

Manutenção 4.0 da Via Permanente: avanços na utilização de *big data*

Arthur Bilheri^{1*}

¹ Gerência de confiabilidade de ativos – MRS Logística, Av. Brasil, 2001, 36060-010

arthur.bilheri@mrs.com.br

Este artigo apresenta como a MRS Logística está utilizando dados para a manutenção da via permanente. Estes dados são originados em equipamentos especiais de medição, cadastro de ativos e dados da operação de trens. Para que estes dados sejam transformados em informações relevantes, eles necessitam ser armazenados, processados e visualizados, utilizando técnicas especiais de computação em nuvem, pois é necessário um alto poder de processamento e armazenamento. Por fim, são discutidas as análises realizadas sobre os dados e seus ganhos qualitativos para a companhia.

Palavras-Chaves: Via permanente, dados, big data, geometria

1. INTRODUÇÃO

Hoje as ferrovias se tornaram grandes geradoras de dados. Suas locomotivas possuem computadores com registradores de eventos e falhas, gravando dados a cada segundo. Vagões estão sendo equipados com sensores, em um claro exemplo de *IoT* (*Internet of things*, internet das coisas, em português). Equipamentos instalados na via permanente monitoram os vagões e obtêm dados sobre seus inúmeros componentes: rodas, rolamentos, truques, freios etc. Diversos equipamentos fazem medições sobre a via permanente buscando condições de geometria, bitola, desgaste de trilhos, defeitos internos em trilhos, contaminação e volume de lastro, entre outras. Muitos destes equipamentos até então eram instalados em veículos rodo-ferroviários, o que diminuía seu tempo de ocupação na via e facilitava sua logística. Recentemente, devido aos avanços tecnológicos, estes equipamentos estão sendo instalados em veículos comerciais, aumentando exponencialmente sua frequência de inspeção e, conseqüentemente, o volume de dados gerado.

A geração destes dados não é barata, pois são gerados por equipamentos de alto valor. Além disso, existe o custo de armazenamento e processamento destes dados, que deve ser feito em tempo hábil para a geração de planos de manutenção. Logo, quanto mais dados, maior poder de armazenamento e

processamento são necessários para transformar estes dados em informações relevantes para a tomada de decisão.

2. OS DADOS DA VIA PERMANENTE

Os dados da via permanente existem em diversos formatos: tabelas, imagens, vídeos, nuvem de pontos coletadas por LiDAR, levantamentos por drones etc. A seguir veremos os dados utilizados pela MRS.

2.1. Inspeções de geometria

Os veículos que inspecionam a via permanente são comumente chamados de carros controle. Na figura 1 vemos o carro controle da MRS Logística, o chamado TrackSTAR.



Fig. 1 – TrackSTAR

As medições são feitas por um conjunto de lasers e acelerômetros capazes de registrar os principais parâmetros geométricos da via permanente: bitola, curvatura, superelevação,

alinhamento e nivelamento. São equipados com encoder e GPS para localização. Estes registros são feitos a cada 25 cm ou 30 cm. Isso faz com que, para cada quilômetro de via inspecionada, sejam gerados aproximadamente 4000 pontos de medição, com 33 parâmetros. Na figura 2 vemos um gráfico com os principais parâmetros de geometria medidos.

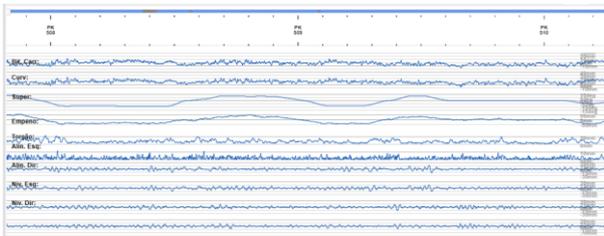


Fig. 2 – Gráfico de geometria

Cada trecho de ferrovia tem uma frequência de inspeção anual diferente, variando de acordo com sua carga transportada (MTBT, milhões de toneladas brutas transportadas) e velocidade máxima praticada [1].

Os carros controle mais modernos são autônomos e estão embarcados em locomotivas e vagões de serviço comercial, para que não haja competição por ocupação da via, além de aumentar a extensão inspecionada anualmente e reduzir custos por quilômetro inspecionado, dada a inexistência de equipe e baixos custos de manutenção. Estes dados são facilmente armazenados pois são estruturados em tabelas.

2.2. Inspeções de trilhos - desgaste

Os principais dados coletados sobre os trilhos são seus valores de desgaste. Na figura 3 vemos um gráfico com os parâmetros de desgaste de trilhos, para as duas filas de trilhos.

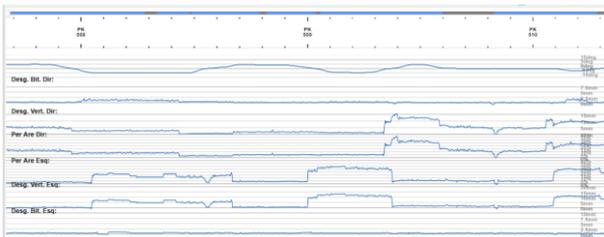


Fig. 3 – Gráfico de desgaste de trilhos

Estes valores limitam a vida útil do trilho, pois altos valores de desgaste estão diretamente relacionados com maior probabilidade de fratura e defeitos internos. Os carros controle

atuais medem o desgaste de trilho junto com as inspeções de geometria, reduzindo a necessidade de um veículo especial para tal fim.

Estes dados também são organizados em tabelas, com taxa de medição variando de 300 a 4000 pontos por quilômetro, a depender do equipamento. Também possuem encoder e GPS para localização.

2.3. Inspeções de trilhos – imagens

Para fins de esmerilhamento, onde deve-se definir a estratégia de esmerilhamento a ser adotada para cada ativo (número de passes, velocidade, padrão e profundidade de corte), existem veículos próprios que fazem este levantamento e também produzem relatórios de desgaste de trilhos. Na figura 4 vemos o veículo de inspeção de trilhos para esmerilhamento da MRS Logística, conhecido como RIV (Rail Inspection Vehicle).



Fig. 4 – Veículo de inspeção de trilhos

Além das informações de desgaste, estes veículos geram imagens de alta resolução da superfície dos trilhos, para identificação e quantificação de defeitos superficiais, informação relevante para a estratégia de esmerilhamento naquele local. Estas imagens podem ser trabalhadas através de algoritmos de visão computacional para identificar os defeitos superficiais. Na figura 5 temos um exemplo destas imagens, tomadas no mesmo ponto, para as duas filas de trilho.

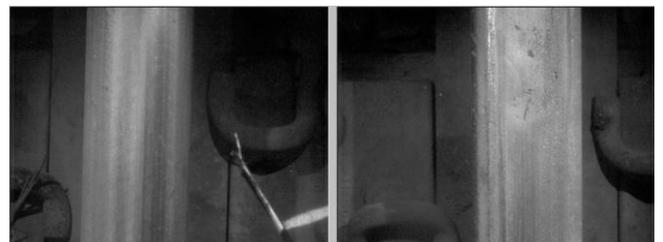


Fig. 5 – Imagens da superfície dos trilhos

Estas imagens são geradas em taxas que variam de acordo com o equipamento e a escolha do operador, ficando na faixa de 1000 a 4000 imagens por trilho por quilômetro. O

tamanho da imagem varia com a resolução escolhida.

2.4. Inspeções de trilhos - ultrassom

As inspeções de ultrassom buscam por defeitos internos nos trilhos, que não são facilmente identificados por inspeção visual. As inspeções por ultrassom ocorrem em ciclos definidos por MTBT para cada corredor ferroviário. Na figura 6 está um dos veículos de inspeção pro ultrassom da MRS Logística.



Fig. 6 – Veículo de inspeção de trilhos por ultrassom

De maneira geral, não são utilizados os dados brutos coletados da inspeção por ultrassom, pois gerariam um volume absurdo de dados, que demandariam técnicas de avançadas de *machine learning* para serem processados. Na figura 7 vemos um exemplo desses dados.

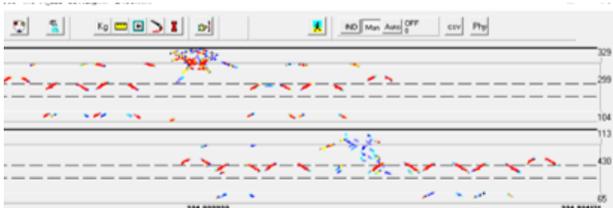


Fig. 7 – Tela da inspeção por ultrassom

Os dados utilizados são as exceções geradas nas inspeções ou os dados já processados pelo fornecedor. Estes dados contém informações, tais como: tipo de defeito, extensão, tamanho, severidade, local, lado, altura do trilho etc. Para facilitar a localização dos defeitos em campo, os veículos de ultrassom utilizam GPS de alta precisão e encoder.

Por serem registrados apenas os defeitos, geram um volume relativamente baixo de dados tabulares.

2.5. V/Ti

V/Ti é uma sigla em inglês para Vehicle Track Interaction ou Interação veículo via, em português. É um conjunto de acelerômetros instalados em uma locomotiva, que tem por objetivo medir em alta frequência (400 Hz) os balanços sentidos pela locomotiva.

Seus acelerômetros conseguem registrar impactos verticais de roda, desnivelamentos longitudinais na corda de 3m e movimentos verticais e laterais da caixa da locomotiva. São utilizados apenas as exceções encontradas pelo equipamento, não sendo utilizados os dados brutos da medição.

Este equipamento consegue registrar, por exemplo, impactos em AMVs, problemas em juntas, trilhos partidos, bolsões e outras condições que geram um movimento nos veículos, que não seriam percebidos por uma medição estática de geometria.

Como ele está instalado em uma locomotiva de operação comercial tem alta frequência de inspeção e não gera conflitos com a operação de trens.

Ele possui apenas GPS para localização dos defeitos.

2.6. GPR

GPR é uma sigla em inglês para Ground Penetration Radar, Radar de penetração no solo, em português. Na figura 8 vemos o veículo rodoferroviário com os equipamentos de GPR e LiDAR instalados para inspeção.



Fig. 8 – Rodoferroviário com GPR e LiDAR instalado

É uma ferramenta capaz de dar um diagnóstico preciso das condições do lastro e sublastro em toda a ferrovia.

As medições são realizadas através de 3 radares instalados de forma a registrar a condição na região central e lateral da via, próximo às cabeças dos dormentes.

Suas principais medidas são: GBFI, GPR Ballast Fouling Index, Índice de contaminação do lastro baseado em GPR; profundidade das camadas de lastro e sublastro; e índice de

umidade do solo. Estes dados podem ser agrupados em blocos de 5 metros ou a cada metro da ferrovia. Na figura 9 está um trecho do relatório do GPR, com suas principais medições.

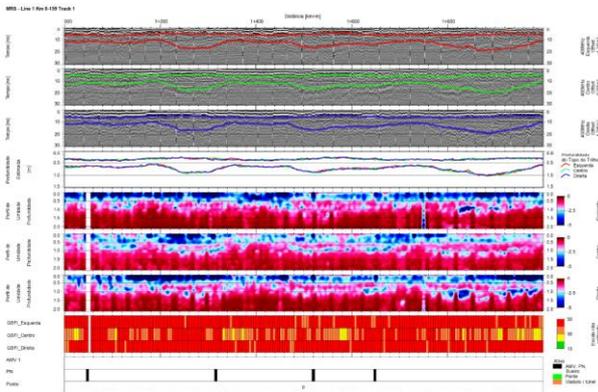


Fig. 9 – Relatório GPR

Por serem de difícil visualização os fornecedores, em geral, disponibilizam um software capaz de visualizar os dados e exportar os dados mais relevantes em formato de planilha.

As medições de GPR auxiliam, principalmente, na construção de planos de limpeza e desguarnecimento de lastro e correção geométrica.

2.7. Registros da operação de trens

Os registros da operação de trens são os *logs* gerados pelas locomotivas com informações relevantes para a avaliação da condução. Para a via permanente, os dados utilizados são: posição, velocidade, esforço trator, esforço de frenagem e tração e pressão no encanamento geral dos freios. Na figura 10 está uma amostra de um log contendo algumas informações como velocidade, sentido do trem, localização na malha e data.

Trecho	Prefixo	KM	Vel	Data	Linha	Sentido
0	2 WVO5657	108.98	11.04	2020-03-01	LINHA 2	2
1	2 WVO5657	108.99	11.22	2020-03-01	LINHA 2	2
2	2 WVO5657	109.00	11.35	2020-03-01	LINHA 2	2
3	2 WVO5657	109.01	11.48	2020-03-01	LINHA 2	2
4	2 WVO5657	109.02	11.54	2020-03-01	LINHA 2	2
...
10289	100 NEL3160	301.93	12.04	2020-03-31	LINHA 1-RR	2
10290	100 NEL3160	301.94	12.00	2020-03-31	LINHA 1-RR	2
10291	100 NEL3160	301.95	12.22	2020-03-31	LINHA 1-RR	2
10292	100 NEL3160	301.96	11.97	2020-03-31	LINHA 1-RR	2
10293	100 NEL3160	301.97	12.20	2020-03-31	LINHA 1-RR	2

61690000 rows x 7 columns

Fig. 10 – Logs de bordo

Essas informações indicam o tipo de operação praticada em cada local e a qual tipo de esforço a via permanente está submetida. São úteis, por exemplo, para o cálculo de superelevação ideal (velocidade média dos trens nas curvas), avaliação de locais críticos de flambagem e fraturas de trilho (locais com alto esforço de frenagem e trator, respectivamente).

3. ORGANIZAÇÃO DOS DADOS

Depois de gerados os dados, o próximo passo é sua organização para análise. Nessa etapa não se trata apenas de salvar os arquivos mas, sim, de armazená-los de uma forma estruturada, para que um grande volume de dados possa ser lido de forma rápida. Para isso é importante que sejam definidos os esquemas de cada tipo de arquivo: deverão conter sempre as mesmas colunas na mesma ordem e com mesmo tipo de dados. Isso é essencial para a leitura rápida de vários arquivos em uma única operação.

A estrutura de pastas também é relevante para este processo, pois quando os dados estão organizados em pastas que podem ser filtradas por nome ou por tipo de arquivo, a operação de leitura é facilitada.

3.1. Estrutura

Para que os dados possam ser comparados nos mesmos ativos, eles devem ser organizados em um estrutura hierárquica. Um exemplo de estrutura hierárquica de ativos é a seguinte:

Gerência > Coordenação > Ramal > Linha > Pátio/Entrepátio > KM.

Dessa forma não haverá dúvida a qual ativo pertence uma determinada medição, sendo elas estruturadas por marco quilométrico.

Cada nível da estrutura hierárquica deve estar presente nos arquivos, seja nas linhas de cada medição ou no nome dos mesmos.

3.2. Cadastro de ativos

Ativo, em via permanente, pode ser entendido como pontes, viadutos, túneis, AMVs, passagens em nível, pátios e entrepátios, curvas e tangentes, transições e circulares, blocos de determinado comprimento etc. Em suma, ativo é qualquer local que tenha um conjunto de características semelhantes, que

faça sentido estarem agrupados, do ponto de vista da análise de dados e da manutenção.

O cadastro desses ativos é uma das etapas vitais na análise de dados de via permanente. Consiste em uma lista mestra de todos ativos existentes, com campos que permitam seu cruzamento com as medições feitas e outras informações relevantes, tais como: rampa, localização, extensão etc.

As informações contidas no cadastro de ativos indicam como o ativo é (condição permanente) e as medições indicam como ele está (condição que pode ser alterada com o passar do tempo).

A partir do cadastro de ativos podem, por exemplo, ser extraídas informações de defeitos de V/Ti por AMV, defeitos de Ultrassom em obras de arte e superelevação média nas circulares.

4. PROCESSAMENTO DOS DADOS

Para o processamento de grandes bases de dados são necessários computadores com alto poder de processamento, em ambientes que facilitem as operações de leitura e escrita dos dados. Os computadores pessoais, apesar de terem evoluído muito em processamento, ainda não conseguem suportar o volume dos dados de via permanente, especialmente os de inspeções geométricas.

Para esse processamento e armazenamento a melhor saída são os ambientes em nuvem que oferecem, a custos relativamente baixos, poder de armazenamento e processamento compatíveis com os volumes de dados gerados.

4.1. Limpeza dos dados

Para se fazer boas análises, são precisos dados confiáveis e que reflitam a realidade. Os equipamentos de medição, em certos locais ou sob certas condições, não são capazes de representar fielmente aquilo que está sendo medido. Por exemplo, na região dos jacarés nos AMVs é difícil para os carros controle identificarem a linha de bitola, apresentando erros na medição de bitola e alinhamento. Outro erro comum é quando os veículos possuem velocidade mínima para leitura dos parâmetros que dependem do pacote inercial. Enquanto essa velocidade mínima não é atingida, são apresentadas linhas retas nos respectivos parâmetros, que não representam a situação em campo. Em outras situações são

gerados picos ou vales nas medições, criando medições discrepantes, que favorecem análises equivocadas. Na figura 11 vemos um gráfico do carro controle onde houve um erro de medição nos parâmetros originados no pacote inercial.

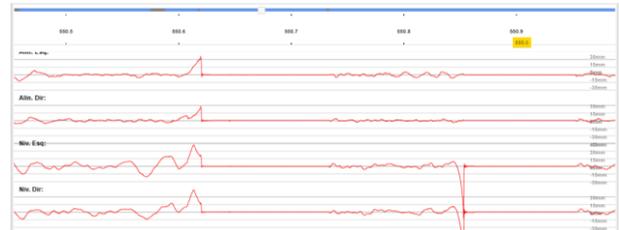


Fig. 11 – Parâmetros com erro de medição

Para contornar essas situações, durante o processo de ingestão dos dados, antes de qualquer análise, é importante fazer uma limpeza nos dados: buscar por padrões que não são medidas reais e eliminá-las ou substituí-las por um valor que faça mais sentido e não seja discrepante com os valores próximos.

Esta limpeza pode ser feita através da identificação de valores limites que, quando ultrapassados representam *outliers*, filtros de média móvel ou comparação entre parâmetros, como no caso da velocidade e os parâmetros inerciais.

4.2. Alinhamento dos dados

Para que possam ser comparados no domínio do tempo, os dados lineares precisam estar alinhados e sobrepostos de maneira correta, de modo que as medições sejam referentes ao mesmo ponto na via. Este alinhamento é feito alterando-se os valores de localização (quilômetros) da medição de teste, para que sejam o mais próximos possíveis da medição de referência.

Os algoritmos do tipo *dynamic time warping* (deformação dinâmica do tempo, em tradução livre) são os mais apropriados para esse fim, pois eles calculam uma matriz de distância entre todos os pontos das duas séries para encontrarem o caminho de deformação (*warping path*) que reduz a distância total entre elas, ou seja, que as aproxima mais [2], [3]. Quanto mais picos e vales os dados possuírem ou quanto menos trechos constantes possuírem, melhor será o seu resultado. Por exemplo, o algoritmo não apresenta bons resultados em longas tangentes ou circulares, quando utilizado sobre o canal de curvatura.

Este algoritmo deve ser sempre aplicado sobre canais de medição que não apresentem muitas variações ao longo do tempo, como por exemplo curvatura ou uma das componentes da coordenada de GPS. No caso da MRS, por ser uma ferrovia majoritariamente no eixo norte-sul, o parâmetro de longitude foi o que apresentou melhores resultados.

Depois de obtido o *warping path* que aproxima as duas séries, procede-se à substituição dos valores de quilômetro da inspeção de teste por aqueles da inspeção de referência. Na figura 12 vemos o gráfico de curvatura de duas inspeções diferentes. A linha azul representa a inspeção teste antes do alinhamento e a linha laranja a mesma inspeção depois de alinha. A linha verde representa a inspeção de referência. Vemos que o alinhamento trouxe muito bons resultados nessas duas curvas, pois a linha laranja está muito próxima da linha verde.

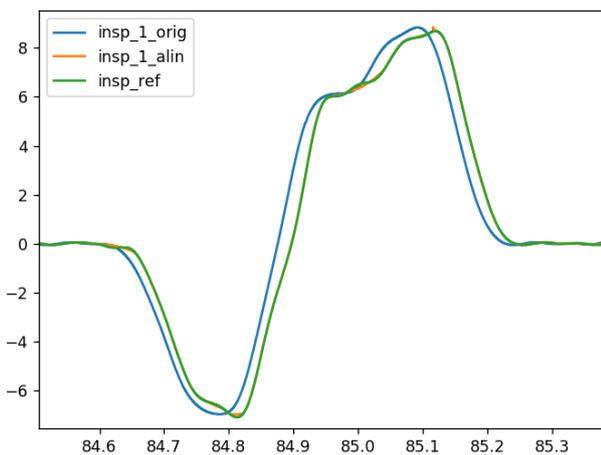


Fig. 12 – Gráfico de curvatura alinhada

Este algoritmo necessita de uma capacidade elevada de processamento e memória, devido à necessidade de cálculo da matriz de distância que tem dimensões igual ao quadrado do comprimento das inspeções. Para contornar este problema pode ser utilizada uma estratégia de janelamento para que sejam reduzidos os tamanhos das matrizes a serem calculadas, por exemplo alinhando as inspeções a cada 2 ou 3 quilômetros, desde que haja sobreposição entre as inspeções.

4.3. Análises – projeção de desgaste de trilhos

Trilhos representam uma grande parte do orçamento de manutenção de via permanente, por isso seu planejamento é sempre objeto de

otimizações. Sua substituição é feita por limite de desgaste: quando é identificado um trilho com desgaste acima do permitido, aquela barra deve ser substituída. Este processo corretivo não leva em consideração a taxa de desgaste dos trilhos. Uma otimização possível trata da projeção de desgaste de trilhos dentro do horizonte de planejamento. Com isso é possível prever a demanda correta de trilhos a cada ano e realizar a troca preditiva, otimizando os recursos.

A partir dos dados de desgaste alinhados é possível agrupá-los, por exemplo por curva e tangente, e calcular a média do desgaste em cada ativo para cada inspeção. Comparando-se várias inspeções ao longo do tempo e utilizando uma regressão linear simples, obtém-se a taxa de desgaste de trilhos naquele ativo, podendo ser projetada no futuro para encontrar a data que os limites estabelecidos serão ultrapassados. Na figura 13 vemos a projeção de desgaste de trilhos, indicando que o trilho direito precisa ser substituído e o trilho esquerdo foi substituído entre março e agosto de 2019.

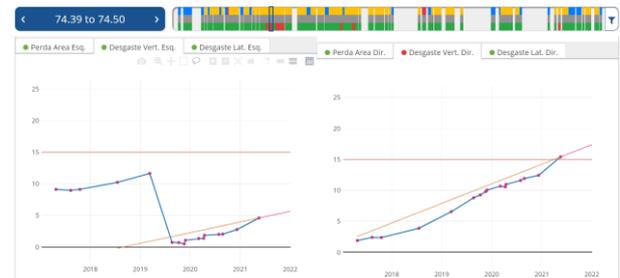


Fig. 13 – Projeção de desgaste de trilhos

Um refinamento deste modelo é utilizar a queda brusca no desgaste quando uma barra de trilho é trocada para reiniciar os parâmetros da projeção e identificar a data e o local de instalação daquele trilho, gerando um cadastro de trilhos independente de registros manuais em sistema, reduzindo erros e permitindo que dados de vida útil e defeitos sejam calculados precisamente.

4.4. Análises – Predição de geometria

Do ponto de vista da segurança operacional, identificar pontos que já ultrapassaram os limites operacionais e apresentam riscos é essencial para manter as operações seguras. Entretanto, do ponto de vista do planejamento de manutenção, ações corretivas sempre trazem alto impacto à operação, devendo ser reduzidas. Para reduzir o número de ações

corretivas é interessante projetar o crescimento dos parâmetros de geometria ao longo do tempo, para que seja possível antecipar quando o limite corretivo será atingido e, assim, planejar uma ação de manutenção antes que se torne um risco operacional.

Utilizando os dados sobrepostos de geometria é possível fazer essa projeção no tempo. Para contornar algumas pequenas diferenças que ainda possam existir na sobreposição são utilizadas janelas de 10 metros para o cálculo da projeção, utilizando o valor máximo, médio ou mediano do parâmetro dentro desse intervalo. Na figura 14 está a tela onde é feita a avaliação da projeção dos defeitos, com visualização em mapa (superior direito), os dados lineares das 3 últimas medições e a projetada (inferior esquerdo) e a projeção no tempo (inferior direito).

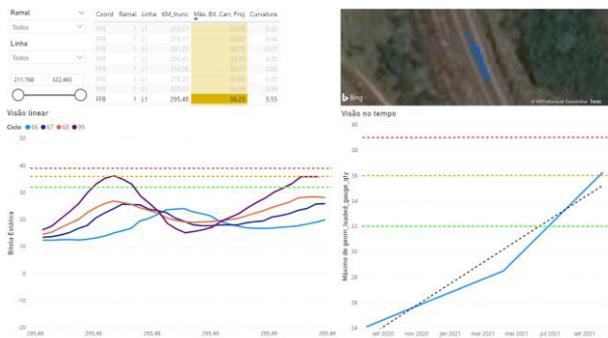


Fig. 14 – Avaliação da projeção de geometria

4.5 Análises – avaliação de superelevação

Uma das grandes dificuldades em se definir a superelevação ideal para cada curva é encontrar a velocidade que será utilizada nos cálculos. Por exemplo, utilizar a velocidade máxima do trecho em locais de subida pode gerar valores de superelevação excessivos naquele local, pois os trens dificilmente chegarão na velocidade máxima autorizada do trecho. Por outro lado, trens carregados e vazios terão velocidades diferentes.

Para solucionar estes problemas é importante conhecer a velocidade real que cada trem atravessa determinada curva para, assim, obter sua média ou mediana para o grupo de trens mais representativo daquela seção.

Analisando os dados de curvatura, é possível filtrar a região da circular da curva e calcular a média da superelevação nessa região.

Com a velocidade real média do grupo de trens mais representativo do trecho e utilizando os dados de geometria, calcula-se a

superelevação ideal e esta pode ser comparada com a superelevação média encontrada na curva.

Com estes dados também é possível verificar a aceleração lateral não compensada, realizar simulações para ajuste da velocidade dos trens e cálculo de velocidade máxima permitida baseada na superelevação atual.

5. PLATAFORMA DE GESTÃO DE DADOS

O negócio principal das ferrovias é o transporte ferroviário de cargas e passageiros, não ciência de dados. Desenvolver essa atividade dentro da companhia requer profissionais altamente especializados, como cientistas de dados, engenheiros de dados, governança de dados entre outros, que muitas vezes são raros no mercado ou que levam muito tempo para serem desenvolvidos.

Para contornar isso existem soluções criadas por empresas de ciência de dados com foco em ferrovias.

Estas soluções não necessitam de configuração de contas de armazenamento ou processamento em nuvem por parte do usuário, pois os dados são armazenados e processados no lado do fornecedor.

A primeira etapa da implantação é o fornecimento dos dados básicos da ferrovia, tais como: levantamento georreferenciado da via e dos marcos quilométricos e cadastro de ativos.

Depois de devidamente configurada, ocorre o envio dos dados de condição para a plataforma, contendo os dados atuais e históricos para a geração das análises. Na figura 15 apresentamos uma captura de tela da plataforma utilizada pela MRS, com dados históricos desde 2017.

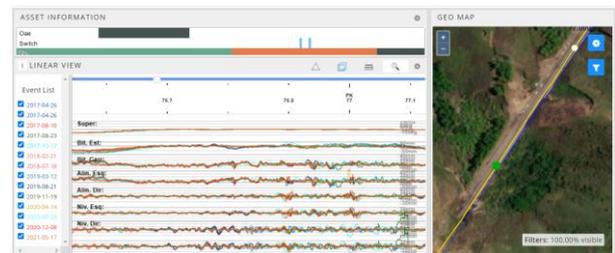


Fig. 15 – Visualização dos dados históricos de geometria

Tais plataformas realizam o alinhamento e agrupamento dos dados de forma automática e podem trabalhar com vários formatos de dados, de diferentes fornecedores de medição,

bastando, apenas, que os dados estejam em formato aberto.

Algumas das soluções possuem aplicativos para smartphones, facilitando o acesso aos dados pelas equipes de campo e permitindo a troca de informações de maneira rápida. Na figura 16 vemos uma captura de tela do aplicativo para smartphone mostrando a inspeção de geometria mais recente, com a indicação do local mais próximo do usuário, baseado nas coordenadas de GPS do celular.

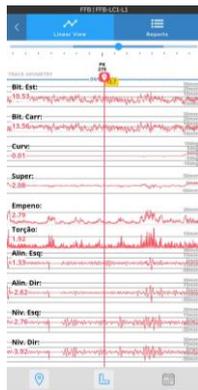


Fig. 16 – Visualização dos dados de geometria em aplicativo para smartphone

Com o uso dessas plataformas são reduzidos os tempos de análise e processamento dos dados, permitindo que mais dados sejam analisados em menos tempo e os planos de manutenção baseados em dados sejam gerados em tempo hábil, além de não ser necessário configuração e manutenção de um ambiente em nuvem.

6. OUTROS GANHOS

A utilização de dados na via permanente tem potencial de trazer inúmeros outros ganhos para companhia, como veremos a seguir.

6.1. Democratização dos dados

Ao se ter os dados disponíveis em uma plataforma ou em um ambiente que disponha de uma ferramenta para visualização dos dados, podendo ser acessado por várias áreas da companhia, acontece o processo de democratização dos dados, com várias pessoas avaliando e entendendo os dados em conjunto, reduzindo a possibilidade de erros humanos e descentralizando a análise dos dados.

6.2. Decisões baseadas em dados

As decisões de manutenção precisam ser rastreáveis para responder as seguintes perguntas:

- 1) Por que foi realizada determinada manutenção?
- 2) A manutenção foi eficiente?

Os dados de medição respondem essas perguntas. A medição antes da manutenção indica por que foi necessária aquela ação de manutenção e a comparação com a medição após indica se a manutenção foi eficiente. Assim, as medições organizadas e comparáveis permitem rastreabilidade dos materiais e processos utilizados, além de garantir a documentação do processo.

7. CONCLUSÃO

A utilização dos dados na manutenção da via permanente tem potencial enorme de ganhos quantitativos e qualitativos para as companhias. Entretanto, para se chegar a esses ganhos é importante criar, em conjunto com as diversas áreas da empresa, a jornada de dados. Este processo identificará quais dados tem maior potencial de ganho, quais são mais acessíveis e qual a melhor forma de organizá-los e processá-los. A jornada de dados demanda profissionais capacitados nas áreas de TI e pessoas que conheçam muito bem os dados e as regras de negócio, nas áreas que consumirão estes dados e suas respectivas análises.

8. REFERÊNCIAS

- [1] ABNT NBR 16387:2020 – Via Férrea – Classificação de vias
- [2] J. W. Palese, A. M. Zarembski, N. O. Attoh-Okine. *Methods for aligning near-continuous railway track inspection data*, Journal of Rail and Rapid Transit, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, 2019.
- [3] S. Takehiro, *dtwalign Release 0.1.0*, <https://dtwalign.readthedocs.io/en/latest/>, Julho 2021.