



ESMERILHAMENTO MECANIZADO EM REGIÃO DE HOT BOX E HOT WHEEL: UMA METODOLOGIA DE MANUTENÇÃO INOVADORA NO CENÁRIO MUNDIAL.

Antonio Vagner Lima Ribeiro¹; Arthur Lucas da Silva Navegantes²; Josiane Christee de Sousa Cavalcante³; Nilton Sousa Lopes⁴; Uesler Sousa Silva⁵

¹Vale — Brasil

²Vale — Brasil

³Vale — Brasil

⁴Vale — Brasil

⁵Vale — Brasil

RESUMO

Em sistemas ferroviários de alto desempenho, a gestão eficiente da via permanente é determinante para assegurar elevados níveis de segurança operacional, confiabilidade e competitividade logística. Nesse cenário, o esmerilhamento mecanizado de trilhos se consolida como a principal atividade de manutenção preventiva, sendo essencial para o controle de defeitos superficiais e aumento da vida útil dos ativos. Entretanto, a execução dessa atividade em regiões com sensores Hot Box e Hot Wheel sempre foi limitada por riscos operacionais relevantes, como a possibilidade de colisão entre os motores de esmerilhamento e os equipamentos instalados na via, além da sensibilidade térmica desses dispositivos frente à geração de fagulhas. Como consequência, tornava-se necessária a desmontagem completa dos sensores, com mobilização de equipes especializadas, elevado tempo de execução (cerca de 6 horas) e altos custos operacionais. Este trabalho apresenta o desenvolvimento e a implementação de uma metodologia inovadora que permite a realização do esmerilhamento mecanizado nessas regiões sem a necessidade de desmontagem dos sensores, por meio da criação de um algoritmo específico. A solução foi validada experimentalmente e implantada na Estrada de Ferro Carajás (EFC) em outubro de 2025. Os resultados evidenciam redução do tempo de intervenção para aproximadamente 25 minutos, eliminação de acionamentos de equipes de eletroeletrônica, melhoria significativa na qualidade do esmerilhamento e aumento da vida útil dos trilhos. Adicionalmente, foi observado um custo evitado superior a R\$ 6,35 milhões em um único ciclo de manutenção, com potencial de economia superior a R\$ 22,7 milhões considerando a expansão dos ativos. A metodologia proposta representa um avanço relevante no cenário ferroviário, com elevado potencial de replicação e impacto direto na eficiência operacional e segurança das ferrovias.

Palavras-chave: *Esmerilhamento mecanizado; Via permanente; Hot Box; Hot Wheel; Manutenção ferroviária; Inovação.*



1. INTRODUÇÃO

A Estrada de Ferro Carajás (EFC) configura-se como uma das principais ferrovias de carga do Brasil, com aproximadamente 892 quilômetros de extensão em sua linha principal, interligando os estados do Maranhão e Pará, conforme estabelecido no Mapa de Concessão da ANTT. Trata-se de um corredor logístico de alto desempenho, no qual a confiabilidade da via permanente é fator determinante para a continuidade operacional e eficiência do transporte.



Figura 1. Mapa de Concessão da Estrada de Ferro Carajás.

Ao longo da EFC, encontram-se atualmente 28 dispositivos de monitoramento térmico do tipo Hot Box, com previsão de implantação de mais 15 unidades até o ano de 2029, totalizando 43 aparelhos distribuídos ao longo da ferrovia. Esses sensores são fundamentais para a detecção precoce de falhas em rolamentos e rodas, contribuindo diretamente para a segurança das operações ferroviárias.

Apesar da relevância desses dispositivos, sua presença impunha uma limitação significativa à execução do esmerilhamento mecanizado, principal atividade de manutenção preventiva dos trilhos da ferrovia. A impossibilidade de realizar o esmerilhamento nessas regiões resultava na degradação progressiva dos trilhos, com aumento de defeitos associados à Rolling Contact Fatigue (RCF), maior incidência de vibrações, desconforto operacional e redução da vida útil dos ativos, podendo alcançar perdas de até 40%.

Diante desse contexto, este trabalho tem como objetivo implementar, de forma segura e padronizada, o esmerilhamento mecanizado em regiões com sensores Hot Box e Hot Wheel, eliminando intervenções manuais e acionamentos de equipes externas, reduzindo riscos operacionais, aumentando a vida útil dos trilhos e garantindo maior confiabilidade à via permanente.

2. DESENVOLVIMENTO



Figura 2. Esmerilhadora LRG15



Figura 3. Esmerilhadora RGS18

A metodologia de manutenção mecanizada em regiões com sensores Hot Box e Hot Wheel foi conduzida pela equipe da coordenação de tratamento de trilhos, tendo início dos testes operacionais em julho de 2025, durante a fase de testes operacionais. Para a execução das atividades, foram utilizados os trens esmerilhadores RGS18 e LRG15, ambos fabricados pela Loram Maintenance of Way, amplamente reconhecidos por sua eficiência e precisão em operações de esmerilhamento de trilhos.

2.1 Inspeção Técnica

A etapa inicial do desenvolvimento da metodologia consistiu na realização de inspeções técnicas detalhadas ao longo das regiões com sensores Hot Box e Hot Wheel, conduzidas de forma integrada entre a equipe de engenharia, técnicos de eletroeletrônica e inspetores da coordenação de tratamento de trilhos. Essas inspeções tiveram como objetivo avaliar as condições operacionais dos dispositivos instalados, identificar possíveis interferências com os equipamentos de esmerilhamento e mapear riscos associados à execução da atividade. Além disso, foram analisados aspectos como posicionamento dos sensores, condições geométricas da via e histórico de falhas, permitindo a construção de uma base técnica consistente para o desenvolvimento da solução proposta.



Figura 4. Inspeção técnica em aparelhos Hot box

2.2 Contexto Operacional e Problema Identificado

A execução do esmerilhamento mecanizado em regiões com sensores Hot Box e Hot Wheel apresentava restrições operacionais relevantes, principalmente devido ao risco de colisão entre os motores de esmerilhamento e os dispositivos instalados na via. Além disso, a geração de fagulhas durante o processo representava um risco adicional em função da sensibilidade térmica dos sensores.

Dessa forma, o processo tradicional exigia a desmontagem completa dos equipamentos, incluindo etapas de remoção, esmerilhamento, remontagem e calibração,

com mobilização de equipes de eletroeletrônica. Esse procedimento demandava aproximadamente 6 horas de intervenção, geralmente em período noturno, elevando significativamente os custos operacionais e a indisponibilidade da via.

As consequências dessa limitação eram expressivas, destacando-se a não realização do esmerilhamento em regiões críticas, o aumento da incidência de defeitos severos nos trilhos, a redução da vida útil dos ativos e impactos negativos em indicadores de manutenção, como AMS e AMC, além do aumento de acionamentos para recalibração dos sensores.

2.3 Análise de Desperdícios do Processo Tradicional

A condição anterior apresentava diversos desperdícios operacionais, alinhados aos conceitos de melhoria contínua e filosofia lean. Observava-se um elevado número de movimentações de empregados, com riscos ergonômicos classificados como altos durante as atividades de desmontagem e remontagem dos equipamentos.

Havia também desperdícios relacionados à espera, devido às longas janelas de intervenção e à indisponibilidade da via, impactando diretamente a operação ferroviária. O processamento excessivo era evidente nas etapas adicionais de desmontagem, esmerilhamento, montagem e calibração, que aumentavam o tempo total da atividade sem agregar valor direto ao ativo.

Além disso, eram recorrentes desperdícios associados a defeitos, como falhas nos sensores, geração de alarmes falsos e ocupações indevidas da via, comprometendo a confiabilidade operacional e exigindo intervenções corretivas adicionais.

2.4 Desenvolvimento do Protótipo Experimental

Com o objetivo de viabilizar uma solução segura e eficiente, foi desenvolvido um protótipo físico representativo do sensor Hot Box, utilizando material leve e de fácil manipulação. Esse protótipo permitiu a realização de testes controlados em ambiente seguro, sem impacto na operação ferroviária.

Os ensaios foram conduzidos em linha auxiliar, possibilitando a análise detalhada da interação entre os motores de esmerilhamento e o dispositivo simulado. Foram avaliadas diferentes configurações operacionais, com foco na identificação de limites seguros de atuação e definição de parâmetros de desvio.

Essa etapa foi fundamental para a compreensão do comportamento dinâmico dos equipamentos e para a construção de uma base técnica sólida para o desenvolvimento da solução.



Figura 5. Protótipo em isopor



2.5 Testes de Esmerilhamento e Validação Técnica

A partir do protótipo desenvolvido, foram realizados testes práticos de esmerilhamento, com o objetivo de validar as condições de operação e garantir a integridade dos sensores. Durante os ensaios, foram ajustados parâmetros como angulação dos motores, posicionamento relativo e sequenciamento das operações.

Os testes demonstraram a viabilidade técnica da execução do esmerilhamento sem interferência nos sensores, desde que respeitados determinados limites operacionais. Essa validação experimental foi essencial para a transição da solução para aplicação em campo.



Figura 6. Testes de esmerilhamento e validação técnica

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A implementação da metodologia de maneira sistêmica, iniciada em outubro de 2025, resultou em ganhos expressivos sob diversos aspectos. O tempo de execução das atividades foi reduzido de 6 horas para aproximadamente 25 minutos, representando um aumento significativo na produtividade e na disponibilidade da via. Do ponto de vista econômico, considerando um custo de R\$ 92.054,29 por hora de Trem Hora Parado (THP), o modelo tradicional resultava em um custo de R\$ 552.325,74 por intervenção. Em um ciclo com 12 sensores, o custo total atingia R\$ 6.627.908,88. Com a nova metodologia, esse valor foi reduzido para R\$ 276.162,87, gerando um custo evitado de R\$ 6.351.746,01. Considerando a expansão para 43 sensores ao longo da EFC, o custo projetado no modelo tradicional seria de R\$ 23.750.006,82, enquanto com a nova metodologia esse valor é reduzido para R\$ 989.583,51, resultando em uma economia potencial de R\$ 22.760.423,31 por ciclo preventivo.



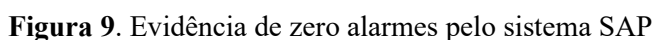
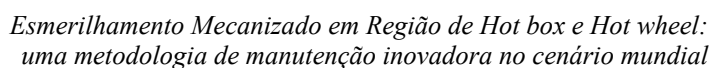
Figura 7. Antes x Depois do Esmerilhamento na região de hot box

Em termos técnicos, o Índice de Qualidade de Esmerilhamento (GQI) evoluiu de 0% para 79% nas regiões críticas, refletindo a efetividade da solução. Esse avanço contribuiu diretamente para o aumento do MTBT dos trilhos, que passou de 684 para 1450, indicando maior durabilidade e redução de intervenções corretivas.



Figura 8. Indicador de qualidade de esmerilhamento em região especial

No aspecto de segurança, houve redução do risco operacional de médio para baixo, com eliminação da exposição a riscos associados a energia térmica, vibração e partes móveis. O risco ergonômico, anteriormente classificado como alto, foi completamente eliminado com a retirada das atividades de desmontagem e montagem dos sensores. Adicionalmente, foi constatada a eliminação total de acionamentos de equipes de eletroeletrônica após a implantação da solução, conforme registros no sistema SAP. A redução de falhas e alarmes falsos também contribuiu para evitar paradas não programadas e ocupações indevidas da via.



Evolução nos indicadores AMS e APM



4. CONCLUSÃO

A metodologia desenvolvida para execução do esmerilhamento mecanizado em regiões com sensores Hot Box e Hot Wheel representa um avanço significativo na engenharia de manutenção da via permanente, especialmente em ferrovias de alto desempenho como a EFC. A solução proposta elimina limitações históricas do processo, reduz custos



operacionais, aumenta a produtividade e promove melhorias expressivas nos indicadores de qualidade e confiabilidade da via. Além disso, contribui diretamente para a segurança das operações, ao reduzir a exposição das equipes a riscos operacionais e eliminar atividades com elevado esforço ergonômico. Os resultados obtidos demonstram a robustez da metodologia e seu elevado potencial de replicação em outras ferrovias, consolidando-se como uma inovação relevante no cenário mundial. Dessa forma, o trabalho reforça a importância da integração entre conhecimento técnico, experimentação e desenvolvimento tecnológico na evolução das práticas de manutenção ferroviária.

5. AGRADECIMENTOS

Agradece-se à Vale pelo incentivo contínuo à pesquisa, à inovação e ao desenvolvimento tecnológico, promovendo um ambiente propício à geração de soluções aplicadas e ao aprimoramento dos processos operacionais no setor ferroviário.

6. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES (ANTT). ***Declaração de Rede 2013: Estrada de Ferro Carajás***. Brasília: ANTT, 2013. p. 3.

VALE S.A. **Sistema SAP** – registros de ordens de manutenção da Estrada de Ferro Carajás (EFC), 2025. Base de dados interna.

STEFFLER, Fábio, **GUIA TEÓRICO E PRÁTICO – Via Permanente Aplicada**, 2013.



MECHANIZED GRINDING IN HOT BOX AND HOT WHEEL AREAS: AN INNOVATIVE MAINTENANCE METHODOLOGY IN THE GLOBAL CONTEXT

ABSTRACT

In high-performance railway systems, efficient track management is crucial for ensuring high levels of operational safety, reliability, and logistical competitiveness. In this context, mechanized rail grinding is consolidated as the main preventive maintenance activity, being essential for controlling surface defects and increasing the lifespan of assets. However, performing this activity in regions with Hot Box and Hot Wheel sensors has always been limited by significant operational risks, such as the possibility of collision between the grinding motors and the equipment installed on the track, as well as the thermal sensitivity of these devices to spark generation. Consequently, complete disassembly of the sensors was necessary, requiring the mobilization of specialized teams, a long execution time (approximately 6 hours), and high operational costs. This work presents the development and implementation of an innovative methodology that allows mechanized grinding in these regions without the need to disassemble the sensors, through the creation of a specific automatic diversion algorithm. The solution was experimentally validated and implemented on the Carajás Railway (EFC) in August 2025. The results show a reduction in intervention time to approximately 25 minutes, elimination of the need to activate electrical and electronic teams, a significant improvement in grinding quality, and an increase in the lifespan of the rails. Additionally, cost savings exceeding R\$ 6.35 million were observed in a single maintenance cycle, with potential savings exceeding R\$ 22.7 million considering asset expansion. The proposed methodology represents a significant advancement in the railway sector, with high potential for replication and a direct impact on operational efficiency and railway safety.

Keywords: Mechanized grinding; Permanent way; Hot Box; Hot Wheel; Railway maintenance; Innovation.