

CATEGORIA 3

REDUÇÃO DE DESCARRILAMENTOS ATRAVÉS DA GESTÃO DE ATRITO

INTRODUÇÃO

O estudo de gerenciamento do atrito é continuamente alvo de diversos trabalhos técnicos voltados principalmente para fins econômicos e de segurança. Os resultados relacionados a componentes financeiros são conhecidos e podem ser medidos com indicadores comuns às ferrovias mundiais. Entretanto, quando buscamos resultados efetivos do gerenciamento de atrito no aumento da segurança da operação ferroviária, não são conhecidas bases de comparação.

No Brasil a situação não se difere das demais ferrovias mundiais, contudo, a identificação de potenciais melhorias de segurança relacionadas ao gerenciamento de atrito se tornam mais evidentes devido a estatística de descarrilamentos em ferrovias com deficiências de manutenção. Esta situação foi identificada pela RUMO Logística, maior operadora ferroviária

de carga do Brasil, avaliando o histórico de descarrilamentos em um dado trecho antes e após a implementação de gerenciamento do atrito. Trabalhando os dados de estatísticas de descarrilamentos, volumes transportados, causas de acidentes ferroviários, defeitos de geometria de via permanente, falhas de material rodante, dentre outras; foi conhecida a taxa de redução de descarrilamentos gerada pelo correto gerenciamento do atrito.

Com este trabalho, o leitor poderá identificar que o gerenciamento de atrito é uma alternativa rápida e eficaz para a redução de descarrilamentos em curto prazo, permitindo um maior prazo para execução de atividades de manutenção com menor impacto no transporte.

CENÁRIO DE ANÁLISE

A Rumo Logística possui uma malha de aproximadamente 14.000 km, estendendo-se do sul ao centro do Brasil. Seu principal transporte consiste no transporte de commodities agrícolas para exportação, utilizando para isto uma complexa malha ferroviária em bitolas métrica e larga.

O trecho em estudo fica localizado na região sul brasileira, em bitola métrica, com um volume anual de 25 MGT, composições típicas com 2 locomotivas ES43 BBi e 80 vagões *hopper* de 100 toneladas brutas de capacidade (25 toneladas por eixo). A análise foi desenvolvida em 333 quilômetros (km 248+920 ao km 582+800) no período de janeiro de 2015 a junho de 2019 (54 meses). A distribuição dos equipamentos de lubrificação *gauge face* é apresentada no diagrama 1.

26ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 7º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

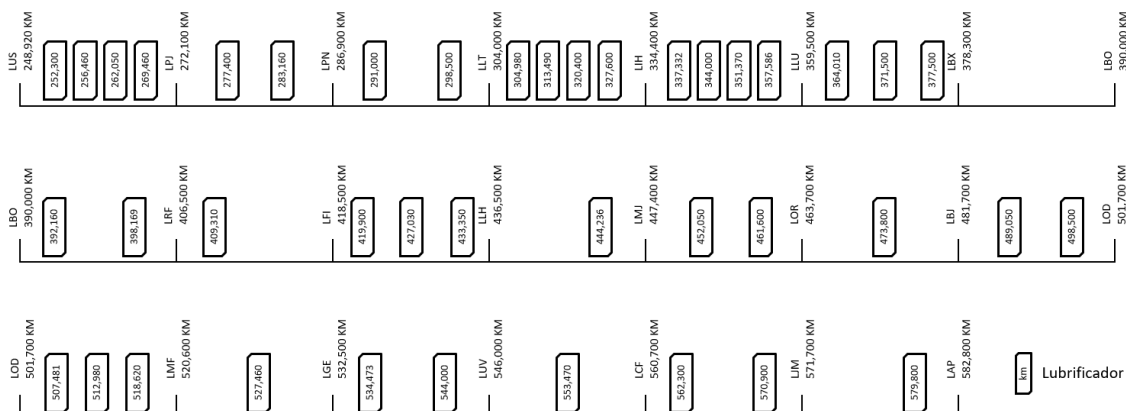


Diagrama 1 – Distribuição de lubrificadores de trilhos na seção estudada

O período de análises foi dividido em duas etapas:

- 1º Período: janeiro de 2015 a outubro de 2016 – sem gerenciamento de atrito
- 2º Período: outubro de 2016 a junho de 2019 – com gerenciamento do atrito

A determinação dos períodos de análises é fundamental para separação de resultados da eficiência do gerenciamento do atrito quanto aos resultados de redução de descarrilamentos.

ESTATÍSTICAS DE ACIDENTES

O estudo da eficiência do gerenciamento do atrito em termos de segurança surgiu a partir do acompanhamento de ocorrências de descarrilamentos no trecho analisado conforme o gráfico

1:

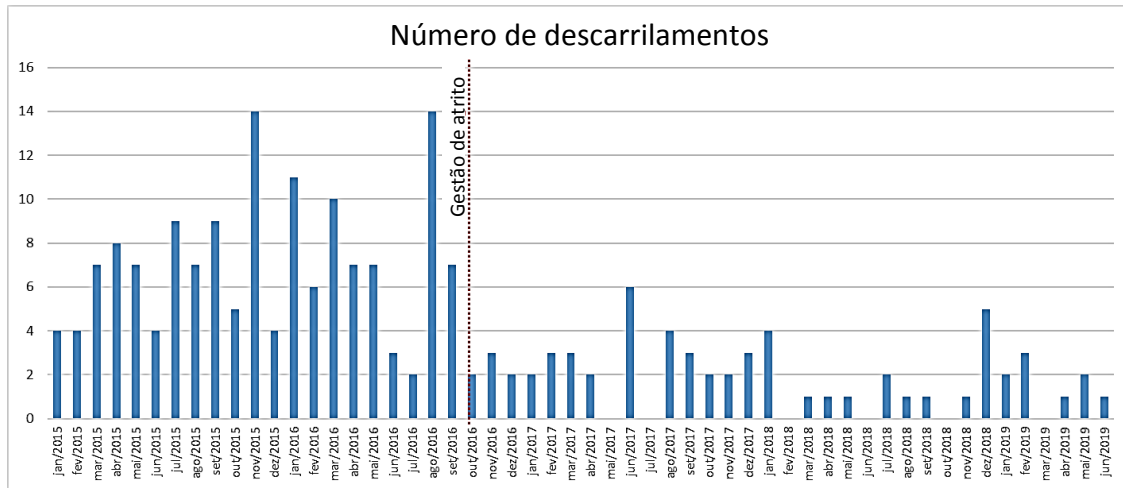


Gráfico 1 – Número de descarrilamentos na seção analisada

Como pode ser observado, a linha tracejada em outubro de 2016 indica o início de operação de equipamentos relacionados ao gerenciamento do atrito, neste caso, especificamente lubrificadores de *gauge face*. Nota-se que, a partir desta data, o número geral de descarrilamentos reduziu de forma expressiva (64% quando comparados 22 meses anteriores a instalação dos equipamentos com o mesmo período após a instalação). Contudo, para afirmar que os resultados foram obtidos pelo gerenciamento do atrito, é necessária uma análise que verifique o volume transportado, as condições de via permanente e as condições do material rodante. A mudança significativa de qualquer uma destas variáveis pode alterar a

probabilidade de acidentes ferroviários e não garantir que a redução seja oriunda do gerenciamento do atrito.

Uma vez que o gerenciamento de atrito atua diretamente no L/V crítico para descarrilamento definido por Nadal conforme equação 1, fica necessária a avaliação da distribuição dos acidentes por causa raiz. Esta avaliação é apresentada no gráfico 2.

Equação 1 - Equação de Nadal

$$\left(\frac{L}{V}\right)_{PARA\ DESCARRILAMENTO} > \frac{\tan(\delta) - \mu}{1 + \mu \times \tan(\delta)}$$

Onde: L – força lateral

V – força vertical

δ – ângulo do plano de contato

μ - coeficiente de atrito entre as partes em contato

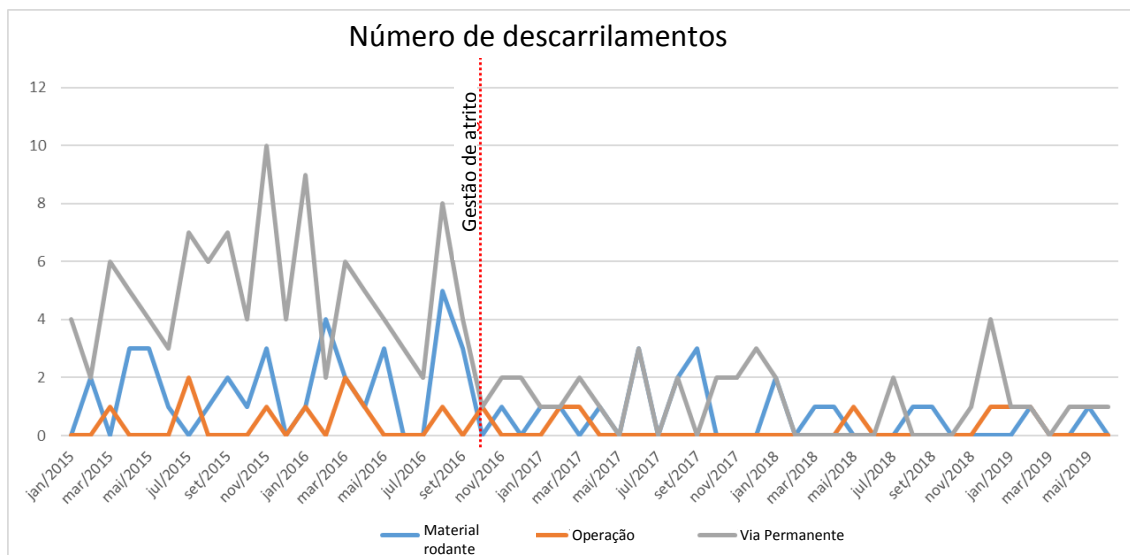


Gráfico 2 - Número de descarrilamentos por causa raiz

A análise do gráfico 2 demonstra que um fator comum a todas as causas de acidentes foi alterado a partir da instalação dos equipamentos de lubrificação *gauge face*. Conforme demonstrado por Nadal na equação 1, a alteração do coeficiente de atrito no contato roda trilho é determinante para a ocorrência de acidentes ferroviários, o que já demonstra um ganho de segurança contra acidentes.

Entretanto, conforme descrito anteriormente, a mudança de alguma variável correlacionada as condições dos acidentes também podem contribuir para a redução e por isso precisam ser verificadas.

VOLUME DE TRANSPORTE

A primeira variável de influência tanto para a manutenção de via permanente como do material rodante é o volume transportado. Além de determinar a velocidade de degradação dos componentes, o volume de transporte afeta diretamente a probabilidade de descarrilamentos. Logo, a redução do número de descarrilamentos indicados no gráfico 1 pode ter sua origem em uma drástica redução do volume de transporte no trecho em estudo.

O gráfico 3 apresenta o volume de transporte no período de avaliação, onde é verificado que esta variável não sofreu alteração significativa. Pelo contrário, houve aumento do volume de transporte da ordem de 8% quando comparados 22 meses antes do início de gerenciamento de atrito e 22 meses após o gerenciamento do atrito; indicando uma maior velocidade de degradação dos componentes de via permanente e material rodante, assim como uma maior probabilidade de descarrilamentos.

Logo, o volume de transporte não contribuiu para a redução de acidentes no trecho e período analisado.

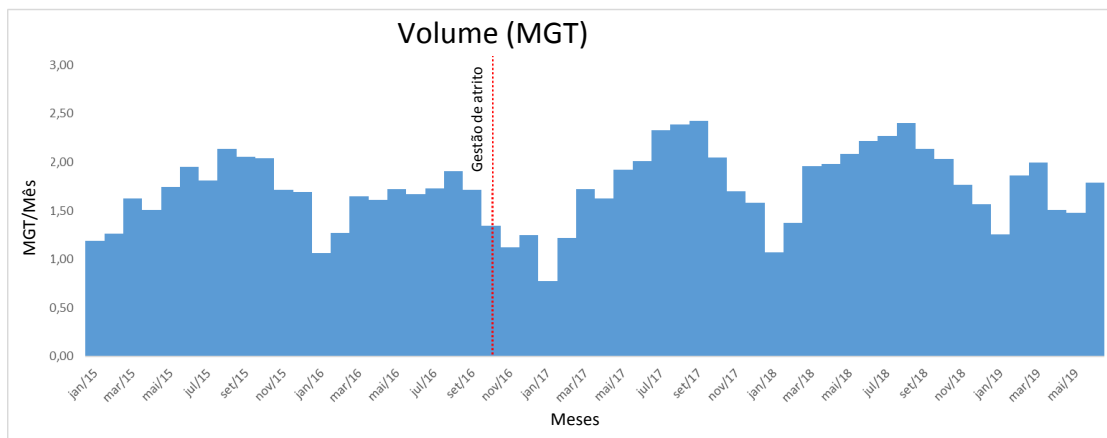


Gráfico 3 – Volume transportado no período de análise

CONDIÇÕES DO MATERIAL RODANTE

Uma vez que as condições de manutenção rodante podem ter modificado durante o período de estudo, foram avaliados os históricos de falhas de vagões no período de análise dos descarrilamentos. Vale ressaltar que no período analisado não foram adquiridos novos vagões ou locomotivas que de certa forma iriam alterar o comportamento das estatísticas de manutenção, impactando o resultado do estudo.

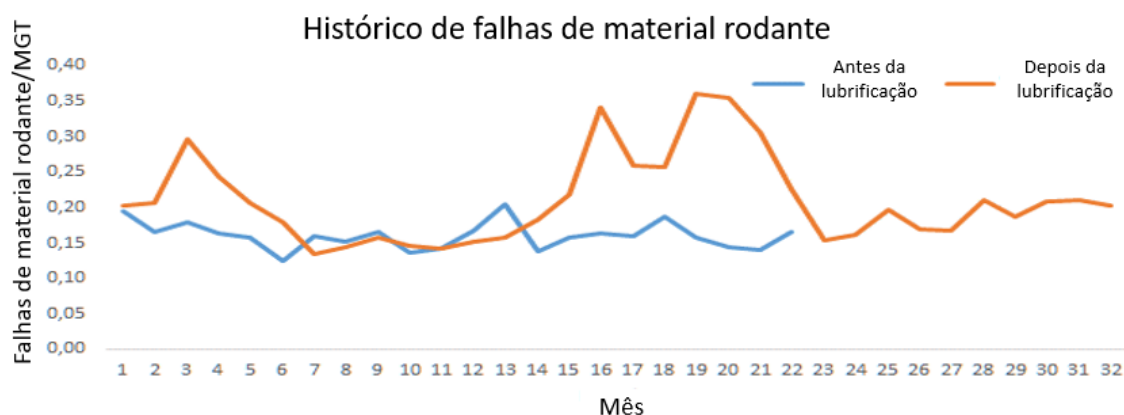


Gráfico 4 – Histórico de falhas de matéria rodante

O gráfico 4 apresenta uma condição do material rodante que não contribui para a redução de descarrilamentos apresentada nos gráficos 1 e 2. Ao contrário, após a instalação dos equipamentos de gerenciamento do atrito, as condições de manutenção da frota apresentam resultados piores. A taxa de falhas calculada em falhas do material rodante por MGT aumentou após a instalação dos equipamentos. Logo, a redução de descarrilamentos, incluindo os relacionados ao material rodante, não foram originados pela manutenção.

CONDIÇÕES DA VIA PERMANENTE

As condições de via permanente diferem do material rodante, uma vez que sofreram alterações. As alterações de destaque estão correlacionadas à geometria, uma vez que o trecho não sofreu intervenções em trilhos e dormentes além do usual.

Foi verificado que no ano de 2015, ou seja, 10 meses antes da implementação do gerenciamento do atrito, a manutenção de via permanente foi intensificada, reduzindo de forma significativa o número de defeitos de geometria por MGT. Esta condição pode ser verificada no gráfico 5, através da linha azul.

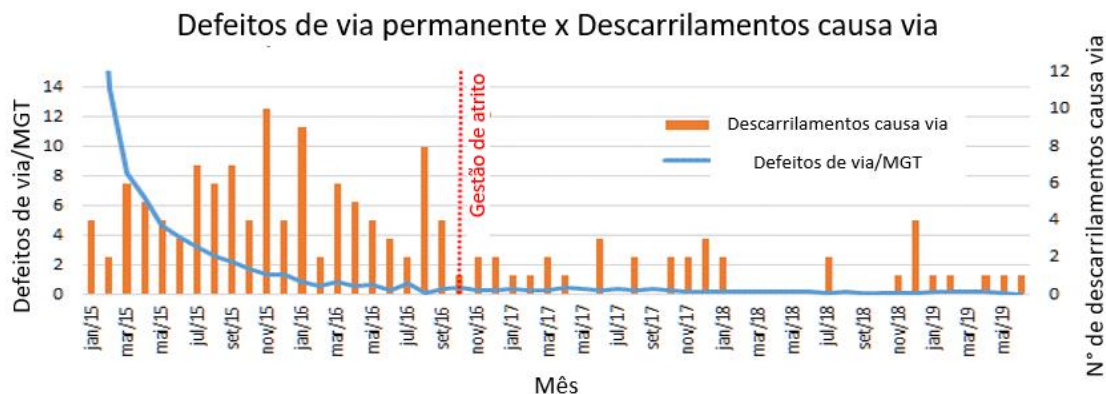


Gráfico 5 – Comparativo entre defeitos de via permanente e descarrilamentos causa via

Entretanto, no ano seguinte (2016) é verificado que os descarrilamentos causados por defeitos de geometria na via permanente ainda são elevados. Fazendo uma rápida comparação, nos primeiros 10 meses de 2015, durante a intervenção de manutenção da via permanente, ocorreram 48 acidentes causados por defeitos de geometria de via permanente. Em 2016, já com a redução dos defeitos de geometria de via permanente, de janeiro até a instalação dos equipamentos de gerenciamento do atrito (outubro de 2016) foram registrados 44 descarrilamentos com causa raiz relacionada a via permanente. Ou seja, nos 10 meses de comparação entre 2015 e 2016 houve uma redução de 8% em descarrilamentos.

Contudo, quando é analisado o período pós instalação dos equipamentos de gerenciamento do atrito, temos uma redução significativa. De janeiro a outubro de 2017, os descarrilamentos relacionados a defeitos de geometria de via permanente somaram 12 eventos. Uma redução de 72% quando comparado ao mesmo período de 2016. No período de janeiro a outubro de 2018, a redução persiste com a mesma condição de via permanente e com um volume maior

de transporte: foram 4 descarrilamentos relacionados a defeitos de geometria de via permanente, uma redução de 90% quando comparado ao mesmo período de 2016.

Observa-se que as reduções significativas de descarrilamentos ocorreram após a instalação dos equipamentos de gerenciamento de atrito. Mesmo com as melhorias realizadas na via permanente, cerca de 10 meses antes da instalação dos equipamentos as reduções de descarrilamentos não eram significativas, muito provavelmente gerados por descarrilamentos em locais críticos. Esta análise comprova novamente que o aumento de segurança gerado pelo gerenciamento do atrito apresenta resultados mais imediatos e mais expressivos em relação as medidas de manutenção adotadas para este trecho ferroviário.

TAXAS DE REDUÇÃO DE DESCARRILAMENTOS

Uma vez analisadas as variáveis de interferência na redução de acidentes ferroviários, ficou identificado que as mesmas não sofreram alterações significativas a ponto de promoverem reduções expressivas do número de descarrilamentos ferroviários. Em síntese, o volume de transporte aumentou cerca de 8%, a condição de manutenção do material rodante teve uma maior degradação e a via permanente permaneceu com níveis de defeitos similares durante o período de análise (considerando 10 meses antes da instalação de equipamentos de gerenciamento do atrito). Logo, conforme exposto anteriormente, apenas a mudança de uma variável comum ao contato roda-trilho pode ter promovido a redução de descarrilamentos.

A equação de Nadal citada anteriormente faz a correlação entre as forças atuantes que ocasionam o descarrilamento e o coeficiente de fricção no contato roda-trilho. Em específico,

o trecho em estudo sofreu uma mudança no coeficiente de atrito indicado pela equação de Nadal com a instalação dos equipamentos de lubrificação *gauge face*. Tais equipamentos atuam no coeficiente de atrito com a aplicação de um filme de graxa lubrificante na face de bitola dos trilhos; com a redução do coeficiente de atrito, a relação L/V limite para o descarrilamento fica maior, ou seja, será necessário um maior desequilíbrio de forças para que o acidente ocorra. O gráfico 6 apresenta simulações teóricas da relação L/V com diferentes coeficientes de atrito no contato roda-trilho.

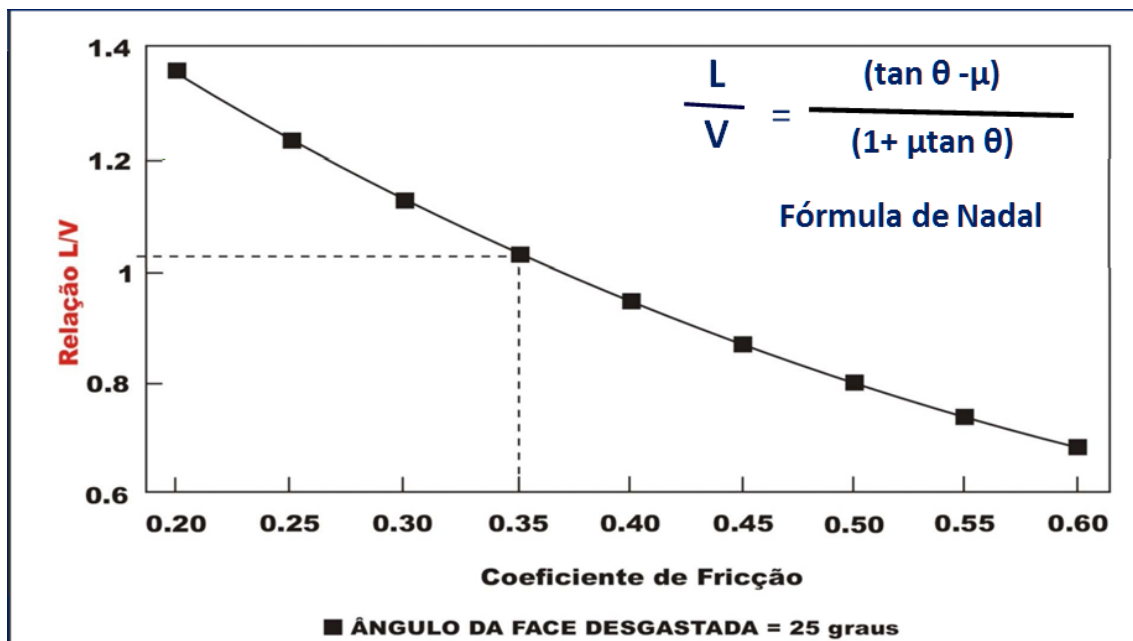


Gráfico 6 - Simulações teóricas da relação L/V com diferentes coeficientes de atrito no contato roda-trilho

Logo a instalação de equipamentos de gerenciamento do atrito, em específico lubrificadores *gauge face*, promoveram a alteração do coeficiente de atrito e uma alteração no balanceamento da relação L/V, exigindo magnitudes de forças maiores para que os

descarrilamentos ocorram. Tal condição comprova que, mesmo sem a mudança significativa das demais variáveis (via permanente, material rodante e volume de transporte), houve um aumento da segurança de circulação gerada pelo gerenciamento de atrito.

Traduzindo este aumento de segurança em números, foram traçadas curvas de descarrilamentos por MGT antes e após a instalação dos equipamentos de gerenciamento de atrito.

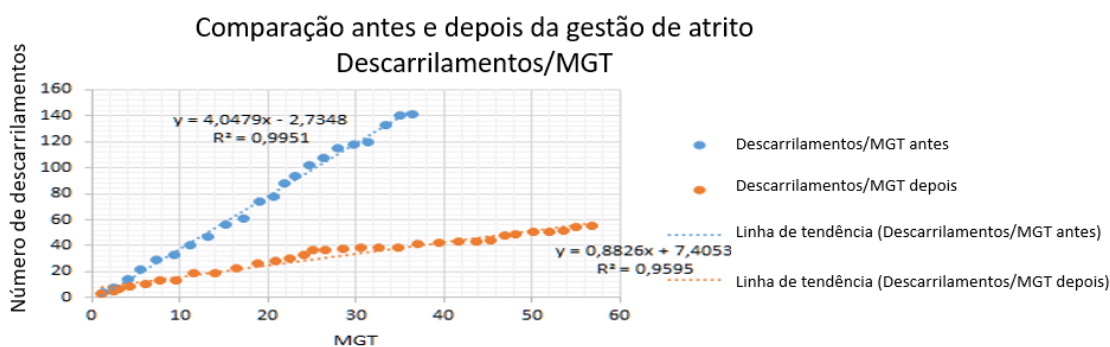


Gráfico 7 – Comparativo do número de descarrilamentos/MGT antes e depois da implantação da gestão de atrito

Visualmente, é verificado que para um mesmo volume de transporte, o número de descarrilamentos é menor após a implementação do gerenciamento de atrito. Utilizando linhas de tendência lineares, é possível comparar as taxas de inclinação, o que representam as taxas de descarrilamento por MGT. Ou seja, para o trecho sem o gerenciamento de atrito, temos uma taxa de 4,0479 descarrilamentos a cada MGT; para o mesmo trecho com o gerenciamento do atrito, temos uma taxa de 0,8826 descarrilamentos a cada MGT. Com isto

chegamos a uma redução de 78,2% da taxa de descarrilamentos por MGT quando comparado os períodos com e sem gerenciamento do atrito.

Contudo, pode ser verificado que a redução da taxa de descarrilamentos por MGT não se mantém constante para as diferentes causas.

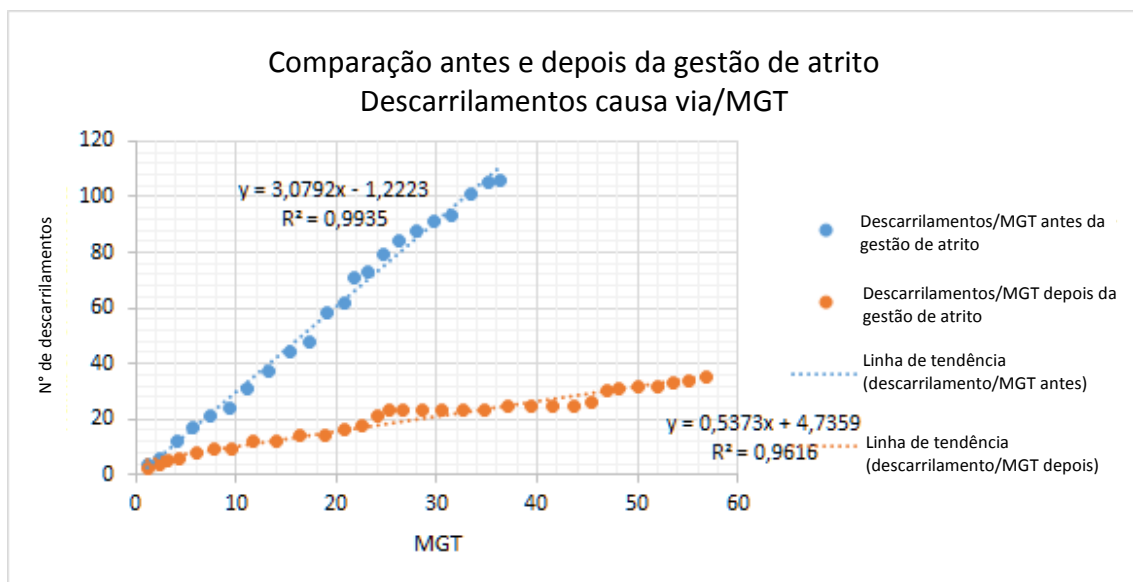


Gráfico 8 - Comparativo do número de descarrilamentos causa via/MGT antes e depois da implantação da gestão de atrito

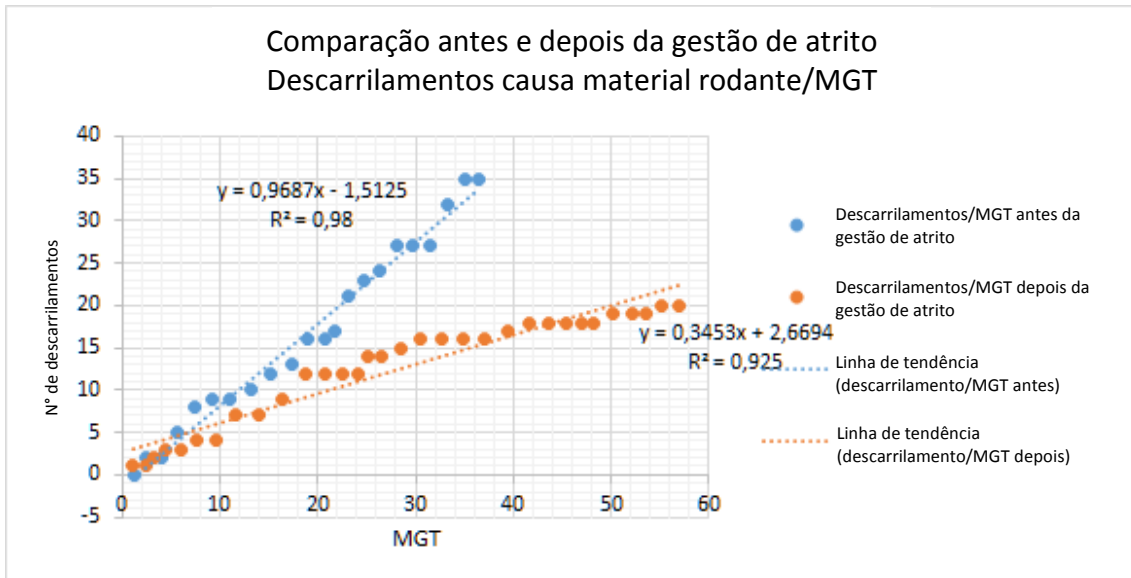


Gráfico 9 – Comparativo do número de descarrilamentos causa via/MGT antes e depois da implantação da gestão de atrito

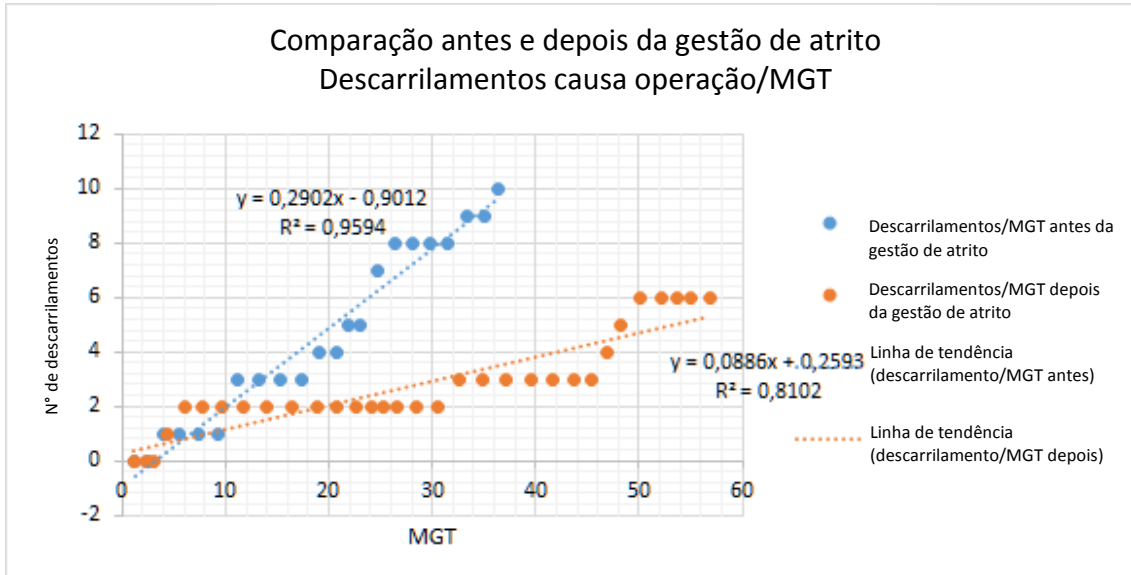


Gráfico 10 – Comparativo do número de descarrilamentos causa operação/MGT antes e depois da implantação da gestão de atrito

Observa-se neste caso que o gerenciamento de atrito atuou de forma mais eficiente na prevenção de descarrilamentos causados pela via permanente. Enquanto para esta categoria

26ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 7º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



a taxa de descarrilamentos atingiu uma redução de 82,5% (redução de taxa de 3,0792 para 0,5373), os descarrilamentos com causa raiz relacionadas ao material rodante reduziram 64,3% (redução de taxa de 0,9687 para 0,3453) e os relacionados a falhas operacionais reduziram 69,4% (redução de taxa de 0,2902 para 0,0886). De qualquer forma, ambas as reduções são expressivas, demonstrando a atuação do gerenciamento do atrito na equação de Nadal e conseqüentemente no aumento da segurança ferroviária com reduções em taxas de descarrilamento superiores a 60%, independente de causa raiz.

CONCLUSÕES

O trabalho comprova através de dados reais o aumento da segurança na circulação de trens com a implementação do gerenciamento do atrito. Uma vez analisadas as variáveis que tem relação direta com descarrilamentos ferroviários, o coeficiente de atrito é a chave para a prevenção frente as demais variáveis relacionadas ao veículo e à via permanente. Medidas de manutenção são efetivas, mas demandam tempo e recursos financeiros para implementação, fato que todas as ferrovias são impactadas.

Com a implementação imediata do gerenciamento do atrito, foi promovida uma redução de 78,2% dos acidentes ferroviários nos 22 meses após a instalação. A velocidade do retorno em termos de segurança chama a atenção, pois dificilmente outras iniciativas de segurança têm resultado tão expressivo, salvo as relacionadas às velocidades operacionais, mas que por sua vez reduzem o volume de transporte.

Desta forma, conclui-se que o gerenciamento do atrito é uma alternativa rápida e eficiente para a redução de descarrilamento ferroviários independente da causa, uma vez que atua simultaneamente no controle das forças da relação L/V através do coeficiente de atrito comprovando mais uma vez a teoria de Nadal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] *Handbook of Railway Vehicle Dynamics* – Simon Iwnicki – CRC Press 2006 – ISBN-13: 978-0-8493-3321-7
- [2] *Proceedings – 8th International Heavy Haul Conference / Technical Session 03 – Lubrication Workshop* – Rio de Janeiro, Brazil 2005 – ISBN: 0 646 33463 8
- [3] *Guidelines to Best Practices for Heavy Haul Railway Operations – Infrastructure Construction and Maintenance Issues* – 2009 – ISBN: 978-1-930566-74-3