



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

CATEGORIA 3

Mudança de parâmetros para reutilização de rodas ferroviárias da
Estrada de Ferro Carajás (EFC)

Milena Brenda Barros Gomes

Felipe de Castro Santos

INTRODUÇÃO

O sistema ferroviário atual está em busca de aperfeiçoamento contínuo dos processos, elevação do desempenho e melhoria de resultados. Isso inclui compreender e gerenciar os processos de negócios, visando maior transparência, fluidez, lógica, racionalidade e eficácia. Com o passar dos anos, organizações têm adotado métodos para aprimorar processos que alinhem com suas metas de excelência no setor. A eficiência energética



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

no transporte ferroviário é alta devido às mínimas perdas de energia no contato entre roda e trilho, que ocorre em uma área limitada. Neste ponto de contato, tensões elevadas resultam em vários mecanismos de degradação. Tais mecanismos causam defeitos nas rodas ferroviárias, aumentando os custos de manutenção devido à diminuição da vida útil de rodas e trilhos. O artigo tem como objetivo principal tornar a manutenção mais eficiente e confiável, propondo a alteração de parâmetros nas medidas das rodas ferroviárias para elevar o índice de reutilização e, conseqüentemente, prolongar a vida útil das rodas.

PALAVRAS-CHAVE: Ferroviário; Processos; Resultados; Rodas.

DIAGNÓSTICO

Uma consequência da globalização e da liberalização do comércio é que a competição de mercado se expandiu além das fronteiras locais e regionais, tornando-se internacional. Isso impõe às empresas uma demanda crescente por melhoria contínua



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

em seus processos, com o objetivo de atingir altos padrões de qualidade a custos reduzidos.

Com o crescimento do volume de carga no setor ferroviário, diversos estudos estão sendo realizados para aprimorar o desempenho dos componentes. A roda ferroviária, sendo um dos elementos mais custosos na manutenção das ferrovias, é frequentemente objeto de estudo na indústria.

Santos (1997) diz que a roda também serve como tambor de freio, ou seja, é utilizada para dissipar o calor gerado devido à variação da energia cinética e potencial do veículo durante a frenagem. A parte desse calor que entra na roda pode gerar diversos tipos de problemas tais como mudanças estruturais, redução da resistência mecânica, modificação do padrão inicial das tensões residuais, fadiga, entre outros.

Este trabalho apresenta um estudo de caso sobre a alteração de parâmetros na reutilização de rodas ferroviárias, visando prolongar a vida útil do ativo e diminuir custos. Através deste estudo, será possível compreender as complexidades da reutilização de rodas ferroviárias, seus impactos, estratégias para redução de despesas e os resultados alcançados entre 2023 e 2024. O principal objetivo deste estudo é demonstrar como a mudança de parâmetros nas rodas pode estender a durabilidade e reduzir custos na Estrada de Ferro Carajás.



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

MÉTODO DA PESQUISA

Com o fim de descrever o tipo de pesquisa a ser adotado, recorre-se ao critério de classificação de pesquisa proposto por Vergara (2004) em relação aos dois aspectos: quanto aos fins e quanto aos meios.

Quanto aos fins: este trabalho é caracterizado como um estudo quali-quantitativo, tendo em vista que se fez necessário o levantamento e análise de dados de rodeiros reutilizados nos anos de 2023. E qualitativo pois foram realizados brainstorming com funcionários para explorar possíveis causas potenciais que gerassem o problema.

De acordo com Mendonça, Rocha e Nunes (2008), o estudo quantitativo utiliza-se de todos os pontos de vista e referências para que sejam modificados em números estatísticos, tornando possível a utilização desses dados para fundamentar a realidade, pelo processo de quantificação. No que compreende sobre o método de abordagem, a pesquisa se classifica como qualitativa que associa o mundo real ao sujeito. Sendo assim, com esse vínculo indissociável não se pode somente traduzir os resultados em números estatísticos, fazendo-se preciso observar e analisar os fatores em seu ambiente natural.

Quanto aos meios: é uma pesquisa bibliográfica e estudo de caso. Bibliográfica, pois foi elaborada uma revisão de literatura relacionada ao tema da pesquisa por consulta a materiais como livros, artigos, dissertações, material de treinamento e na internet.

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Estudo de caso, pois foi realizada uma modelagem do uso da abordagem de reutilização de rodas ferroviárias.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O rodeiro ferroviário é composto de duas rodas acopladas por um eixo e um par de rolamentos acoplados às extremidades do eixo, conforme ilustrado na Figura 3. O rodeiro tem a função de suportar a carga vertical, devido ao peso próprio do veículo e da carga transportada. Outra propriedade importante do conjunto é permitir o direcionamento do veículo, quando trafegar por uma via com alinhamento irregular.

Tal direcionamento é obtido pela variação do raio de rolamento das rodas, que possui um perfil transversal de rolamento cônico, conforme figura 1:

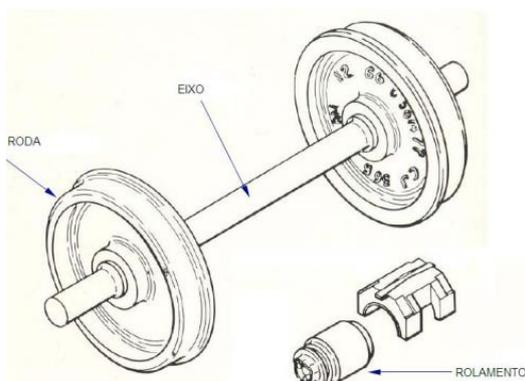


Figura 1. Desenho esquemático do Rodeiro

Fonte: Rosa (2006)

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Freitas (2015) define as rodas como os “componentes responsáveis por transmitir o movimento ao vagão, além de suportar todo o seu peso e solicitações causadas pela frenagem e irregularidades da via”. São compostas basicamente por pista de rolamento (ou passeio da roda), friso, aro, disco e cubo (FREITAS, 2015), conforme apresentado na figura 2:

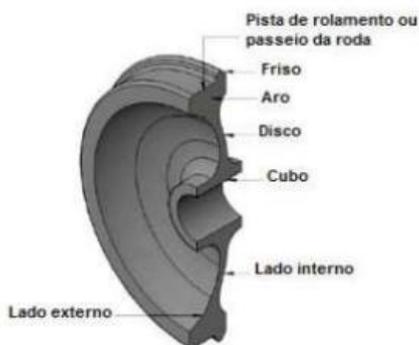


Figura 2. Desenho esquemático do Roda Ferroviária

Fonte: Adaptado de (FREITAS, 2015).

O contato entre a roda e o trilho é o responsável por um dos principais custos nas operações ferroviárias, pois trilhos e rodas, além de serem componentes de alto custo para reposição, quando desgastados além de suas tolerâncias de segurança, podem implicar em riscos operacionais para os ativos que circulam em uma malha ferroviária. Como os custos de reposição destes componentes são de alto valor em um mercado, com uma demanda cada vez maior, todo projeto que aumente a sua vida útil é de suma

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

importância para garantir uma operação ferroviária mais eficiente, com a redução dos custos e o aumento da disponibilidade do material rodante para a operação, conforme ilustra figura 3:

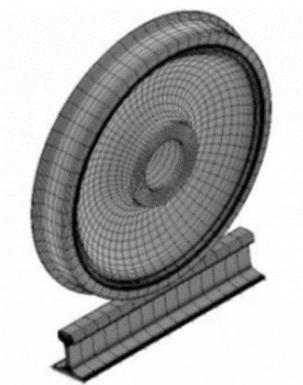


Figura 3. Desenho Contato Roda Trilho Ferroviario

Fonte: Sanchez (2014)

À medida que o rodeiro percorre a malha ferroviária, a roda apresentará defeitos no passeio da roda e precisará realizar a usinagem para retirada do defeito. A seguir serão apresentados alguns motivos que as rodas são retiradas de circulação e devem ser usinadas.

Bandagem trincada ou quebrada. Pequenas quebras devidas ao escoamento de material da pista ao longo do perímetro da roda, na quina mais externa do ponto de passeio, não é considerado defeito.

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



Figura 4. Roda Quebrada

Fonte: Manual Técnico de Vagões (2016)

Roda com calo na pista com 50 mm de comprimento ou mais.



Figura 5. Roda com Calo

Fonte: Manual Técnico de Vagões (2016)

Rodas com descascamento de pista (Shelling), devem ser retiradas de serviço quando as fadigas se apresentarem com mais de $\frac{3}{4}$ " (19mm) de comprimento e de largura e estiverem mais ou menos distribuídas ao longo da periferia da roda ou sempre que

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

alguma fadiga tenha mais que 1" (25,4mm) de comprimento e de largura, conforme figura 6:



Figura 6. Roda com Descascamento

Fonte: Manual Técnico de Vagões (2016)

Rodas que apresentem cava maior que 4 mm conforme figura 18, devem ser removidas de serviço e enviadas para usinagem de recomposição da vida. As rodas com cava formam o conhecido friso falso que trava o movimento lateral dos truques, gerando no rodeiro a ocorrência de uma roda com friso fino e a outra com friso praticamente normal.

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



Figura 7. Roda com Cava

Fonte: Manual Técnico de Vagões (2016)

Rodas com sulco marcado na pista de rolamento com profundidade maior que 1/8" (3,2mm) ou mais, deverão ser removidas de serviço e verificadas quanto à condição de recuperação por usinagem, conforme figura 8:



Figura 8. Roda com Sulco

Fonte: Manual Técnico de Vagões (2016)



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Contextualização da Empresa

A Vale, antigamente nomeada CVRD (Companhia Vale do Rio Doce) foi criada em 1942 para a exploração das minas de ferro no estado de Minas Gerais e hoje possui em sua carteira de produtos a exploração de minério de ferro, cobre, níquel, caulim e outros minerais. Possui operações em cerca de 30 países atuando nos negócios de mineração, logística, siderurgia e energia – sendo no modelo misto de contratos de autogestão, este último formado por energia renovável. No país, a Vale representa cerca de 2% do consumo, tornando-se uma das 5 maiores consumidoras nacionais. Neste negócio, possui como pilares de atuação a competitividade, a segurança do fornecimento e a sustentabilidade (VALE, 2021).

Na siderurgia, visando promovê-la no Brasil – visto ser o país na qual sua sede e as nossas maiores operações estão instaladas, a Vale integra esta atividade como parte da sua estratégia global. Já acerca do negócio mineração, a Vale é a maior produtora de minério de ferro e de níquel do mundo e atua também em outros segmentos minerais como o manganês e ferroligas, carvão e cobre (VALE, 2021).

O minério de ferro é encontrado na natureza na forma de rochas, misturado a outros elementos. Por meio de diversos processos industriais, o minério é beneficiado para, posteriormente, ser vendido para as indústrias siderúrgicas. Uma das principais



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

características do minério da Vale é o seu alto teor de ferro, sendo que as rochas localizadas em Carajás – onde estão algumas de suas minas – são formadas por até 67% de teor (o mais alto do planeta). Por este motivo, o minério de Carajás é considerado o minério de ferro de melhor qualidade do mundo (VALE, 2021).

Na logística, a empresa possui uma rede que integra as minas, as ferrovias, os portos e navios. A logística também inclui o transporte de cargas a terceiros e oferece duas linhas de trem de passageiros, na Estrada de Ferro Vitória a Minas e na Estrada de Ferro Carajás, performando assim cerca de 2 mil quilômetros de malha ferroviária no Brasil. Referente à logística portuária, a Vale conta com uma rede de portos e terminais conectados às minas por meio das ferrovias. Já sobre a logística ferroviária no Brasil destaca-se neste estudo a Estrada de Ferro Carajás, que integra o chamado Corredor Norte, possui 972 km de extensão, possui como principais cargas transportadas o minério de ferro, ferro-gusa, manganês, cobre, combustíveis e carvão e possui como principais pontos de conexão as Minas de Carajás, no Pará, ao Terminal Marítimo de Ponta da Madeira, no Maranhão (VALE, 2021).

Mudança de parâmetro para reutilização de rodas

O corredor norte da VALE reúne as operações do Pará e Maranhão, sendo responsável por cerca de 200 MTPA da produção de minério de ferro da empresa. A Estrada de Ferro



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Carajás (EFC) transporta essa produção por meio de trens formados por vagões e locomotivas das minas até o Porto de Ponta da Madeira. O vagão, que possui o maior número de ativos, contém 4 rodeiros, significando que existem 80 mil rodeiros em operação na EFC, cada um considerado um ativo crítico para a VALE.

Para apoiar o aumento de volume do sistema norte e o crescimento do parque de ativos, iniciou-se a operação do Centro de Troca e Manutenção de Rodeiros (CTMR), situado em São Luís do Maranhão.

O CTMR é uma oficina de manutenção que simboliza o empenho da VALE em adotar a indústria 4.0. Equipada com dispositivos automatizados e semiautomatizados, efetua a substituição de rodeiros em vagões utilizando o sistema PIT STOP. Este procedimento é baseado na modelagem de big data produzida pelos Waysides. Durante a manutenção, o rodeiro passa por etapas como usinagem em tornos CNC e substituição de rolamentos e rodas em células robóticas. Todos esses estágios são interligados por uma programação e expedição niveladas, e a qualidade é assegurada por técnicas como ultrassom e análise instrumental.

Os custos mais elevados de manutenção estão associados à compra de rodas novas, motivados pelo indicador de taxa de desgaste das rodas. O processo de usinagem do rodeiro envolve a medição, usinagem e inspeção dos rodeiros para o procedimento de desgaste, onde são realizadas medições na roda para confirmar a reutilização do ativo.

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Para assegurar a cobertura dos custos com rodas, estima-se 8% de sua reutilização. Ao avaliar o indicador, identificou-se um problema, uma vez que os resultados mostravam apenas 5,65%, como ilustrado na figura 9:

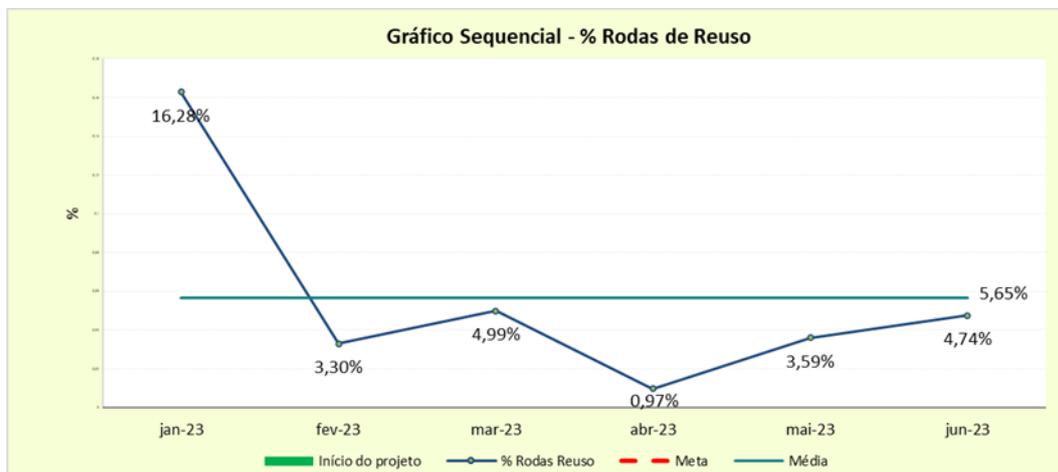


Figura 9. Indicador % Rodas de reuso

Fonte: Pesquisa

Devido à condição, mais de 20 rodas eram descartadas como sucata todo mês, embora pudessem ser reutilizadas. Durante a observação de campo, percebeu-se que os operadores eram inexperientes e careciam de conhecimento técnico para medir os parâmetros das rodas e, conseqüentemente, determinar se eram sucata ou reutilizáveis. O procedimento operacional instruía os colaboradores a reutilizar rodas com mais de 206 tapes não usinadas e a descartar aquelas com 200 tapes ou menos não usinadas.

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Em análise de desempenho das rodas ferroviárias na EFC, foi constatado que rodas que estavam sendo sucateadas <206 tapes poderiam realizar cerca de 49 viagens, como ilustrado na figura 10:

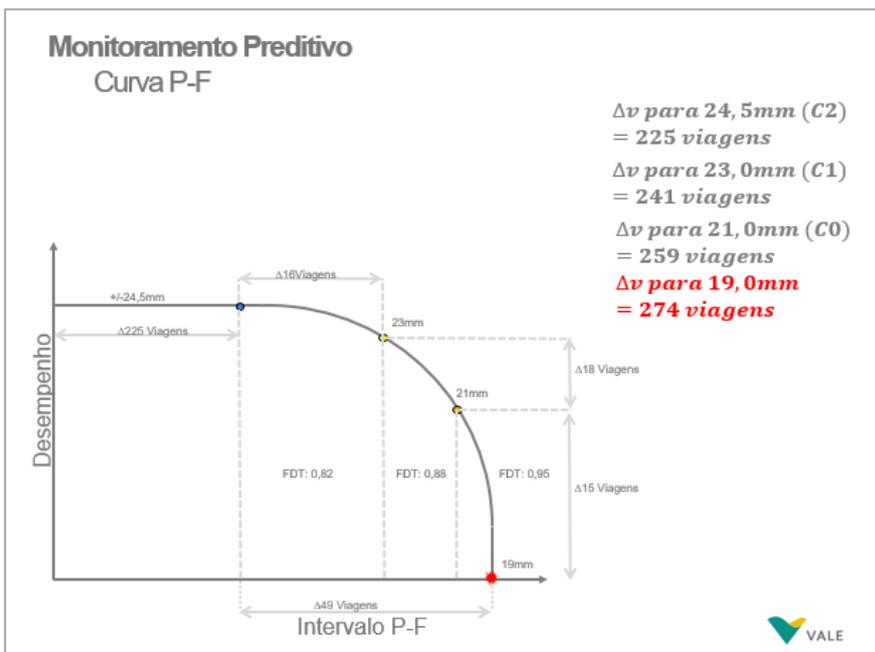


Figura 10. Indicador curva P-F

Fonte: Pesquisa

Logo após a inspeção e constatações, foi levantado 8 rodas com tape menor ou igual a 200 não usinadas, estas foram eixadas, marcadas e encaminhadas para o processo de usinagem para o reperfilamento do passeio da roda. Em seguida, foi realizada a medição

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

para verificar se os parâmetros da roda estavam de acordo com o processo de circulação na Estrada de Ferro Carajás, conforme ilustra a figura 11 abaixo:



Figura 11. Rodas de amostra reutilizadas com tape ≤ 200

Fonte: Pesquisa

Em seguida as medições, foi constatado o reaproveitamento do ativo de acordo com os parâmetros de circulação. A validação da engenharia e confiabilidade foi solicitada para estabelecer um novo parâmetro na Estrada de Ferro Carajás e efetuar a alteração no procedimento operacional.

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Após modificações no procedimento operacional para reaproveitamento de rodas usinadas ou não com tape maior ou igual a 200, houve um aumento do reaproveitamento de rodas saindo de 5,65% para 10,17%, o equivalente ao aumento de cerca de 20 rodas, conforme ilustra a figura 12 abaixo:

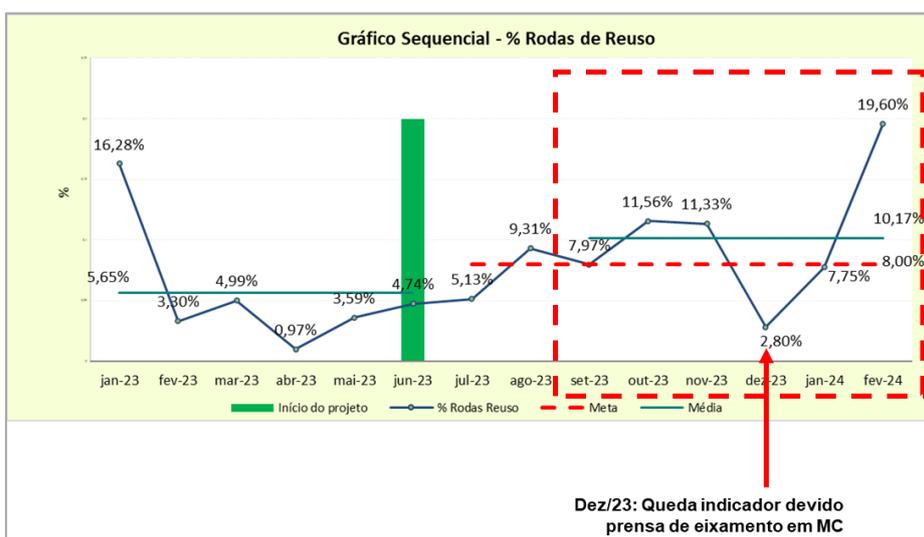


Figura 12. Indicador % Rodas de Reuso

Fonte: Pesquisa

Com estes resultados, observou-se ganhos no período em questão, que incluem a redução de 20 toneladas mensais de sucata metálica, uma diminuição nos custos com a aquisição de rodas novas em cerca de 120 mil reais por mês e um aumento na vida útil das rodas em 89 mil quilômetros. Além disso, foi alcançado um aumento na vida útil das rodas da EFC, de 1.690.000 quilômetros para 1.750.000 quilômetros, como

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

demonstrado na figura 13 abaixo:

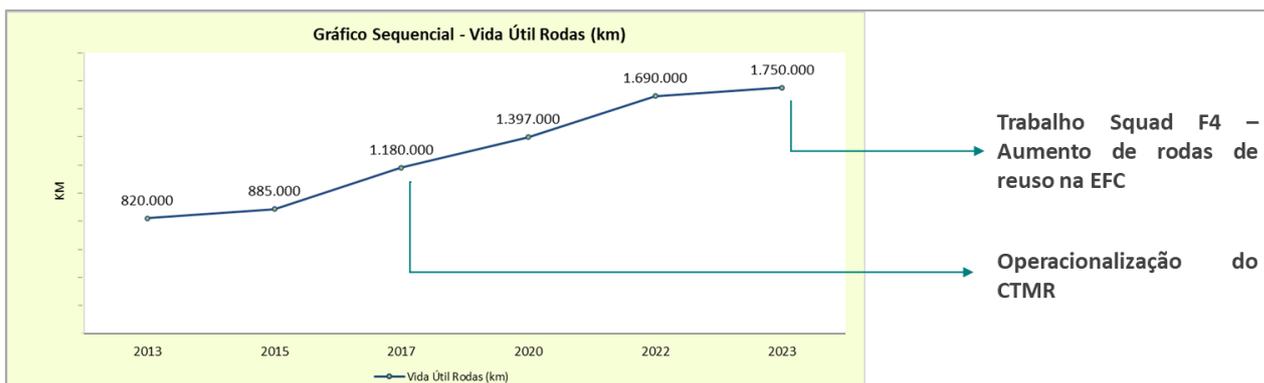


Figura 13. Vida útil de rodas EFC (km)

Fonte: Pesquisa

CONCLUSÕES

O estudo apresentado forneceu uma visão abrangente sobre rodas ferroviárias, bem como o processo de manutenção e parâmetros para sua reutilização. Os parâmetros ajustados proporcionaram resultados sustentáveis ao longo do tempo, evidenciando a efetividade da metodologia proposta na consecução dos objetivos. Foi possível verificar que, por meio desta abordagem e com o entendimento das pessoas envolvidas sobre o propósito da ferramenta, é viável obter melhorias significativas em termos de segurança operacional, qualidade, produtividade e redução de custos, ressaltando a importância deste princípio na solução de problemas na Estrada de Ferro Carajás (EFC).



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Por fim, recomenda-se a execução de futuras pesquisas em sequência à atual, enfatizando: a análise dos parâmetros de defeitos em rodas para o reperfilamento de rodeiros durante o processo de manutenção, definindo os limites mínimo e máximo dos defeitos que permitem o reperfilamento da roda.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

SANTOS, A. A.; RODRIGUES FILHO, F. Determinação do Coeficiente Global de Transferência de Calor em Rodas Ferroviárias. In: XIV Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica – COBEM/97. Bauru – SP. 1997.

VERGARA, Sylvia C. Projetos e relatórios de pesquisa em administração. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2004.

MENDONÇA, A.F; ROCHA, C. R. R; NUNES, H. P. Trabalhos Acadêmicos: planejamento, execução e avaliação. Goiânia: Faculdades Alves Farias, 2008

FREITAS, Isaias Moreira, Análise de Propriedades e Metalografia de Rodas Ferroviárias Microligadas. 109p. Dissertação – Engenharia Metalúrgica, IFES – Instituto Federal do Espírito Santo. Vitória, 2015.

Manual Técnico de Vagões. 237p. 2017