

## 21ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

### CATEGORIA 3 - INSPEÇÃO INTEGRADA DE VIA PERMANENTE

**Bruno Saraiva**, engenheiro mecânico formado pela Universidade Paulista, MBA em Gestão e Engenharia de Produto pela Escola Politécnica da USP. Diretor de P&D da NomadLog Brastan Tecnologia Ferroviária. Trabalha com equipamentos e serviços para via permanente desde 1995, sendo especialista no desenvolvimento de soluções embarcadas.

**Jean Carlos dos Santos**, técnico em edificações, graduado em administração de empresas pela Faculdade Dom Bosco, pós-graduado em Engenharia de Produção pela PUC/PR. Coordenador de Via Permanente, Mecanização, da Malha Métrica da Rumo ALL. Trabalha em operadoras ferroviárias desde 1999.

**Rafael de Oliveira Gianelli**, engenheiro mecânico formado pela Universidade Estadual Paulista, MBA em Gerenciamento de Projetos pela Fundação Getúlio Vargas. Coordenador de estaleiros de soldas em trilhos e tecnologia em detecção de via permanente desde 2011.

**Diego Darli**, especialista em tecnologia da informação, formado em Ciência da Computação e Pós Graduação em Segurança da Informação. Diretor Comercial da NomadLog Brastan Tecnologia Ferroviária, empresa do segmento de serviços e tecnologia ferroviária. Oito anos de experiência gerenciamento de projetos corporativos para grandes empresas nacionais e multinacionais.

## 21ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

### CATEGORIA 3 - INSPEÇÃO INTEGRADA DE VIA PERMANENTE

#### **Introdução**

As operadoras metroferroviárias no Brasil estão inseridas em um cenário de crescente demanda por aumento da capacidade de transporte de carga e de passageiros, sem que haja comprometimento da segurança.

A ALL Operações Ferroviárias é composta de 4 concessões ferroviárias no Brasil, totalizando quase 13 mil km de ferrovias, cerca de 1000 locomotivas e 27 mil vagões, por meio dos quais a Companhia transporta commodities agrícolas e produtos industriais. Opera em uma área onde estão localizados quatro dos portos mais ativos do país. Seu corredor de bitola larga se origina no estado do Mato Grosso e atravessa todo o estado de São Paulo, percorrendo uma região que representa mais de um terço do PIB do país. (Fonte: IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística)

Atravessando regiões de geografia bastante diversificada e clima tropical severo, sua malha apresenta um comportamento muito dinâmico. Chuvas, variações de temperatura, cargas irregulares e material rodante diversificado sujeitam os trilhos, a fixação e a base a esforços que os deslocam constantemente. Essa característica exige um constante monitoramento da geometria da via, além de inspeções por ultrassom, visuais e outras técnicas complementares.

Por quase uma década, a inspeção de geometria da malha ferroviária de bitola larga da ALL utilizou um equipamento desenvolvido na América do Norte. Ainda que tenha

proporcionado bons resultados, sua disponibilidade ficava comprometida em períodos de manutenção, e os parâmetros medidos estavam limitados aos básicos (bitola, superelevação e curvas), que não atendem as futuras exigências das normas brasileiras.

Cabe mencionar que a comunidade ferroviária no país, incluindo os órgãos reguladores, vem nos últimos anos expressando a necessidade de adotar um padrão formal e normatizado nas inspeções da via permanente no Brasil. A ABNT<sup>1</sup>, através de seu Comitê Metroferroviário, publicou no último ano normas que orientam a inspeção de geometria de via, a nomenclatura dos defeitos em trilhos, e com coordenação da ABENDI<sup>2</sup> os procedimentos para inspeção de trilhos por ultrassom. A ANTT<sup>3</sup> passou a exigir inspeções periódicas e devidamente documentadas.

O Brasil é carente de tecnologia própria para inspeção ferroviária com alta produtividade, ficando na dependência de fornecedores estrangeiros, sujeitos às dificuldades dos processos de importação, e usualmente operando com tecnologias já superadas.

Nesse contexto, foi desenvolvida uma solução tecnológica que objetiva atender alguns desafios: permitir uma eficiente coleta dos parâmetros de geometria da via, com baixa ocupação da malha ferroviária, ao mesmo tempo que integra outras categorias de inspeção de via num mesmo ambiente de gerenciamento. Este artigo relata as principais soluções adotadas nesse sistema, bem como algumas dificuldades encontradas e os resultados obtidos até o momento.

Em função da complexidade do sistema desenvolvido, este trabalho deve necessariamente ser apreciado com foco em dois itens bastante distintos: o desenvolvimento de um veículo

---

<sup>1</sup> Comitê CB-06 da Associação Brasileira de Normas Técnicas

<sup>2</sup> Associação Brasileira de Ensaios Não-Destrutivos

<sup>3</sup> Agência Nacional de Transportes Terrestres



AEAMESP



rodo-ferroviário para aquisição de dados de geometria de via, e de um ambiente digital para o manuseio dos dados coletados não somente por este veículo como também por outros instrumentos de inspeção ferroviária.



## Diagnóstico

As inspeções da via permanente, tanto visuais (feitas por rondantes, mestres de linha) como mecanizadas (carros controle, sistemas por ultrassom e correntes parasitas, entre outros) tradicionalmente dependem de uma comunicação não padronizada para notificação dos defeitos aos responsáveis por sua correção. São utilizados correio eletrônico, mensagens instantâneas, chamados de rádio, telefonemas, recados. Isso acaba gerando perda de rastreabilidade, de estatística, ou algumas vezes até da própria informação.

A equipe de engenharia ferroviária torna-se obrigada a analisar diversos tipos de arquivos e relatórios em diferentes ambientes, e criando sua própria solução para correlacionar os dados disponíveis - nas restritas situações onde isso é logrado.

Em relação ao veículo para inspeção contínua da geometria da via, usualmente conhecido como Carro Controle, os operadores ferroviários encontram algumas dificuldades: os veículos exclusivamente ferroviários são máquinas de via grandes, tratadas pelo CCO<sup>4</sup> como trens - um trem que não gera receita, ocupa a linha e não tem flexibilidade de liberar os trechos exceto em pátios e desvios livres.

Esses veículos representam, ainda, um investimento significativo, exigindo para sua aquisição anos de estudo e justificativas. Por essa razão, uma vez incorporados ao ativo da operadora, são mantidos operacionais por décadas, e ao mesmo tempo em que vão operando com tecnologias cada vez mais desatualizadas, vão tendo custo de manutenção multiplicado por exigirem componentes exclusivos e muitas vezes descontinuados.

Os equipamentos portáteis, que impactam menos na circulação, não permitem a produtividade necessária e não conseguem ler com precisão importantes grandezas de

---

<sup>4</sup> Centro de Controle Operacional

geometria, principalmente aquelas relacionadas à curvatura. Sua utilização é recomendada somente para inspeções pontuais e em trechos curtos, e demandaria muita mão-de-obra para percorrer grandes extensões - que ainda assim não trariam todas as grandezas necessárias.

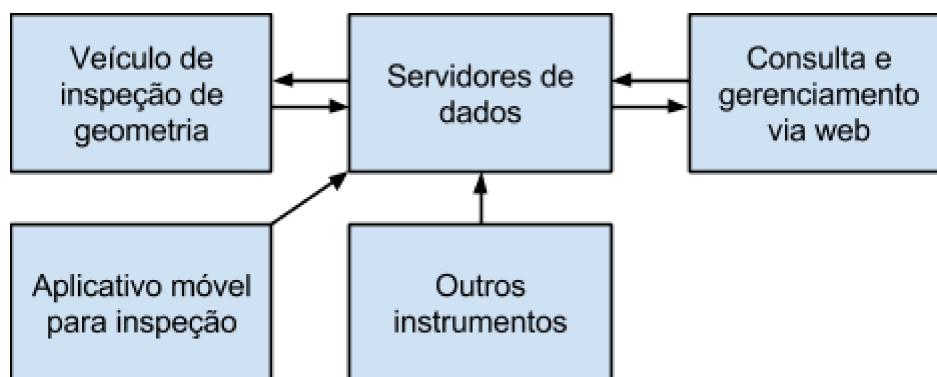
A solução intermediária, usando veículos rodo-ferroviários, vem atendendo cada vez melhor a inspeção de geometria nas ferrovias do Brasil. Alguns pontos de preocupação ainda se mostram presentes, principalmente em função da inércia do atendimento e da impossibilidade de adaptação às necessidades das operadoras locais, por se tratar de produtos desenvolvidos no mercado externo, e assim sujeitos aos interesses do desenvolvimento daqueles fabricantes, e também à burocracia no processo de importação de bens e serviços no nosso país.

## Estrutura do sistema

A proposta deste projeto foi a de desenvolver um sistema integrado, apoiado nos seguintes pilares:

- Veículo de coleta contínua de dados de geometria, capaz de medir os parâmetros exigidos pela norma brasileira em velocidade próxima ao dos trens comerciais.
- Uso de aplicativo para dispositivos móveis, que traga agilidade e organização às tarefas de inspeção da via.
- Comunicação rápida com servidores corporativos para compartilhamento das informações.
- Geo-referenciamento de todos os dados inseridos no sistema.

Pode-se representar a estrutura principal pelos seguintes componentes:



*Figura 01 - estrutura do sistema*

Para melhor didática, optou-se neste artigo inicialmente pela apresentação dos módulos relacionados à tecnologia de informação.

## Servidores de dados

Foi criada uma infra-estrutura para comunicação e armazenagem dos dados relacionados com as inspeções. Essa infra-estrutura está presente na chamada nuvem de dados, que implica na contratação de um prestador de serviços externo. Esse fornecedor mantém enorme quantidade de computadores em um centro de dados (data center), e nesses computadores configura máquinas virtuais, que são locadas a seus clientes.

Ainda que a administração dessas máquinas virtuais seja muito semelhante ao que é feito diretamente em um servidor físico rodando sistema operacional Linux, obtém-se uma série de vantagens por essa opção:

O serviço não depende de um computador específico estar em condições operacionais. Quando um servidor físico administrado por um usuário apresenta determinadas falhas de hardware, todos seus serviços ficam indisponíveis. Já as máquinas virtuais co-existem rodando em diferentes servidores físicos do centro de dados.

A estrutura de alimentação elétrica ininterrupta é muito mais robusta nesses centros de dados do que aquela tipicamente instalada em uma empresa não especializada, tornando-se praticamente nula a ocorrência de indisponibilidade por falta de energia na rede pública.

Uma vez que toda a integração dos dados baseia-se na transmissão de informações digitais, o uso de redes, especificamente da Internet, é inevitável. A estrutura de rede dos centros de dados dedicados também é muito mais estável do que os serviços instalados em endereços convencionais.

Apresenta-se ainda a vantagem denominada escalabilidade: imaginando-se um cenário onde o sistema de inspeção cresce e atinge a capacidade de processamento ou de armazenagem

até então contratada, pode-se contratar imediatamente mais espaço ou mais processamento conforme necessário.

### Consulta e Gerenciamento Web

Um dos pilares da solução desenvolvida é a integração de dados. Isso implica que os diversos dados de inspeções ferroviárias sejam concentrados em uma única plataforma de consulta e gerenciamento, e que elas compartilhem formas de apresentação semelhantes, independentemente de sua origem.

Além disso, objetivou-se unificar a linguagem dos inspetores, com a finalidade de viabilizar análises estatísticas e um melhor gerenciamento. Um exemplo interessante é a múltipla denominação de um defeito no trilho, encontrando-se relatos de trincas, fissuras, fraturas, trilhos quebrados, trilhos rompidos, entre outros. Os inspetores não sabem qual termo usar, e os relatórios e estudos subsequentes perdem a viabilidade estatística.

Foi criada uma **árvore de eventos**, que fica integrada nas diversas instâncias do sistema integrado de inspeção. Essa estrutura não é rígida, mas a inclusão de novos eventos é atribuição de poucas pessoas, e restrita a nível gerencial. A organização em árvore facilita ao operador que escolha a alternativa correta, e um manual com exemplos fotográficos pode ser elaborado a partir dos próprios eventos já reportados no banco de dados.

O ambiente web permite a criação de filtros de pesquisa baseados nessa estrutura de eventos. Assim, é possível localizar uma lista de ocorrências de “agulhas desgastadas” ao longo do trecho “005 - São Jose até Piratinga”.

Esses filtros futuramente poderão ser utilizados para automatizar a comunicação de eventos aos responsáveis cadastrados para solucioná-los.

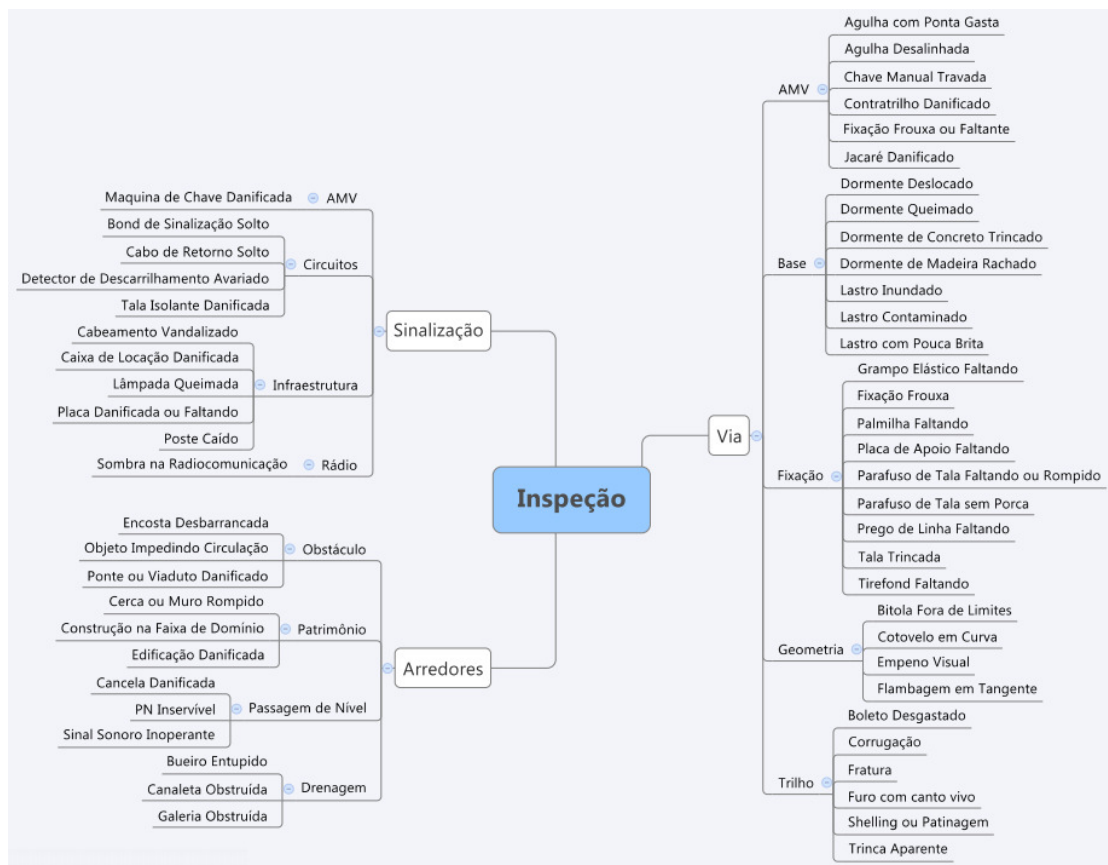


Figura 02 - Exemplo de árvore de eventos

Mostrou-se necessária no projeto a **identificação automática dos trechos**. Isso significa que um dispositivo móvel (seja o veículo de inspeção, a aplicação rodando em um smartphone ou um instrumento portátil) deve ser capaz de identificar em qual trecho da ferrovia ele se encontra, através das coordenadas geográficas obtidas em seu receptor GNSS<sup>5</sup>.

Esse desafio mostrou-se bastante complexo. Inicialmente, foi feito um cadastro da malha ferroviária, onde são registrados os diversos trechos, com o marco quilométrico inicial e

<sup>5</sup> Global Navigation Satellite System

final, e coordenadas geográficas desses pontos e de outros pontos intermediários. Os diversos pontos possuem atributos de sua localização ao longo da via.

A partir das coordenadas recebidas pelo receptor do instrumento, é feita uma triangulação buscando na base de dados os pontos conhecidos mais próximos. Com isso, temos uma solução simplificada, que sugere o nome e código do trecho, e o marco quilométrico atual. A informação ao usuário assemelha-se à frase: “Você está no trecho 18, entre Araraquara e Rio Claro, no quilômetro 230+188, na linha 1”.

Essa solução simplificada começa a sofrer falhas quando temos uma localização mal resolvida pelo receptor do GPS, ou quando temos uma precisão insuficiente em uma região onde há mais de uma linha. Para isso, outros algoritmos são empregados, utilizando a distância percorrida pelas rodas do veículo (quando houver), e até mesmo o traçado dinâmico percebido pelos sensores do equipamento. Em casos extremos, a interface deve apresentar ao usuário a opção de indicar o local correto, entre os trechos e linhas possíveis para aquela situação.

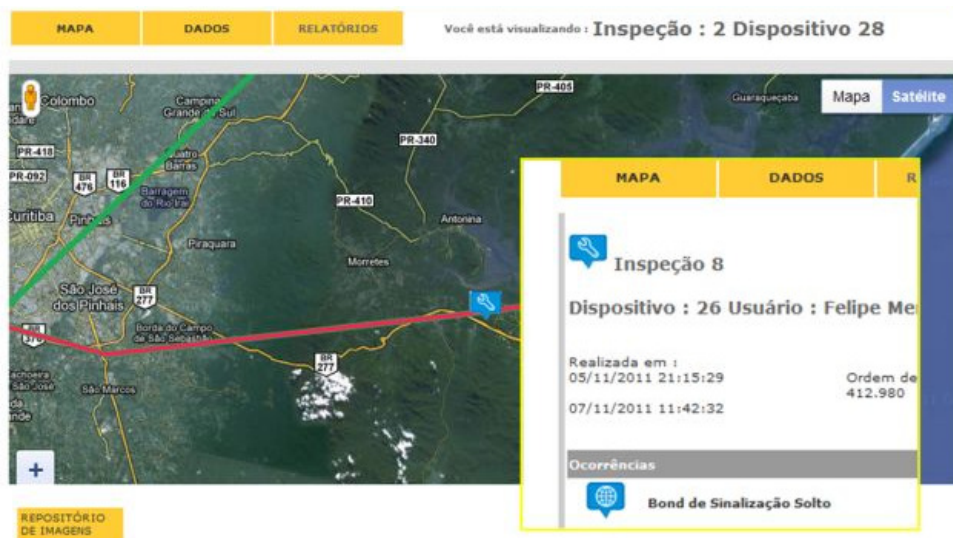
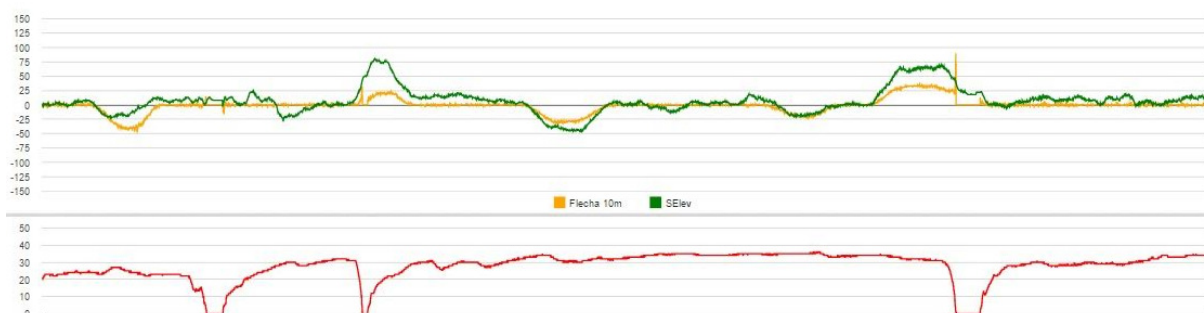


Figura 03 - geo-referenciamento para localização dos eventos

Determinou-se a necessidade de identificar unicamente, dentro do banco de dados, uma posição da ferrovia. Em termos computacionais, nem sempre a informação “Km 540+300” é suficiente para definir um ponto. Algumas vezes existem dois pontos com mesmo marco quilométrico ao longo da base de dados. Avançando mais no desafio, é fato de que nas ferrovias os marcos quilométricos inteiros (Km 72, 73, 74...) não estão distantes mil metros entre si, são de certa forma meramente nominais. A base de dados do traçado ferroviário precisou ser modelada para que o sistema compreenda corretamente a extensão real da ferrovia, e de cada trecho. Isso é particularmente importante para gerenciamento estatístico, e para análise gráfica de inspeções e dados discretos ao longo de um segmento da ferrovia.





*Figura 04 - reprodução gráfica na web de grandezas medidas no trecho*

Também é relevante é o **controle de acesso**. O ambiente de gerenciamento exige acesso controlado aos dados, e a atribuição adequada dos direitos de acesso de cada usuário. Esses usuários interagem com a plataforma em diversas instâncias, a saber o próprio site na web, o aplicativo de coleta de dados nos dispositivos móveis, e nos instrumentos de inspeção.

Como a plataforma foi projetada para operar com diversas ferrovias, houve a necessidade de estabelecer-se um vínculo bilateral entre as pessoas e as ferrovias. Esse vínculo permite que um usuário tenha acesso a determinadas informações da ferrovia, e vice-versa, e pode ser rompido por qualquer uma das partes.

### **Aplicativo para dispositivos móveis**

A especificação do projeto determinou não somente um equipamento móvel para inspeção de geometria de via, mas também um aplicativo que permitisse a inclusão na base de dados, de eventos que fossem encontrados por inspetores durante outras atividades.

Isso gerou a criação de um aplicativo que opera em dispositivos móveis, inicialmente para sistema operacional Android. O aplicativo foi disponibilizado no serviço de distribuição de programas daquele sistema, denominado Google Play. Com o programa instalado em seu

smartphone, o inspetor pode registrar um novo evento sempre que encontrar um. Esse evento recebe localização geográfica, indicação de trecho ferroviário, e classificação, e é enviado para os servidores corporativos para correção dos problemas pelos responsáveis.

O mesmo aplicativo que é usado para a inspeção visual descrita acima é o programa usado como interface de operação do veículo de inspeção de geometria.

### **Veículo de inspeção de geometria**

Face às considerações de ocupação de via, agilidade para livrar um trecho ferroviário, facilidade de transporte da equipe ao local de pernoite, deslocamento intermunicipal, entre outros, optou-se pela utilização de um veículo equipado por sistema rodo-ferroviário.

A instalação do conjunto rodo-ferroviário foi feita por uma empresa tradicional nesse segmento no Brasil. O veículo foi escolhido pela operadora ferroviária em função de conveniência de mercado, e também de facilidade de atendimento e manutenção nas diversas localidades onde opera.



*Figura 05 - Veículo de inspeção na via férrea*

Esse sistema consiste de rodas ferroviárias com acionamento hidráulico, que são recolhidas quando o veículo está em modo rodoviário, permitindo sua utilização normal em rodovias e também em vias urbanas. Para acessar a ferrovia, o veículo dirige-se a uma passagem em nível, e baixa as rodas ferroviárias, passando a circular como um trem.

Para controle operacional, o caminhão é dotado dos mesmos equipamentos de comunicação e rastreamento existentes nos trens. Assim, em circulação pela linha, é visto pelo CCO, e administrado como qualquer outra composição, sujeito às seções de bloqueio, autorizações e regras.

Dentro da carroceria, foram instalados equipamentos que permitem a execução dos trabalhos de inspeção com conveniência, e em acordo com as condições típicas dessa atividade: longos períodos em trechos remotos, sem acesso a serviços públicos e restaurantes, incluindo forno de microondas e refrigerador. Para não conflitar com a legislação trabalhista, e também considerando os riscos de segurança, optou-se por não

dotar o ambiente de camas como ocorre em alguns trens de inspeção maiores. Assim, o turno de trabalho prevê que os pernoites sejam feitos sempre em hotéis ou instalações da ferrovia.



*Figura 06 - interior da carroceria do veículo de inspeção*

O caminhão foi dotado de diversos **sensores** que lhe permitem a leitura dos parâmetros de geometria da via. O processamento desses sensores foi concebido de uma maneira bastante diferenciada de outros equipamentos de inspeção ferroviária, uma vez que cada sensor possui seu próprio processamento digital. Isso permite que cada grandeza seja processada por um filtro numérico digital concebido especificamente para aquela finalidade, e lida em taxas de amostragem bastante altas.

Os sensores escolhidos para a leitura de bitola utilizam elementos magnetorestritivos, com resolução linear, analógica. Convertido para grandeza digital por um ADC<sup>6</sup> de 16 bits ao longo de um curso de 100mm, temos uma resolução da ordem de milésimo de milímetro.

---

<sup>6</sup> Analog to Digital Converter - Conversor Analógico para Digital

Considerando a construção mecânica, atingimos precisões de 0.1mm, com leituras na ordem de 500Hz.

Para determinação da superelevação, é utilizada uma combinação de sensor MEMS com taxa de atualização de 1000Hz para as respostas mais rápidas, aliado a um inclinômetro analógico de fluido viscoso para aferição, e correlacionado com o movimento lido no eixo longitudinal de um giroscópio de fibra ótica.

As curvaturas são lidas por um giroscópio de fibra ótica, sendo empregada a tecnologia mais avançada disponível para aplicação civil. Aqui também foram empregadas taxas de leitura de 1000Hz, com processamento digital dedicado.

O veículo foi dotado de acelerômetros em três posições estratégicas: nas rodas diretamente apoiadas no topo do boleto dos trilhos, nos lados esquerdo e direito, e no centro do conjunto mecânico junto com os sensores inerciais. Esses acelerômetros permitem a detecção de calos, juntas muito afastadas, além de outros defeitos.

O conjunto de medições é complementado por sensores secundários, que informam localização através de um receptor GNSS, proa magnética por magnetômetro digital, altitude e pressão atmosférica por barômetro, e temperatura.

---

<sup>7</sup> MicroElectroMechanical Systems, Micro-sistemas Eletromecânicos

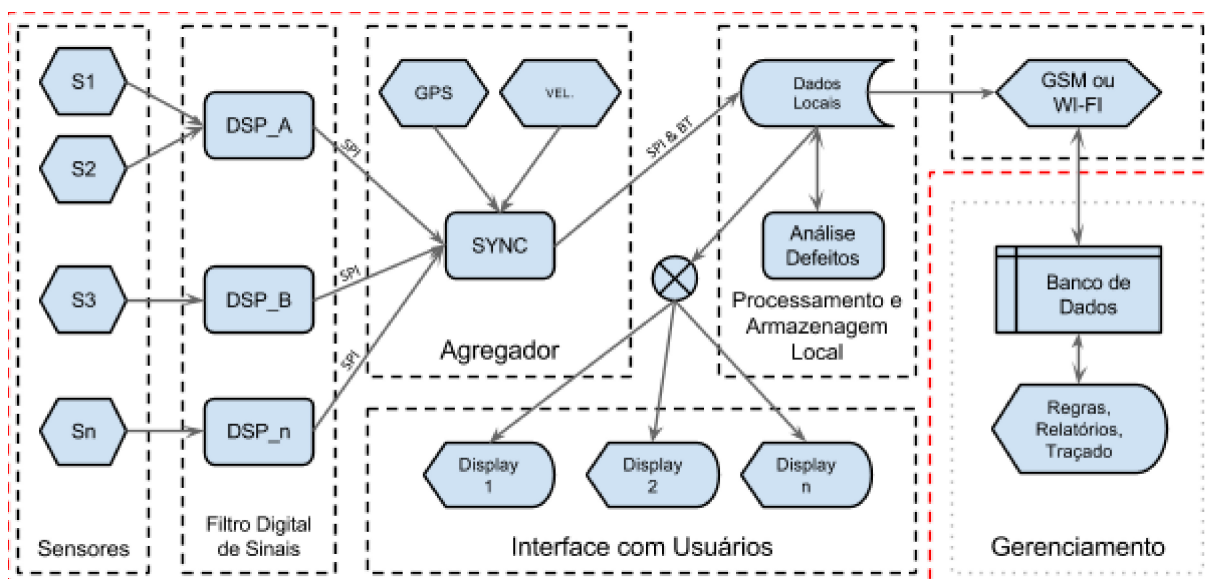


Figura 07 - Estrutura dos componentes do sistema de inspeção

Após serem processados pelo processador acoplado, os dados dos sensores são enviados para um dispositivo denominado agregador. O agregador sincroniza as diversas informações, agrega os dados em uma mensagem digital, acrescenta uma marca de tempo, e os envia para um servidor local que roda Linux. As funções desse servidor são:

- Armazenar os dados em HD's de estado sólido;
- Processar as grandezas calculadas;
- Comparar os valores com os limites definidos para o trecho inspecionado, gerando as não-conformidades.

Criou-se uma inteligência que auxilia na determinação da ocorrência de defeitos e em sua classificação. A lógica desse serviço é:



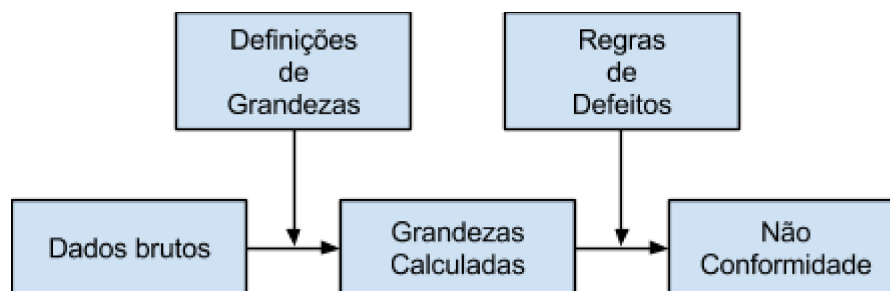


Figura 08 - Lógica da avaliação automática de defeitos

Os dados brutos são aqueles recebidos pelo agregador, e formam o menor bloco de informações que precisam ser armazenadas para uma avaliação posterior de qualquer regra de defeito.

A partir daí, são processadas as grandezas calculadas. Essas grandezas ocupariam espaço desnecessário de armazenamento digital e de banda de comunicação, pois podem ser reconstruídas em qualquer momento repetindo-se os algoritmos. Assim, são processadas somente quando necessário (por exemplo, para gerar gráficos ou para determinar a ocorrência de defeitos de geometria na via).

Esse conceito permitiu uma interessante flexibilidade na avaliação dos parâmetros da via. Tornou-se possível avaliar, por exemplo, variações de bitola em diferentes bases. Torsões e empenos em qualquer distância desejada. Calcular médias de outras grandezas calculadas. Correlacionar variações de superelevação com intensidade de curvatura, ou qualquer outro cálculo matemático desejado a partir das coordenadas cartesianas dos trilhos.

Outra possibilidade interessante, mas ainda não testada, é a de processar um mesmo lote de dados brutos, sob diferentes regras de defeitos. Isso será útil quando a ferrovia quiser avaliar as condições de geometria para uma eventual aumento de velocidade no trecho.

## Eletrônica embarcada

A **eletrônica embarcada** foi projetada seguindo os conceitos de baixo consumo, em consonância com as orientações modernas de economia de energia, respeito ambiental, e autonomia. O equipamento todo operando drena menos de 2A de um barramento de 24 volts, em condição de máximo consumo. Para conseguir isso, cada sensor, fonte, processador, e seus respectivos softwares foram otimizados. Os diversos barramentos de alimentação são monitorados, e o consumo e a tensão na bateria do veículo e na bateria auxiliar estão disponíveis para decisões de gerenciamento de energia pelo sistema. Em um cenário de testes onde a bateria do caminhão não está disponível, o conjunto mantém-se operando por duas horas alimentado por um pequeno bloco de baterias auxiliares instalado no gabinete de eletrônicos.





Figura 09 - Gabinete de equipamentos eletrônicos

A inspeção pode ser acompanhada em qualquer dispositivo que esteja conectado à rede TCP/IP do veículo, seja por cabo ou por Wi-Fi, utilizando-se um aplicativo dedicado que roda em sistema operacional Android.

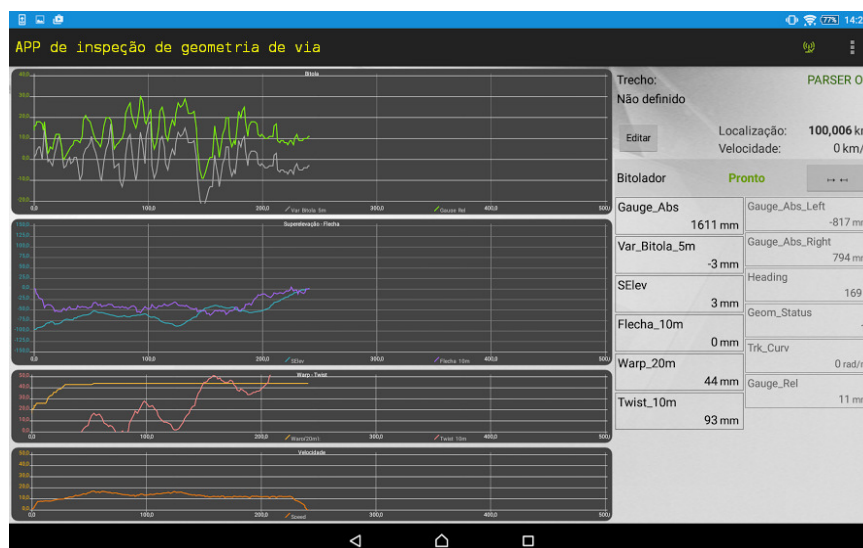


Figura 10 - Tela da interface de inspeção de geometria

Para a visualização por convidados, um monitor de tela grande foi montado no interior do veículo. Nessa tela está conectado um dispositivo móvel que roda o mesmo aplicativo, de maneira que todos os comandos e informações podem ser acessados por nessa interface. Mostrou-se possível também que um visitante acompanhe a inspeção em um smartphone que rode Android, instalando nele o aplicativo, e desde que seu acesso seja autorizado pela ferrovia.

Teoricamente, é possível a utilização de até 250 dispositivos clientes ao mesmo tempo. Cada operador pode se concentrar em uma determinada grandeza, e pode optar por permanecer

no ambiente interno, na cabine junto do condutor, ou ainda ficar em uma varanda posicionada na traseira do veículo, observando a via.



*Figura 11 - Acompanhamento da inspeção em tablet, observando a via*

Já durante a inspeção, a transferência dos dados é feita por diferentes redes de comunicação, incluindo internet sem fio, e rede de telefonia celular. Estabeleceu-se uma priorização dos dados transmitidos, de maneira a garantir que eventos mais críticos sejam informados o quanto antes.

### **Outros instrumentos**

A plataforma de integração foi concebida de maneira a permitir que dados de outras fontes possam ser armazenados no mesmo banco de dados. Inicialmente, foram integrados instrumentos desenvolvidos pela mesma equipe técnica.

Um instrumento de inspeção de geometria muito utilizado é a régua de bitola e superelevação. Ao se utilizar uma régua digital que permita a exportação dos dados, pode-se configurar o ambiente para que essas medições fiquem disponíveis no ambiente web. Régua mais modernas permitem inclusive que as coordenadas geográficas sejam automaticamente anexadas à medição feita, e o aplicativo se encarrega de transmitir a medição para o servidor de dados deste projeto.



*Figura 12 - Medição de bitola e superelevação com instrumento digital*

Assim, a informação relevante é que em um certo local da ferrovia mediu-se uma bitola fechada, com 25mm abaixo da nominal, e isso deve ser corrigido. Para fins de manutenção, não importa se essa medição foi feita com um veículo coletando dados a 50Km/h ou por um inspetor usando uma régua de bitola.

A plataforma prevê ainda que outros instrumentos façam parte desse ecossistema de inspeção ferroviária, tais como os equipamentos portáteis (trolleys) de medição de geometria, os instrumentos de leitura de desgaste de trilhos.



AEAMESP



A árvore de defeitos padronizada cadastrada no banco de dados inclui também eventos de outras administrações da ferrovia, tais como sinalização e manutenção predial.

## Análise dos Resultados

Na data de publicação deste artigo, o sistema segue em evolução. Os resultados obtidos até então são extremamente positivos, comprovando a capacidade da engenharia brasileira de viabilizar uma solução tecnológica em níveis iguais ou superiores ao da indústria ferroviária mundial. A linha de tempo abaixo mostra as funcionalidades já atingidas, e as que estão em implantação.

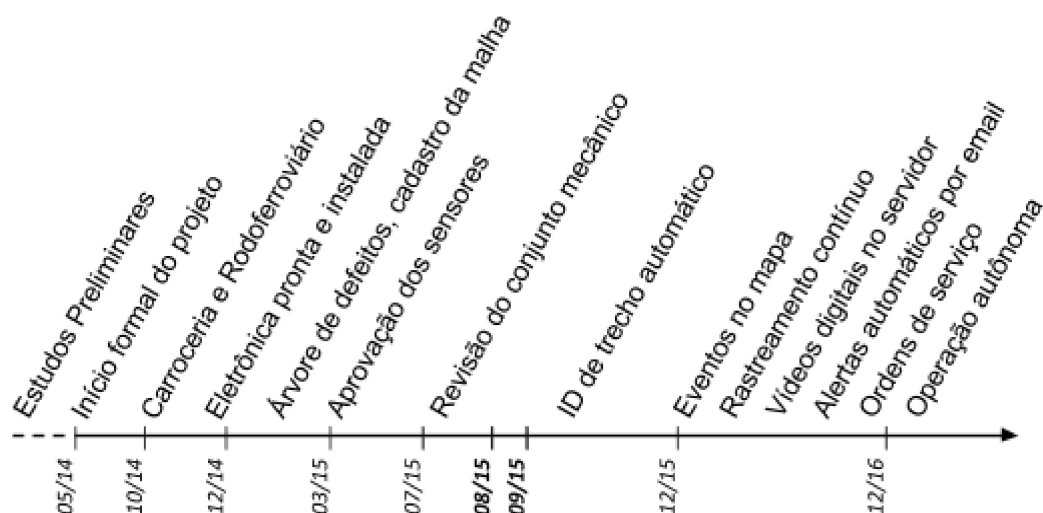


Figura 13 - Linha do tempo do desenvolvimento

## Veículo de inspeção de geometria

Ao longo dos testes, várias análises foram feitas para validar a credibilidade dos dados medidos. Simulações de calibração de alterações de sensores foram introduzidas no sistema, para verificar os resultados apresentados e comparar com o esperado. Medições básicas foram feitas em tabelas de acompanhamento, como na imagem abaixo.



KM REAL: 217.720			KM REAL: 211.000			KM REAL: 209.000			KM REAL: 207.000		
X	Bitola	Super	X	Bitola	Super	X	Bitola	Super	X	Bitola	Super
Caminhão	1605	-57	Caminhão	1603	+10	Caminhão	1601	+11	Caminhão	1596	+19
Régua	1603	-54	Régua	1603	+9	Régua	1598	+8	Régua	1595	+19

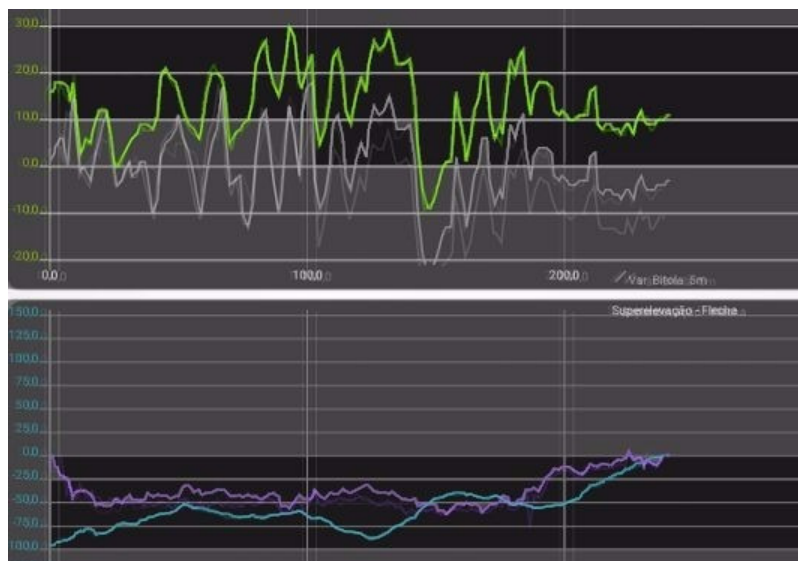
KM REAL: 205.000			KM REAL: 203.000			KM REAL: 200.040			KM REAL: 196.151		
X	Bitola	Super	X	Bitola	Super	X	Bitola	Super	X	Bitola	Super
Caminhão	1601	-5	Caminhão	1601	-6	Caminhão	1600	-1	Caminhão	1601	-10
Régua	1600	-4	Régua	1600	-8	Régua	1609	0	Régua	1607	-12

Figura 14 - Folha de avaliação de dados em campo

Os sensores escolhidos mostraram-se extremamente precisos, e com a devida calibração, obteve-se leituras de superelevação com precisão melhor que 2mm com o veículo percorrendo a via em velocidade de 40Km/h.

Novos algoritmos estão sendo implementados, e com o novo conjunto mecânico e a utilização complementar dos diversos sensores de inclinação, espera-se precisão melhor que 1mm em velocidades de 60Km/h.

Também foram feitos testes de repetibilidade, conduzindo o veículo de inspeção pelo mesmo trecho diversas vezes. A figura abaixo mostra a sobreposição de três medições em um mesmo trajeto de 250 metros. Os sensores que estavam sendo avaliados eram o de bitola (representado pela linha verde), e o de superelevação, mostrado em azul. Observou-se uma excelente repetição dos valores medidos, mesmo em condições adversas de inspeção (trata-se de um ramal ferroviário pouco submetido a manutenção, com muita variação de bitola e vários dormentes em balanço).



*Figura 15 - Sobreposição de grandezas no mesmo local em momentos distintos*

Esses dados mostram a excelente aderência das leituras, sendo praticamente impossível verificar diferenças nas linhas sobrepostos dos dois sensores analisados.

O conceito escolhido inicialmente para o conjunto mecânico teve que ser revisto por duas vezes. As ferrovias do país possuem trechos bastante sofríveis, cuja inspeção contínua traz desafios que as malhas principais de países desenvolvidos desconhecem. Objetos soltos pela via resultantes de vandalismo ou do descaso da sociedade nas comunidades vizinhas, talas de junção quebradas ou pontas de trilhos muito afastadas, aparelhos de mudança de via sem manutenção ou irregulares. Enfrentou-se diversas situações onde o gabarito livre para os apalpadores não é respeitado, e isso teve que ser contornado com um novo desenho que permitisse mais movimento nos braços de fixação.

## Ambiente de gerenciamento

As vantagens de se ter os dados de inspeção em uma única plataforma mostram-se incontestáveis. Uma carga de trabalho significativa das inspeções até então é ocupada pela transmissão de informações. Os relatórios eram frequentemente copiados e encaminhados, e diversas cópias ficam abandonadas em servidores de email ou pastas pessoais. No cenário desenvolvido, qualquer usuário com direito de acesso pode ver a lista de eventos de seu trecho simplesmente acessando uma página web. Nesse ambiente, visualiza os gráficos da inspeção, e pode localizar os eventos em mapas.

Interessante notar que essa facilidade, no início, é mal recebida pelos ferroviários. Notou-se uma resistência à mudanças, e uma tendência de recusa. O velho gráfico em papel, que é recebido pelo supervisor de trecho algum tempo depois da inspeção de um carro controle é tido como método insubstituível. Contudo, aquele gráfico em papel não pode ser facilmente enviado para a engenharia de via, não pode ser facilmente localizado alguns meses depois, e não serve para rastreabilidade. Com a expansão das conexões de internet ao longo de todas as estações, e com a facilidade de acesso ao site em dispositivos portáteis, os usuários começam a perceber que carregam consigo não somente aquelas folhas de papel, mas todas as outras do ano - e com recursos de filtros, busca de informações, análises de tendência, e outras. Uma questão de mudança de hábitos.



## Conclusões

O desenvolvimento de produtos de alta tecnologia é um desafio em qualquer lugar do mundo, e no cenário brasileiro, acrescentam-se alguns requintes de crueldade.

Entre outras, os coordenadores encontraram muita dificuldade para encontrar profissionais com os conhecimentos necessários para um projeto como este. Infelizmente o nível de formação acadêmico e a experiência de mercado mostraram-se insuficientes para as necessidades, sendo que recorreu-se diversas vezes a prestadores de serviço no exterior.

A burocracia e custo típicos da importação de componentes no país também gerou atrasos no projeto. Embarques de pequenos componentes eletrônicos de valor inferior a mil dólares norte-americanos acabam, aleatoriamente, requerendo processos burocráticos de desembaraço aduaneiro que por si custam mais do que a própria mercadoria. Comparado com outros países que criam soluções no mesmo mercado, sabemos que o custo do projeto no Brasil foi significativamente superior.

Por outro lado, a dedicação, criatividade e comprometimento dos profissionais que participam desse projeto são características positivas típicas de nossa nação. Muito provavelmente um projeto no exterior, ainda que também resultasse no objetivo desejado, utilizaria as soluções tradicionais, e perderia a oportunidade de incorporar tantos diferenciais que no final criaram uma solução única.



AEAMESP



## Referências Bibliográficas

ABNT NBR 7640:2014 - Defeitos de trilhos utilizados para via férrea

ABNT NBR 7641:1980 - Via permanente ferroviária

FRA Federal Railway Association - Track Safety Standards Compliance Manual