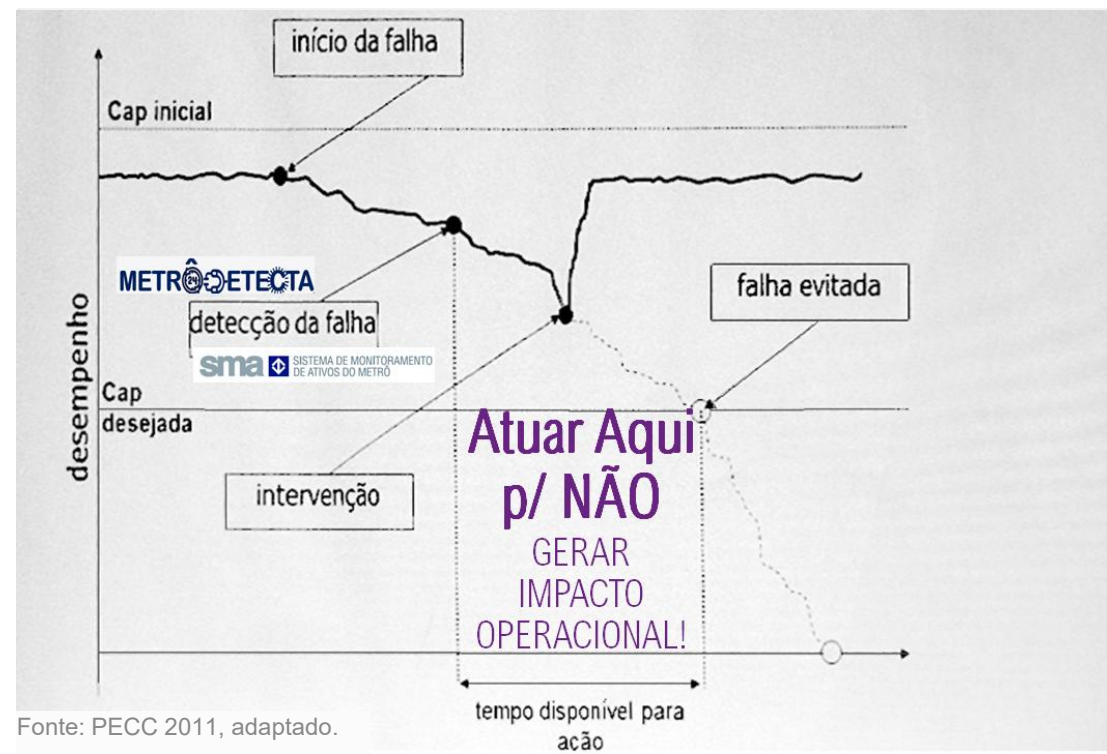
A falha só é percebida quando já há restrição de circulação. A intervenção é emergencial, cara e visível ao passageiro.

COM O METRÔDETECTA

A alteração de comportamento é captada ainda dentro da faixa de desempenho esperado.

O GANHO EXECUTIVO

A manutenção passa a escolher o momento da intervenção, em vez de reagir ao evento.



EIXO 02

A SOLUÇÃO

A inversão da lógica de monitoramento.

01

A PREMISSA

Usar a infraestrutura que já circula todos os dias.

02

A INVERSÃO

O sensor sai da via e embarca no trem.

03

A IDENTIDADE

Cada Finger Plate ganha um identificador único.

04

O RESULTADO

Uma nova camada de observação da infraestrutura.



A RUPTURA

O TREM SE TORNA O INSPETOR DA VIA

Em vez de instalar sensores em cada ativo, o MetrôDetecta concentra a aquisição no veículo que percorre a linha inteira todos os dias. A operação comercial deixa de ser apenas transporte e passa a ser fonte contínua de informação sobre a condição da infraestrutura.



“

COMO AMPLIAR O ACOMPANHAMENTO DOS ATIVOS SEM AUMENTAR A COMPLEXIDADE DA INFRAESTRUTURA?

A pergunta prática que deu origem ao projeto e condicionou todas as decisões técnicas seguintes.

PREMISSAS DE PROJETO

AS ALTERNATIVAS DESCARTADAS

Sensores distribuídos ao longo da via eram tecnicamente viáveis, mas traziam obstáculos concretos.

01

QUANTIDADE

Seria necessário um equipamento dedicado por ativo, em centenas de pontos.

02

ENERGIA

Cada ponto exigiria disponibilidade de alimentação elétrica ao longo da via.

03

TRANSMISSÃO

Os dados precisariam trafegar a partir de cada ponto isolado da infraestrutura.

04

MANUTENÇÃO E ACESSO

Os próprios dispositivos passariam a demandar manutenção em pontos de difícil acesso.

A INVERSÃO

ONDE FICA O SENSOR MUDA TUDO

A abordagem tradicional concentra sensores no ativo. O MetrôDetecta concentra a aquisição no veículo.

ANTES

- Um sensor dedicado por Finger Plate monitorado.
- Cobertura cresce na mesma proporção do número de ativos.
- Equipamento exposto permanentemente ao ambiente da via.
- Acesso para manutenção depende de janela operacional.

COM O METRÔDETECTA

- Um conjunto embarcado cobre toda a extensão da linha.
- Novos ativos entram sem alterar a arquitetura embarcada.
- Equipamento em ambiente protegido dentro da composição.
- Manutenção feita com o trem no pátio, sem interditar a via.

POR QUE FUNCIONA

O TREM É A PLATAFORMA CERTA

Cada composição passa repetidamente sobre todos os Finger Plates em operação.

01

COBERTURA NATURAL

A circulação diária já percorre a linha inteira, sem esforço adicional de deslocamento.

02

REPETIÇÃO

Múltiplas passagens sobre o mesmo ativo geram série temporal, e não medição isolada.

03

AMBIENTE PROTEGIDO

Os equipamentos ficam abrigados e com acesso facilitado para manutenção.

04

ESCALA SEM CUSTO PROPORCIONAL

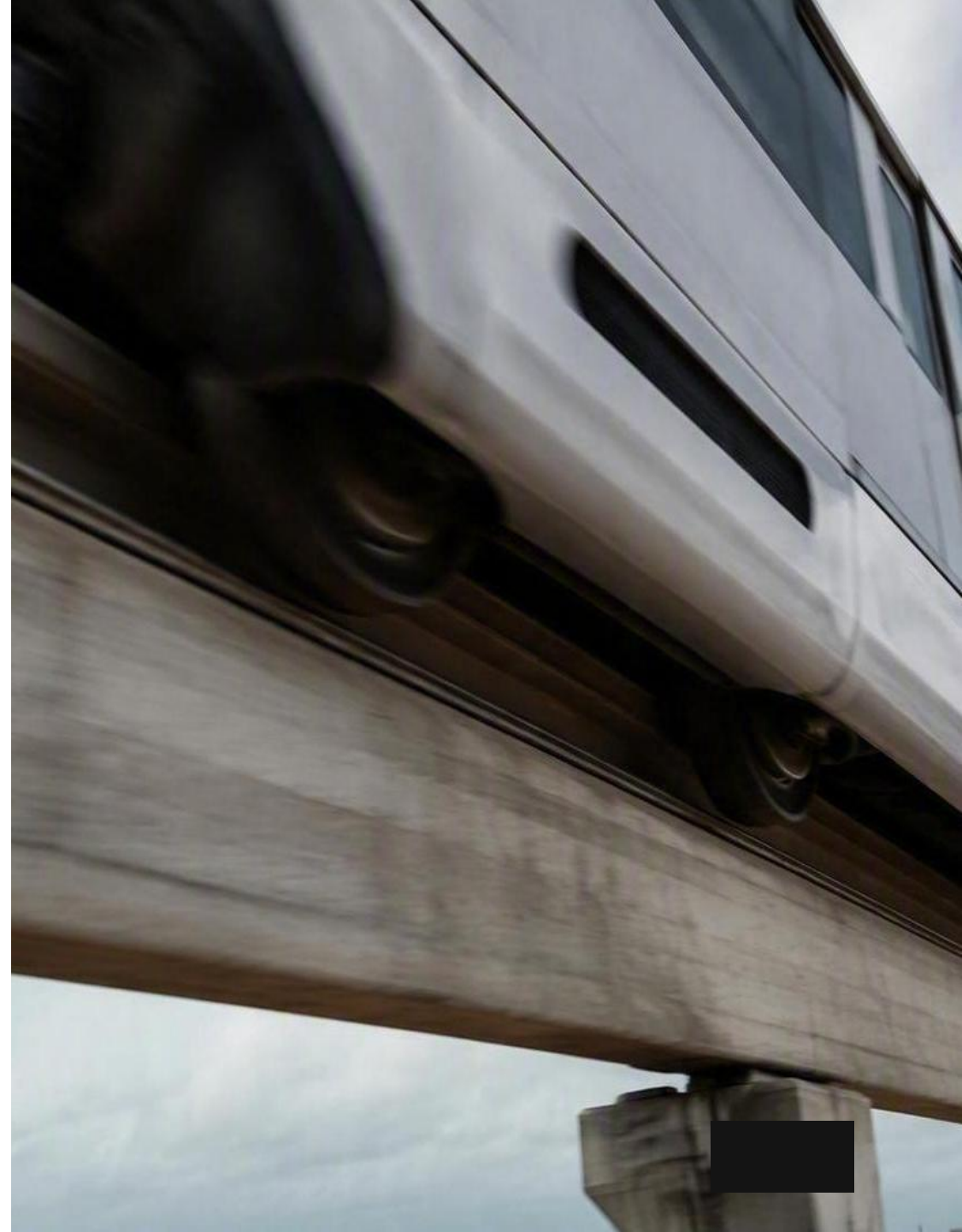
Ampliar a cobertura não exige multiplicar sensores na infraestrutura.

A HIPÓTESE

A ASSINATURA ACÚSTICA COMO INDICADOR

Da física do problema aos requisitos da solução.

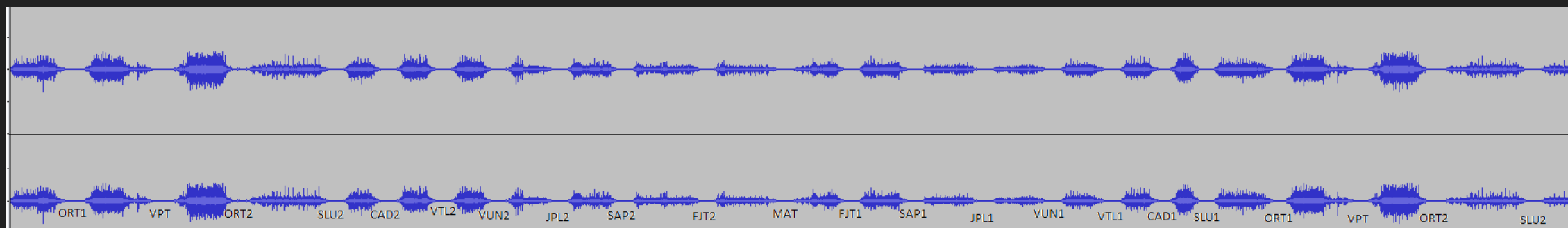
- 01** Se os modos de falha alteram a resposta dinâmica do componente, uma abordagem baseada em sinais pode complementar a inspeção visual.
- 02** O evento acústico gerado na passagem do trem carrega informação sobre o estado do apoio, da fixação e da rigidez do conjunto.
- 03** O diagnóstico estabeleceu uma relação direta entre a física do problema e os requisitos da solução.
- 04** O objetivo não é substituir a inspeção, mas ampliar a capacidade da manutenção de atuar preventivamente.



O SINAL

A ASSINATURA ACÚSTICA DO FINGER PLATE

Cada passagem de trem gera um registro sonoro próprio do ativo. É esse padrão que muda antes da aparência.



O QUE SE MEDE

O padrão acústico gerado na passagem sobre cada placa.

O QUE MUDA

Alterações no comportamento dinâmico antecedem o dano visível.

O QUE ISSO PERMITE

Direcionar a inspeção para o ativo certo, na janela certa.

O QUE MUDOU

Resultados consolidados com a implantação em ambiente operacional real.

337

Finger Plates com identidade e histórico próprios

0

sensores dedicados instalados ao longo da via

45

profissionais de nove áreas envolvidos no projeto

1

pedido de patente depositado no INPI: BR 10 2023 022933

SÍNTESE

OS RESULTADOS DO METRÔDETECTA

Oito resultados que estabeleceram uma nova abordagem para o acompanhamento de ativos da via permanente.

- | | | | |
|----|---|----|---|
| 01 | Utilização dos próprios trens como plataformas móveis de monitoramento. | 05 | Centralização das informações coletadas em operação. |
| 02 | Identificação automática dos Finger Plates monitorados. | 06 | Disponibilização dos registros para as equipes de manutenção. |
| 03 | Rastreabilidade individual dos ativos da via permanente. | 07 | Arquitetura escalável para ampliação da cobertura. |
| 04 | Criação de históricos de acompanhamento por componente. | 08 | Formalização da inovação pelo pedido de patente BR102023022933. |

EIXO 03

O DETALHAMENTO

Como a solução foi construída e implantada.

01

BASE METODOLÓGICA

Manutenção baseada na condição e monitoramento estrutural.

02

EIXOS DE ATUAÇÃO

Aquisição embarcada, identificação, dados e interfaces.

03

REDE HUMANA

Estrutura matricial multidisciplinar nascida no PLIM.

04

INFRAESTRUTURA DE APOIO

Governança por Mapa Estratégico e OKR.

CAPACIDADE INSTALADA

A ENTREGA VEIO DE DENTRO DA COMPANHIA

Sem contratação externa de desenvolvimento: engenharia própria, em estrutura matricial.

45

profissionais, engenheiros e técnicos, envolvidos na concepção e na implantação

9

áreas atuando em estrutura matricial, da operação aos suprimentos

1

pedido de patente depositado: BR 10 2023 022933

OKR

governança por Mapa Estratégico próprio e metas compartilhadas

A ARQUITETURA EM CINCO CAMADAS

Do evento observado na via ao registro disponível para a manutenção.

01

AQUISIÇÃO EMBARCADA

Sensores no trem captam o evento acústico gerado na passagem sobre o Finger Plate.

02

IDENTIFICAÇÃO

A leitura da tag RFID associa automaticamente o evento ao ativo correspondente.

03

TRANSMISSÃO

Os dados registrados a bordo são encaminhados para ambiente centralizado.

04

ARMAZENAMENTO

Os registros são organizados em base estruturada por ativo e por período.

05

DISPONIBILIZAÇÃO

Dashboards entregam a informação às equipes de manutenção e engenharia.

FLUXO OPERACIONAL

DO EVENTO NA VIA À DECISÃO DE MANUTENÇÃO

Cada passagem de trem percorre a sequência completa, de forma automática.

01

Passagem do trem sobre o Finger Plate.

02

Leitura da tag RFID instalada no ativo.

03

Identificação automática do componente monitorado.

04

Geração do evento acústico na interface veículo-via.

05

Aquisição do sinal pelos sensores embarcados.

06

Associação automática entre evento e ativo.

07

Registro e organização dos dados a bordo.

08

Transmissão para ambiente centralizado.

09

Armazenamento em base estruturada.

10

Disponibilização em dashboards de acompanhamento.

11

Consulta pelas equipes de manutenção e engenharia.

12

Apoio à priorização e ao planejamento das intervenções.

CAMADA 01

AQUISIÇÃO EMBARCADA

Os recursos de monitoramento saem da via e embarcam na composição.

- 01** A instrumentação foi instalada em composição operacional da Linha 15-Prata, tornando o trem um elemento ativo do monitoramento.
- 02** O sistema opera de forma independente, sem interferir em tração, frenagem, sinalização ou demais subsistemas de circulação segura.
- 03** Concentrar os recursos a bordo reduziu significativamente a complexidade de implantação.
- 04** A estratégia ampliou o potencial de expansão da solução para novos trechos da linha.



REQUISITO INEGOCIÁVEL

CONVIVER COM A OPERAÇÃO COMERCIAL

A implementação ocorreu diretamente em ambiente de transporte de passageiros, e não em laboratório.

01

SEGURANÇA OPERACIONAL

Nenhuma interferência nos subsistemas responsáveis pela circulação segura dos trens.

02

COMPATIBILIDADE

Requisitos eletroeletrônicos atendidos para convivência com os sistemas existentes.

03

DISPONIBILIDADE

Os equipamentos embarcados não podem comprometer a disponibilidade da frota.

04

INTEGRAÇÃO

Convivência com os sistemas já presentes na frota e na infraestrutura.

IDENTIFICAÇÃO E RASTREABILIDADE

Sem identificação confiável, nenhum dado coletado teria valor operacional.

- 01 Tags RFID foram instaladas individualmente em cada Finger Plate da Linha 15-Prata, dando a cada ativo um identificador único.
- 02 Durante a passagem do trem, o sistema embarcado lê a tag e vincula automaticamente o registro gerado ao ativo correspondente.
- 03 Isso elimina ambiguidades de localização e reduz a necessidade de correlação manual dos dados.
- 04 Cada componente passa a ser analisado não em um instante isolado, mas em sua evolução histórica.



ESCOLHA TECNOLÓGICA

POR QUE RFID

Vantagens decisivas para uma aplicação distribuída em ambiente ferroviário.

01

INSTALAÇÃO SIMPLES

Aplicação direta no ativo, sem obra ou adaptação estrutural na via.

02

ROBUSTEZ

Desempenho compatível com a exposição permanente do ambiente ferroviário.

03

SEM ENERGIA LOCAL

Dispensa alimentação elétrica em cada ponto da infraestrutura.

04

IDENTIFICAÇÃO EM ESCALA

Permite distinguir individualmente centenas de ativos distribuídos ao longo da linha.

RASTREABILIDADE

DO REGISTRO GENÉRICO AO HISTÓRICO DO ATIVO

A associação entre evento e ativo é o que transforma dado em informação de manutenção.

ANTES

- Evento registrado sem vínculo preciso com o componente.
- Localização da ocorrência dependente de correlação manual.
- Avaliação limitada ao instante da inspeção.
- Registros dispersos entre diferentes fontes.

COM O METRÔDETECTA

- Cada evento vinculado ao Finger Plate correspondente.
- Identificação automática pela leitura da tag na passagem.
- Série histórica por ativo, revelando evolução no tempo.
- Rastreabilidade de local, momento e trem responsável pela coleta.

COMUNICAÇÃO E TRATAMENTO DOS DADOS

Foi preciso transformar dados operacionais em informação acessível para consulta.

01

REGISTRO LOCAL

Os dados são gravados a bordo durante a circulação comercial da composição.

02

INTEGRAÇÃO

Mecanismos desenvolvidos para conectar o ambiente embarcado aos sistemas centrais.

03

CONSOLIDAÇÃO

Registros de diferentes períodos de operação reunidos em uma única base.

04

ORGANIZAÇÃO

Estruturação que viabiliza análises históricas e planejamento da manutenção.

A BASE HISTÓRICA DOS ATIVOS

Mais do que registrar eventos isolados, a solução estrutura uma visão integrada da infraestrutura.

01

POR ATIVO

Cada Finger Plate passa a ter um conjunto próprio de registros associado à sua posição.

02

POR PERÍODO

Os registros se acumulam ao longo do tempo, permitindo leitura de tendência.

03

COMPARÁVEL

Informações de diferentes regiões da linha convivem em um mesmo ambiente.

04

CONSULTÁVEL

A consulta retrospectiva substitui a busca dispersa por registros de campo.

INTERFACES DE ACOMPANHAMENTO

O dado só tem valor quando chega utilizável a quem executa a manutenção.

- 01 Dashboards específicos substituíram consultas dispersas por uma visão estruturada dos ativos e de seus registros históricos.
- 02 As interfaces facilitam a localização de informações, a consulta de registros anteriores e a análise do comportamento individual.
- 03 Foram concebidas para apoiar a tomada de decisão, e não apenas para exibir dados brutos.
- 04 A informação chega pronta para uso aos diferentes níveis da organização.



IMPLANTAÇÃO

VALIDAR CADA ETAPA ANTES DE INTEGRAR

O processo foi conduzido de forma gradual em ambiente operacional real.

01

AQUISIÇÃO

Validação isolada da captação do sinal durante a circulação comercial.

02

IDENTIFICAÇÃO

Verificação da leitura das tags e da associação automática ao ativo.

03

DADOS

Confirmação do registro, da transmissão e do armazenamento estruturado.

04

USO

Validação dos fluxos de consulta pelas equipes de manutenção e engenharia.

IMPLANTAÇÃO

DESAFIOS SUPERADOS

Superá-los transformou uma ideia de aprimoramento das inspeções em solução operacional integrada.

01 Instalação dos equipamentos em ambiente embarcado.

02 Integração entre sistemas embarcados e infraestrutura de monitoramento.

03 Identificação confiável dos ativos distribuídos ao longo da linha.

04 Armazenamento e organização dos dados coletados.

05 Disponibilização das informações para consulta pelas equipes técnicas.

06 Garantia de funcionamento sem impacto à operação comercial.

ESCALABILIDADE

A cobertura cresce sem crescimento proporcional da infraestrutura de aquisição.

337

ativos monitorados hoje pela mesma arquitetura embarcada

600

componentes previstos com a expansão da Linha 15-Prata

0

sensores adicionais exigidos na via para ampliar a cobertura

REDE HUMANA

QUEM CONSTRUIU O METRÔDETECTA

A inovação não veio de contratação externa: veio de dentro da operação.

- 01** 45 profissionais, engenheiros e técnicos, participaram da concepção, desenvolvimento, validação e implementação da solução.
- 02** A estrutura matricial reuniu competências complementares de áreas com experiências distintas.
- 03** Decisões de engenharia consideraram simultaneamente operação, manutenção, segurança, implantação e escalabilidade.
- 04** Mais do que um desenvolvimento tecnológico isolado, o projeto evidenciou a capacidade de cooperação interna da Companhia.



AS NOVE ÁREAS ENVOLVIDAS

O desafio envolvia aspectos estruturais, mecânicos, operacionais, eletrônicos, computacionais e analíticos.

01 Operação

02 Manutenção de via permanente

03 Material rodante

04 Monitoramento de ativos

05 Equipamentos eletrônicos

06 Sinalização

07 Oficinas

08 Engenharia

09 Suprimentos

AMBIENTE DE INOVAÇÃO

O PLIM: ONDE O PROJETO NASCEU

Programa Laboratório de Ideias, iniciativa corporativa do Metrô de São Paulo para desafios concretos da Companhia.

01

ORIGEM NO PROBLEMA REAL

O projeto nasceu da observação direta das dificuldades vividas pelas áreas de operação e manutenção.

02

SEM CONTRATAÇÃO EXTERNA

Não foi resultado de aquisição tecnológica tradicional, mas de desenvolvimento interno.

03

DECISÃO CONDICIONADA À NECESSIDADE

Cada escolha tecnológica foi determinada pelas necessidades reais do sistema.

04

CONHECIMENTO COMPARTILHADO

Ambiente que permitiu a profissionais de áreas distintas somar competências complementares.

GOVERNANÇA

COMO O PROJETO FOI CONDUZIDO

Instrumentos de gestão modernos aplicados a um projeto de engenharia de infraestrutura.

01

MAPA ESTRATÉGICO

Construído e implementado especificamente para o MetrôDetecta.

02

OKR

Execução orientada por Objetivos e Resultados-Chave, com metas compartilhadas entre as áreas.

03

ACOMPANHAMENTO

Progresso de cada frente de trabalho monitorado de forma estruturada.

04

TRANSPARÊNCIA

Decisões técnicas tomadas com rastreabilidade e visibilidade entre as equipes.

EIXO 04

A CONCLUSÃO

O que foi respondido e o que fica para o setor.

01

AS LACUNAS RESPONDIDAS

Cada limitação do diagnóstico tem hoje uma contrapartida.

02

AS PESSOAS

45 profissionais de nove áreas do Metrô de São Paulo.

03

O LEGADO

Competências internas em aquisição, dados e gestão de ativos.

04

A REPLICABILIDADE

Princípios aplicáveis a outros ativos da infraestrutura.

MUDANÇA DE PARADIGMA

A OBSERVAÇÃO DEIXA DE SER UM EVENTO

No modelo tradicional, o ativo é observado em momentos específicos, com intervalos significativos entre avaliações.

ANTES

- Observação em momentos definidos pelas janelas de manutenção.
- Intervalos significativos entre uma avaliação e outra.
- Decisão apoiada em evidência visual pontual.
- A operação comercial é apenas transporte.

COM O METRÔDETECTA

- Observação a cada passagem de trem sobre o ativo.
- Continuidade: a linha inteira é percorrida diariamente.
- Decisão apoiada em série histórica por componente.
- A operação comercial também é fonte de informação.

SÍNTESE

CADA LACUNA RESPONDIDA

A LACUNA

A falha começava antes de aparecer

Elementos críticos fora do alcance visual

Centenas de ativos, poucas janelas de manutenção

Registro sem identidade não gerava decisão

A RESPOSTA DO METRÔDETECTA

- O comportamento do ativo passou a ser observado durante a operação real, e não apenas sua aparência em campo.
- A resposta dinâmica da passagem carrega informação sobre fixação, apoio e rigidez do conjunto.
- O trem cobre a linha inteira todos os dias, sem instrumentação distribuída ao longo da via.
- A identificação por RFID vincula automaticamente cada evento ao Finger Plate correspondente.

IMPACTOS

O QUE MUDA NA PRÁTICA

Efeitos observados sobre manutenção, segurança e operação.

01

PRIORIZAÇÃO

Recursos, equipes e janelas de manutenção direcionados aos pontos que demandam maior atenção, reduzindo dispersão de esforços.

02

SEGURANÇA

Inspeções e intervenções planejadas com base em registros anteriores, reduzindo a dependência exclusiva de evidência visual.

03

PREVISIBILIDADE

Base comum de informação rastreável para discussão, planejamento e decisão entre as equipes técnicas.

04

COMPETÊNCIA INTERNA

Capacitação em aquisição acústica, referenciamento de ativos, processamento embarcado e gestão de dados.

“

BR 10 2023 022933 – SISTEMA DE MONITORAMENTO DE ELEMENTOS DE VIA EM MONOTRILHOS.

Pedido de patente depositado no INPI. A proteção formaliza a arquitetura desenvolvida e consolida o conhecimento gerado no projeto (METRÔ, 2023).

EVOLUÇÕES FUTURAS

O QUE A BASE HISTÓRICA PODE VIABILIZAR

A arquitetura foi concebida de forma modular, permitindo incorporação gradual de novas funcionalidades.

01

ANÁLISE AVANÇADA

Técnicas de análise de dados para apoiar a identificação de comportamentos anômalos e tendências de degradação.

02

CARACTERIZAÇÃO

Estudos sobre o comportamento dos Finger Plates ao longo do tempo e sua correlação com intervenções realizadas.

03

NOVOS ATIVOS

Extensão dos mesmos princípios a outros elementos observáveis durante a circulação dos trens.

04

RESSALVA DE ESCOPO

Estas são perspectivas de evolução da plataforma e não integram o escopo atualmente implantado.

A wide-angle photograph of a city skyline at sunset. The sun is low on the horizon, casting a warm orange glow over the scene. Several tall skyscrapers are visible, including the CN Tower on the left. The sky is a mix of orange and blue. The foreground is dark, showing the silhouettes of buildings and a road.

LEGADO

UM CAMINHO REPLICÁVEL PARA O SETOR

Os mesmos princípios de aquisição embarcada, identificação e rastreabilidade podem alcançar outros ativos observáveis durante a circulação dos trens. Fica também a competência interna construída em aquisição acústica, processamento embarcado e gestão de dados de manutenção.

AGRADECIMENTOS

A QUEM CONSTRUIU ESTA SOLUÇÃO

A inovação em infraestrutura metroferroviária nasce da integração entre experiência de campo, conhecimento técnico, método e colaboração.

01

OS 45 PROFISSIONAIS

Engenheiros e técnicos que participaram da concepção, desenvolvimento, validação e implementação do MetrôDetecta.

02

AS EQUIPES DO METRÔ

Operação, manutenção, via permanente, material rodante, monitoramento de ativos, eletrônicos, sinalização, oficinas, suprimentos, engenharia e tecnologia aplicada.

03

O CENTRO UNIVERSITÁRIO FEI

Pelas discussões técnicas nas fases iniciais de avaliação do problema e exploração de alternativas de monitoramento.

04

O COMPROMISSO PÚBLICO

O projeto reafirma o compromisso com a confiabilidade do serviço público de transporte.

FONTES

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 01 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 55001:2014: gestão de ativos — sistemas de gestão — requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.
- 02 COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO – METRÔ. Sistema de monitoramento de elementos de via em mon trilhos. Pedido de patente BR 10 2023 022933. INPI, 2023.
- 03 FARRAR, C. R.; WORDEN, K. Structural Health Monitoring: a machine learning perspective. Chichester: John Wiley e Sons, 2012.
- 04 JARDINE, A. K. S.; LIN, D.; BANJEVIC, D. A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance. Mechanical Systems and Signal Processing, v. 20, n. 7, p. 1483-1510, 2006.
- 05 LEE, J.; BAGHERI, B.; KAO, H. A. A cyber-physical systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. Manufacturing Letters, v. 3, p. 18-23, 2015.
- 06 LEI, Y.; YANG, B.; JIANG, X.; JIA, F.; LI, N.; NANDI, A. K. Applications of machine learning to machine fault diagnosis: a review and roadmap. Mechanical Systems and Signal Processing, v. 138, 106587, 2020.
- 07 RANDALL, R. B. Vibration-based condition monitoring: industrial, aerospace and automotive applications. Chichester: John Wiley e Sons, 2011.
- 08 WORDEN, K.; DULIEU-BARTON, J. M. An overview of intelligent fault detection in systems and structures. Structural Health Monitoring, v. 3, n. 1, p. 85-98, 2004.

32^a

SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

OBRIGADO(A)!

Alessandro Lins Alves - alealves@metrosp.com.br

Diego Silva Rocha - dsrocha@metrosp.com.br

Jackson de Carvalho Galocha - jgalocha@metrosp.com.br

Ronaldo Pereira Lacerda - rplacerda@metrosp.com.br

Viviane Ricarda Lima Veiga - vrveiga@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 METRÔ