

32^a

SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

**MONITORAMENTO DA FAIXA DE DOMÍNIO FERROVIÁRIA
POR IMAGENS COM SENSORIAMENTO REMOTO E
INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL**

UM MODELO DE MATURIDADE DA FISCALIZAÇÃO REATIVA À GESTÃO PREDITIVA

Categoria 3 — Trabalho Técnico

João Marcelo Aguiar Pereira

Flávio de Souza Morgado

Alexandre Carneiro Pereira

O DESAFIO

A faixa de domínio ferroviária sob a pressão da urbanização

Área de uso exclusivo ferroviário.

A Lei 6.766/1979 exige faixa não edificável de 15 m de cada lado da faixa de domínio.

Mas a extensão linear da malha e a ocupação urbana desordenada tornam a fiscalização manual insuficiente — elevando o risco de acidentes e o passivo patrimonial.

UM PASSIVO QUE CRESCE MAIS RÁPIDO QUE A FISCALIZAÇÃO

- Faixa de uso exclusivo ferroviário; faixa non aedificandi de 15 m (Lei 6.766/1979)
- Inspeções manuais não acompanham a extensão da malha nem a ocupação irregular
- A maior parte do setor opera em estágios iniciais de maturidade: resposta reativa

+ de 14 mil

acidentes ferroviários registrados entre 2004 e 2025.

~35% por interferência de terceiros

— a principal causa isolada: invasões, intrusões e obstáculos na via.

Fonte: RAAF / ANTT, 2026.

AS TECNOLOGIAS

Sensoriamento remoto, inteligência artificial e SIG como habilitadores

Três frentes que se complementam:

Sensoriamento remoto — satélite, drone e câmeras embarcadas captam a faixa em escalas distintas.

Inteligência artificial — visão computacional detecta e classifica anomalias automaticamente.

SIG — georreferencia as ocorrências e converte alertas em ordens de serviço.

TRÊS PLATAFORMAS, TRÊS ESCALAS

- Satélite (macro): varre grandes extensões e detecta mudança de uso do solo (revisita de 15 a 30 dias)
- Drone (meso): alta resolução (2–3 cm/pixel), câmeras RGB e térmica, nas áreas priorizadas pela triagem
- Câmera embarcada (micro): vigilância contínua 24/7, detecta intrusões em tempo real



ROBUSTEZ POR FUSÃO DE SENSORES E NÚCLEO DE IA

- Fusão RGB + térmico + LiDAR + SAR garante operação confiável em qualquer clima
- SAR penetra nuvens e chuva; térmico opera à noite; InSAR antecipa recalques e instabilidade de taludes

Núcleo de inteligência

Sobre as imagens opera a IA (visão computacional): YOLO para detecção em tempo real e Mask R-CNN para segmentação de anomalias.

As ocorrências são georreferenciadas em SIG e integradas à gestão ferroviária — o alerta é convertido em ordem de serviço.

O MODELO M³-FD

Da fiscalização reativa à gestão preditiva

Um modelo de maturidade em cinco níveis.

Organiza a evolução do monitoramento em cinco níveis (N0 a N4), avaliados por quatro dimensões: arquitetura tecnológica, robustez técnica, governança jurídico-regulatória e desempenho.

Permite diagnosticar o estágio atual de uma operação e planejar sua evolução de forma estruturada.

CINCO NÍVEIS, QUATRO DIMENSÕES

- Quatro dimensões: arquitetura tecnológica · robustez técnica · governança jurídico-regulatória · desempenho
- N0 Reativo → N1 Assistido → N2 Contínuo multiplataforma → N3 Automatizado → N4 Preditivo e conforme
- Instrumento para diagnosticar o estágio atual de uma operação e planejar sua evolução de forma estruturada.

M³-FD – CINCO NÍVEIS DE MATURIDADE

Nível	Arquitetura tecnológica	Robustez técnica	Governança jurídico-regulatória	Desempenho / evidência
N0 · Reativo	Inspeção manual; sem sensoriamento	Depende de equipe e condições de campo	Resposta a denúncias; conformidade reativa	Detecção tardia (meses)
N1 · Assistido	Drone pontual em áreas críticas	Sensor único (RGB); sensível ao clima	Registros episódicos; evidência avulsa	Cobertura localizada; sob demanda
N2 · Contínuo	Satélite + drone + câmera embarcada	Múltiplas plataformas; análise manual	Registro georreferenciado das ocorrências	Cobertura ampla; revisita periódica
N3 · Automatizado	+ IA (YOLO / Mask R-CNN) e SIG central	Detecção automática multiclasse	Alerta convertido em ordem de serviço	Detecção precoce; menos falsos alarmes
N4 · Preditivo	Fusão RGB + térmico + LiDAR + SAR	Operação 24/7 resiliente	Lei 14.273 + LGPD + cibersegurança	Gestão preditiva; priorização de risco

Fonte: elaboração própria. Dimensões avaliadas: arquitetura tecnológica · robustez técnica · governança jurídico-regulatória · desempenho.

PROVA DE CONCEITO: X KM, UF, 2026

- Trecho de X km, ferrovia de carga/mista em transição urbano-rural
- Cinco meses (fev–jun/2026); satélite + drone (RGB/térmico) + câmera embarcada
- IA: YOLOv8 + Mask R-CNN, treinados em ~12.400 imagens anotadas

Confiabilidade da detecção — intrusão de pessoas: muito alta; invasões, ocupações e edificações <15 m: alta.

Ganhos altíssimos em tempestividade, cobertura, agilidade alerta→ordem de serviço e registro documental.

Resultado: operação posicionada no Nível 3, já com elementos do Nível 4. Indicadores quantitativos não divulgados por força de acordo de confidencialidade (NDA).

DE REATIVO A PREDITIVO: UM ROTEIRO DE EVOLUÇÃO

- • N0 → N1: introduzir inspeções por drone nas áreas de maior criticidade
- • N1 → N2: implantar a arquitetura hierárquica (triagem por satélite + câmeras embarcadas)
- • N2 → N3: automatizar a detecção com IA e integrar o SIG, convertendo alertas em ordens de serviço
- • N3 → N4: consolidar a fusão de sensores (SAR) e a governança — Lei 14.273, LGPD e cibersegurança
- Uma atividade reativa torna-se um sistema de gestão contínuo, eficiente e preditivo.

32^a

SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

OBRIGADO(A)!

João Marcelo Aguiar Pereira · Flávio de Souza
Morgado · Alexandre Carneiro Pereira

joao.pereira@geonexus.com.br ·
flavio.morgado@geonexus.com.br ·
alexandre.carneiro@geonexus.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