

## Desenvolvimento de trilhos ferroviários: uma nova abordagem baseada em performance operacional

Brás Oliveira<sup>1</sup> \*, Eric Pretti<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Engenharia Ferroviária – Vale SA

bras.oliveira@vale.com

eric.pretti@vale.com

**Resumo:** Trilhos ferroviários são vigas de aço, com perfil especial, pelas quais trafegam os materiais rodantes. As principais agências normativas definem padrões para a fabricação e testes laboratoriais na avaliação dos trilhos. Porém, a maioria das ferrovias opta por realizar testes operacionais com os trilhos instalados na via, monitorando a sua performance. Assim, é avaliado se o trilho terá desempenho satisfatório em função das cargas aplicadas e das condições reais da via permanente. A técnica de avaliação comumente empregada é a realização de testes isolados, verificando a performance de cada trilho separadamente. Ao final do teste, o material que satisfizer os critérios de análise, será considerado homologado, passando a integrar a lista de trilhos aptos a serem utilizados na ferrovia. Entretanto, um fator limitante ao teste isolado é a ausência de comparação entre as amostras sob uma mesma condição operacional, uma vez que trilhos diferentes acabam sendo testados em ambientes distintos, tais como: diferentes raios de curva, velocidade operacional, carga trafegada, tamanho da composição, entre outros. Por outro lado, grandes centros de pesquisa nacionais e internacionais aplicam testes e simulações em prol de comparar a performance operacional dos trilhos. Os resultados são utilizados como referência pelos fornecedores e operadores ferroviários. Mesmo assim, apesar da utilização de procedimentos experimentais normatizados, esses resultados nem sempre refletem ao comportamento em campo. Consequentemente, as informações obtidas com as suas restrições são utilizadas nos processos comerciais de aquisição dos trilhos ferroviários onde, por vezes, a decisão sobre a aquisição do ativo acaba sendo definida pelo critério de menor preço. Sendo assim, caso o fator preço possua maior peso na decisão de compra dos trilhos, não é possível garantir que o modelo adquirido traduzirá em melhor custo x benefício, dado ao seu desempenho na via. Em busca de um processo concorrencial que assegure a utilização da influência dos parâmetros operacionais na tomada de decisão para a aquisição de trilhos, a Estrada de Ferro Carajás (EFC) implantou uma metodologia de testes em campo, onde diversos trilhos foram submetidos às mesmas condições operacionais. Desta forma, é possível comparar o desempenho operacional dos trilhos. Portanto, o processo concorrencial não se baseia apenas em menor preço, mas em custo de vida útil – LCC (*Life Cycle Cost*). Este trabalho visa apresentar a metodologia desenvolvida pela EFC para o comparativo de performance operacional entre diversos trilhos, assim como as premissas que devem ser consideradas na implantação de testes de campo que visem maior vida útil para trilhos ferroviários aplicados em ambientes *heavy-haul*.

### 1 INTRODUÇÃO

O teste site de trilhos ferroviários da Estrada de Ferro Carajás (EFC), é apresentado neste documento base que estabelece as diretrizes, critérios, etapas e metodologia de trabalho que foram utilizados no RAIL LIFE CYCLE COSTING ANALYSIS – TESTE SITE (RLCCA-TS), na curva km 218 – Santa Inês

(MA), destinado ao estudo de avaliação de desempenho operacional de diferentes fabricantes e, de grades de trilhos de categoria premium (dureza aproximada de 370HB) e super premium (dureza aproximada de 400 a 430 HB). A partir das observações até aqui descritas e, considerando o entendimento básico no estado da arte sobre contato Roda-

trilho e engenharia-manutenção ferroviária, foi estabelecida a seguinte teoria para fundamentar os principais aspectos técnicos e científicos do experimento de campo denominado RAIL LIFE CYCLE COSTING ANALYSIS – TESTE SITE, Curva Km 218. Portanto, a teoria proposta consiste em sugerir que:

O melhor trilho para cada segmento de via deverá ser desenvolvido a partir do correto entendimento da função de danos por RCF e desgaste. Uma vez compreendido isso, o fabricante de trilho pode estudar quais características do material do trilho deverão ser cuidadosamente observadas para atender as particularidades da Via férrea. O melhor trilho será, portanto, aquele que atender três importantes direcionadores:

- Melhor Índice de Qualidade Inerente do material do trilho (RQI);
- Melhor desempenho em serviço, e;
- Menor custo na vida em serviço.

## 2 METODOLOGIA

O plano consiste na descrição do escopo de todos os trabalhos que serão desenvolvidos ao longo do período de duração das atividades de campo. O tempo total de duração do teste foi de 24 meses, iniciando em maio de 2018 e finalizando em maio de 2020, com entrega e apresentação da conclusão do teste site do RLCCA-TS da curva km 218.

O teste site na curva do km 218 fica localizado próximo à cidade de Santa Inês, aproximadamente a 240 km de São Luís (MA). O ambiente operacional do local do teste reúne características bem peculiares e foi escolhido tendo por premissas:

- LCC a ser instalado em linha nova;
- Dormentação de concreto;
- Raio de 1146 metros;
- Boas condições de geometria;
- Lastros com baixos indicadores de contaminação.

Em detrimento destas premissas, a curva do KM 218 foi a selecionada. Abaixo segue imagens do local onde será instalado o teste site.



Fig.1 Imagens da curva KM 218

O monitoramento de campo estabelecido consiste na realização das seguintes atividades:

**Inspeção técnica VALE no teste site:** Consiste na realização de atividades de observação visual da condição geral do ambiente operacional onde se dá a realização do experimento, a saber, a curva do km 218. Consiste ainda no levantamento de dados de campo referentes ao comportamento de todos os trilhos de todos os fabricantes e, das condições da Via. Esse levantamento será feito por meio de medições técnicas conforme segue:

- Medição da dureza superficial no boleto dos trilhos.
- Medição do perfil transversal do boleto do trilho;
- Medição da condição superficial do trilho;
- Medição da geometria da Via NO local;
- Medição da aderência do perfil de esmerilhamento ao *template*;
- Documentação fotográfica;



Fig.2 Inspeção de campo na curva LCC

**Inspeção técnica FABRICANTES & VALE no teste site:** Consiste na realização de atividades de observação visual da condição

geral do ambiente operacional onde acontecerá a realização do experimento, na curva do km 218. Consiste ainda no levantamento de dados de campo, referentes ao comportamento exclusivo dos trilhos de um único fabricante específico, e, das condições da Via. Esse levantamento será feito por meio de medições técnicas conforme segue:

- Medição da dureza superficial no boleto dos trilhos;
- Medição do perfil transversal do boleto do trilho;
- Medição da condição superficial do trilho;
- Medição da geometria da Via local;
- Documentação fotográfica.

**Análise da geometria da Via:** Consiste em submeter os dados de geometria da linha na região do experimento, a cuidadosa análise estatística dos principais parâmetros da geometria. A partir desta análise será medido o comportamento dinâmico da estrutura da linha à medida que esta é submetida a intervenções de manutenção de carregamento pela passagem dos trens. A principal fonte de pesquisa a partir da qual serão coletados os dados será o Banco de Dados do Carro Controle, BDCC.

**Análise da condição interna do trilho:** Consiste em submeter os dados das inspeções de ultrassom nos trilhos na região do experimento, a cuidadosa análise estatística. Este aspecto é muito importante para assegurar que, caso em algum trilho seja detectado algum tipo de descontinuidade interna, ou defeito, este deve ser motivo de análise laboratorial para determinação de sua origem. Além disso, é uma forma de evitar que alguma quebra de trilho venha ocorrer repentinamente no teste site. Se isso ocorrer, o fabricante será imediatamente comunicado quando se tratar de responsabilidade do fabricante. Isso não será aplicado às soldas.

Assim sendo, o critério de avaliação da performance dos trilhos foi dividido em três áreas de monitoramento. A saber:

**Área 1:** Foi concebida para ser o ponto de análise de RCF (*rolling contact fatigue*) no campo. É aqui que serão feitas as medidas de comprimento e espaçamento entre *Head Check Cracks*, bem como os exames de líquido penetrante (LP);

**Área 2:** Foi concebida para ser o ponto de análise do desgaste medido pelo Miniprof que, serão submetidas às análises de simulação computacional para verificação do contato Roda-Trilho.

**Área 3:** Foi concebida para ser o ponto de análise da dureza superficial do trilho e, prática de replica metalográfica de campo. É desta área que serão extraídas as amostras para análise laboratorial quanto a deformação plástica do material do trilho. Isso será feito independentemente das análises periódicas de replica metalográficas.

Um plano de visitas em campo foi estabelecido para os fabricantes para inspeção no teste site curva km 218 será a cada 3 (três) meses. Cada fabricante podendo coletar especificamente dados de campo do seu próprio trilho.



Fig.3 Inspeção em conjunto com fornecedor

### 3 CONSTRUÇÃO DO INDICADOR

Neste capítulo apresentaremos a construção da metodologia de valoração dos indicadores do teste site em LCC, assim como as notas obtidas por cada fornecedor. Todas as notas apresentadas neste relatório consideram um somatório das médias de todas as medições. Ao longo do teste site de trilhos, foram realizadas 8 medições de campo, logo todas as

medições geraram indicadores e todos os indicadores foram considerados dentro na nota final de cada fornecedor.

A construção do indicador avaliado para performance do teste site em trilhos na EFC considerou as principais carências da ferrovia, em prol desta construção. Desta forma, foram considerados:

**Vida útil dos trilhos (MGT):** tendo por base o indicador de milhões de toneladas brutas trafegadas (MTBT), que doravante será representado pela nomenclatura internacional MGT (*millions of gross tons*). Esse indicador terá peso de 1/3 na consolidação da nota final do teste site;

O indicador de MGT foi dividido em duas parcelas, sendo 70% referente a carga efetivamente transportada e 30% referente a carga potencial.

**Defeitos superficiais (RCF):** Categorização dos defeitos superficiais *head check* (RCF) ordenados do melhor para o pior. Onde o melhor recebe nota máxima (1,000) e os demais são decrescidos de 0,01 em 0,01 décimo. Esse indicador terá peso de 1/3 na consolidação da nota final do teste site;

**Desgaste do boleto (WEAR):** Comparação entre o desgaste do boleto do trilho, ou sua perda de material (*rail head area loss*), a saber que quanto maior a perda, pior o resultado pois implica na redução da vida útil do trilho. Esse indicador terá peso de 1/3 na consolidação da nota final do teste site;

**Indicador final:** obviamente que se os indicadores apresentados acima, cada um tem peso de 1/3 da nota. A nota final (Score final) é a somatória dos três indicadores: (MGT + RCF + WEAR) \* 1/3. A saber que 1,000 é a nota máxima e 0,000 é a nota mínima.

#### 4 CONCLUSÕES

O teste site de trilhos com foco em Life Cycle Cost (LCC) foi um projeto iniciado em maio de 2018 e está sendo concluído em junho de 2020. Durante estes dois anos de teste, a carga passada pelos trilhos foi de aproximadamente 325 MTBT (Milhões de Toneladas

Brutas Transportadas).

Um dos maiores diferenciais do teste site foi a instalação de trilhos longos soldados (TLS) mistos, algo não usual nas rotinas diárias de manutenção e nem nas rotinas de testes e homologações de trilhos na Vale – EFC. Quando se aplica a metodologia destes testes consegue-se a vantagem de se uniformizar as características técnicas, operacionais e de manutenção da ferrovia. Desta forma, variáveis operacionais são mitigadas e a performance operacional de cada ativo começa a se apresentar como sendo o diferencial do teste e este é o grande objetivo a ser conquistado.

Este documento apresenta a metodologia utilizada neste projeto, assim como a construção dos indicadores. Tomando-se por base estes resultados, podemos adicionar as seguintes conclusões e colaborações:

**VANTAGEM DOS TRILHOS SUPERPREMIUM:** Pudemos verificar que de forma geral o resultado refletiu a superioridade de trilhos superpremium (durezas maiores) que apresentaram resultados superiores aos trilhos atualmente utilizados na EFC (trilhos de padrão 350 a 370 HB).

**MENOR DESGASTE DE TRILHOS SUPERPREMIUM:** ao se avaliar especificamente p “marketing” dos fornecedores sobre a superioridade de trilhos superpremium em relação a trilhos premium pode-se verificar experimentalmente que o resultado se concretiza. Em algumas comparações pudemos observar taxas de desgastes melhor, ao se comparar trilhos externos de curvas (superpremium x premium).

**CICLO DE ESMERILHAMENTO:** Pudemos observar que, em média, os ciclos de esmerilhamento foram de 26 MTBT, próximo à estratégia de manutenção da EFC, que solicita ciclos de 20 MTBT. Porém, ainda observa-se a necessidade de se trabalhar a aderência do processo a ciclos regulares, onde realmente

cumprir ciclos de 20 MTBT com variações mínimas para mais ou menos. Ainda se observa grande variabilidade destes ciclos (alguns ciclos próximos a 15 MTBT e outros ciclos superiores a 40 MTBT). Desta forma, ainda se prevê um grande trabalho a ser feito em detrimento da regularidade destes ciclos. Porém, mesmo com estas irregularidades e tendo um ciclo médio de 26MTBT não se observou durante este período formação de RCF pesado, o que não deixa de ser uma boa notícia.

**DESGASTE E VIDA ÚTIL:** Em média, a projeção dos parâmetros da vida útil (baseando-se nos 31% de perda de massa de boleto) mostrou que a vida potencial pode chegar a valores significativos de MTBT, o que já apresentaria um grande avanço em relação ao cenário atual. Para isso é de extrema importância que as área de engenharia, confiabilidade e manutenção busquem fazer os trilhos chegarem aos limites técnicos e potencializar (maximizar) a vida destes ativos.

## 5 RECOMENDAÇÕES

O teste site de trilhos com foco em Life Obviamente que em todo experimento pode-se reconhecer lições aprendidas e sugestões que podem ser desenvolvidas para trabalhos futuros. Neste projeto, algumas oportunidades foram identificadas. A seguir, iremos apresentar algumas oportunidades de implementação para testes futuros:

**HOMOLOGAÇÃO:** Alguns dos trilhos instalados neste teste site não apresentavam documento de homologação e não fazem parte do portfólio de trilhos atualmente utilizados na EFC. Desta forma, Pareceres Técnicos (PT's) foram emitidos para homologação destes trilhos uma vez que todos eles performaram satisfatoriamente.

**EQUALIZAÇÃO DE PROPOSTAS COMERCIAIS:** Recomenda-se que a área de supri-

mentos da Vale leve em consideração os resultados deste teste site para equiparação das propostas comerciais dos fornecedores. Desta forma, ineditamente, o time de suprimentos poderá fazer uma avaliação completa do processo. Avaliando os parâmetros comerciais mas também parâmetros técnicos e de performance.

**ENSAIOS LABORATORIAIS:** A concepção inicial do projeto previa que ao fim do processo haveria coleta de amostras de trilhos para avaliações laboratoriais. Porém, ao fim deste estudo decidiu-se por não realizar os ensaios laboratoriais, devido aos fatores:

- A contratação de ensaios laboratoriais impactaria o processo, em detrimento ao cenários restritivo de pandemia;
- Devido ao cenário de pandemia a última inspeção de campo não pode contar com a participação dos fornecedores, logo recomenda-se que os trilhos continuem instalados na via pois há a possibilidade de visita futura no campo, caso os fornecedores assim desejem.

**TESTE SITE SUPER-PREMIUM:** Este primeiro teste site contou um mix de trilhos de diferentes características e durezas. Desde trilhos 370 a trilhos de 430HB, desta forma algumas práticas de manutenção tiveram de ser balizadas pelos trilhos de “pior” performance. Tal fator pode reduzir a vida útil dos trilhos superpremium. Assim sendo, para ensaios futuros, recomenda-se a utilização de trilhos de características mais similares. Como os trilhos superpremium tiveram melhor performance recomenda-se que o teste site futuro trabalhe apenas com essa família de trilhos. A maior vantagem de teste site superpremium é que poderia haver diferenciações nos ciclos de manutenção, ciclos de esmerilhamento, etc. O que certamente tenderia a maximizar a vida testes ativos e alcançar resultados ainda melhores que os alcançados no teste site atual.

## 6 AGRADECIMENTOS

Aproveitamos a oportunidade para agradecer todas as pessoas e áreas que colaboraram para a elaboração deste documento, desde sua concepção (com José de Ribamar dos Santos Filho) até sua operacionalização com a contribuição das áreas de Engenharia do Corredor Norte, Suprimentos, Planejamento VP, Manutenção de VP – regional 1, Equipe de operação de Máquinas de Via.

## 7 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Nippon Steel & Sumitomo Metal, Catalogue;
2. Microstructure and Residual Stress State in Contact Zone of Rails and Wheels, vorgelegt von, Master of Sciences M.Sc. Linhong Wang, aus Dalian, P.R. China;
3. Michaël Steenbergen, Rolling contact fatigue in relation to rail grinding;
4. Final Report on the Rail Squat Project R3-105 Project Leader: Malcolm Kerr. Authors: Dr W. Daniel.
5. Case Studies in Railway Construction. Rolling Contact Fatigue Rail Defects. SZÉCHENYI ISTVÁN UNIVERSITY, Attila NÉMETH Junior lecturer;
6. TATA Steel Rail Technical Guide, Adaptado por José Ribamar Santos;
7. Ir. R.P.B.J. Dollevoet. Design of an Anti Head Check profile based on stress relief;
8. *Charity Duran & John Tunna*. EVALUATION OF TRACK BARRIERS TO INCREASING AXLELOAD ON ESTRADA DE FERRO CARAJÁS, P-08-DRAFT, for Vale, Brazil;
9. Altimetria EFC. Adaptado por José Ribamar Santos;
10. Jorge Gama Alves, Formação das barras de trilhos contínuos de 360m para Teste Site CV km 218.
11. Eric Pretti, Teste site – LCC trilhos, adaptado por Brás Oliveira.