

5º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

CATEGORIA 3

O GERENCIAMENTO DO ATRITO NO METRÔ RIO

INTRODUÇÃO

A Ferrovia Brasileira no seu início era assentada sobre trilhos de pequenas massas, como por exemplo, os trilhos TR-25 (25 quilogramas por metro linear), isto se devia aos veículos serem relativamente leves e com pouco esforço trator. Com a evolução do tráfego, onde a utilização de trens cada vez mais pesados e velozes, fez com que os esforços exercidos sobre a via e conseqüentemente os trilhos, aumentasse consideravelmente, fazendo com que suas massas fossem paulatinamente aumentadas chegando aos dias de hoje aos TR-57 e UIC-60, para transporte de passageiros e o TR-68, para transporte de cargas pesadas.

O incremento de cargas e de intervalo ampliou a necessidade de dispositivos e técnicas que elevem a via útil dos componentes da via e do trem, especificamente a relação roda x trilho, tão estudada por especialistas de todo o mundo. Uma das técnicas mais aceitas e difundidas é a da lubrificação das rodas e trilhos, com os efeitos principais de reduzir o desgaste de ambos e tornar mais favorável a relação entre forças laterais e verticais, explicitada por Nadal como protagonista numa ocasião de descarrilamento sem falha de componentes

DIAGNÓSTICO

A Via Permanente

O sistema metroviário do Rio de Janeiro possui três linhas principais, de infraestruturas diferentes, embora ambas com bitola larga (1,60m). A linha 1, em túnel, com trilhos assentados sobre dormentes de concreto, os quais, envoltos em galochas de elastômero são incrustados na laje de concreto que provê o suporte para a superestrutura. Já a linha 2, é assentada a céu aberto, e possui características construtivas tradicionais de assentamento sobre lastro de pedra britada. A linha 4 é similar à linha 1 em sua concepção, também contando com dormentes de concreto e elastômeros sobre laje de concreto.



Figura 1- Linha em túnel sobre dormentes de concreto e radier



Figura 2 - Linha férrea a céu aberto, com lastro de pedras britadas.

A via permanente, um dos quatro pilares de importância primária na estrutura do sistema operacional do Metrô é composta de grandes componentes e vários equipamentos que, tendo um bom comportamento, garante sempre boas condições para o tráfego das composições. Com relação aos componentes, trilhos de rolamento, dormentes com fixações, lastro, aparelhos de mudança de via e lubrificadores de trilhos e rodas são os principais e que requerem maior atenção, mas os aparelhos de dilatação ou juntas de expansão, talas de junção, juntas isolantes, isoladas e terceiros trilhos, apesar de mais simples, também são observados nas “rotas” do programa de manutenção.

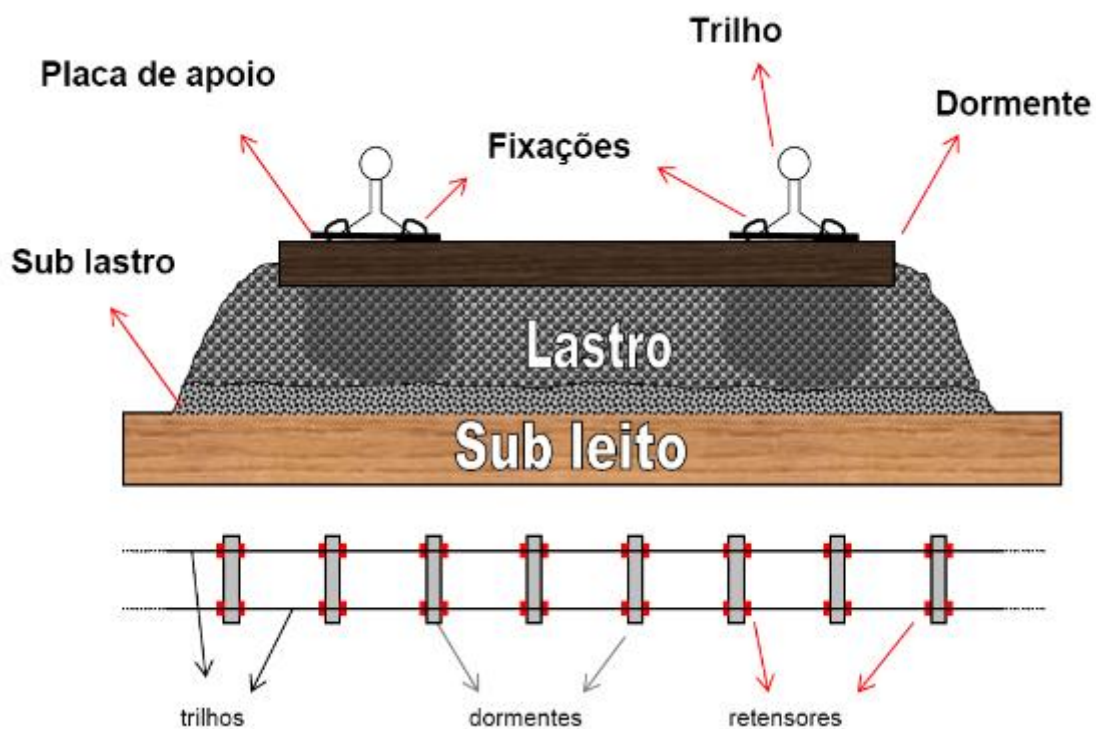


Figura 3 - Montagem tradicional da via permanente

Desde o início da operação comercial do Metrô-Rio, em nível de manutenção da via permanente se trabalhou executando inspeções/manutenções preventivas nas quais os períodos padrão, foram estabelecidos em conformidade com os parâmetros preconizados nos manuais/catálogos dos fabricantes e também com base nos padrões estabelecidos por ferrovias de tráfego similar. Esta forma de atuação atendia perfeitamente a empresa, visto que os esforços aos quais os equipamentos eram submetidos têm poucas ou nenhuma variação, ou seja; os carregamentos sobre as linhas são decorrentes da passagem de um único tipo de trens que sofre, diariamente, as mesmas variações de carregamento ao longo do horário operacional, além de considerar-se que a marcha tipo (padrão de velocidades) é sempre a mesma.

Além das manutenções preventivas, as equipes executam manutenções corretivas, sempre que uma falha de equipamentos/peças põe em indisponibilidade uma via. No caso das linhas do Metrô, nunca coube a comparação entre os custos de preventiva e corretiva, pois o “desgaste social” jamais permitiria a parada de um trecho para correção de falhas, mesmo que a intervenção fosse economicamente barata.

Características do desgaste de trilhos

O desgaste dos trilhos de rolamento no sistema metroviário em estudo se desenvolve de modo que, na via reta há pouco ou nenhum desgaste em longo período de tempo, gerando os defeitos de fadiga de rolamento. Nas regiões de curva, em função do peso e movimento do trem conjugados à força centrífuga, o desgaste ocorre com grau mais acentuado e com perfil diferente de desgaste nos trilhos interno e externo. Para reduzir o esforço lateral no trilho externo é aplicada a técnica de superelevação, que consiste em elevar a fiada de trilho externo à curva.

Na curva, o trilho externo sofre esforço lateral superior, imprimindo um desgaste que tende a conformar o trilho ao perfil do friso da roda, perfazendo um ângulo de 45°.

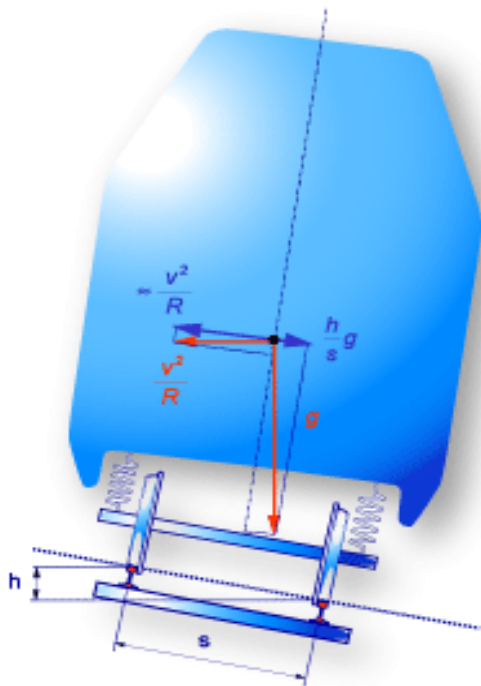


Figura 4 – Comportamento do trem numa curva com superelevação

Esse desgaste é perigoso, pois facilita o encaixe do flange da roda ao trilho e a escalada do rodeiro no trilho. A consequência dessa escalada é o descarrilamento, inaceitável numa ferrovia por causar inevitavelmente grandes perdas, sejam materiais, humanas ou operacionais.



Figura 5 - Trilho com desgaste acentuado a 45º

Em função da roda externa à curva tender a topar o friso no trilho externo, a roda interna tende a se assentar sobre o trilho interno, com elevada força vertical, causando esmagamento e achatamento do topo do boleto, criando rebarbas que, se não retiradas podem evoluir para uma fratura abrupta por propagação das microtrincas geradas na criação dessas rebarbas.

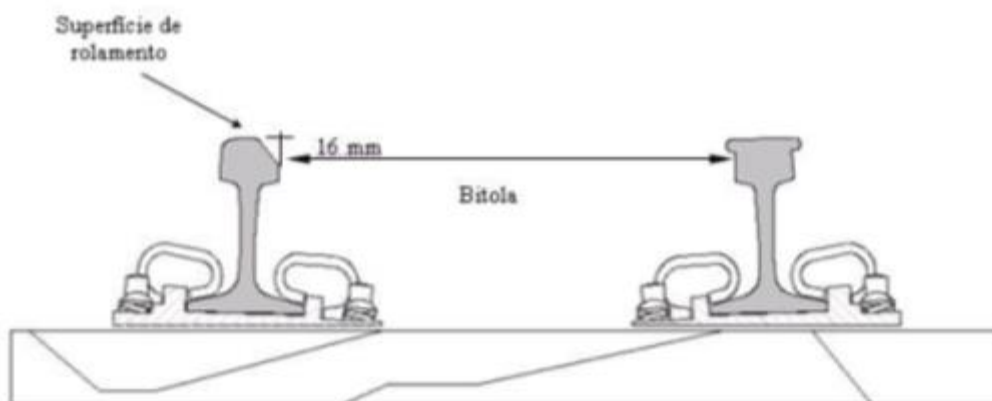


Figura 6 - Desgaste típico do trilho de rolamento na curva

Perfilômetro

Para realizar as medições de desgaste, há uma série de técnicas, mais ou menos produtivas e precisas. Desde pantógrafos que desenhavam o perfil do trilho em uma folha, que será comparada com o perfil original, até sistemas de leitura a laser, que comparam automaticamente o perfil do trilho medido com o perfil original e indicam os parâmetros automaticamente. Na ferrovia em questão, usa-se uma ferramenta de mercado, muito popular entre as ferrovias no Brasil. É um pantógrafo que, combinado a um PDA, realiza e armazena as inspeções para análise em escritório.



Figura 7 - Pantógrafo digital – Miniprof

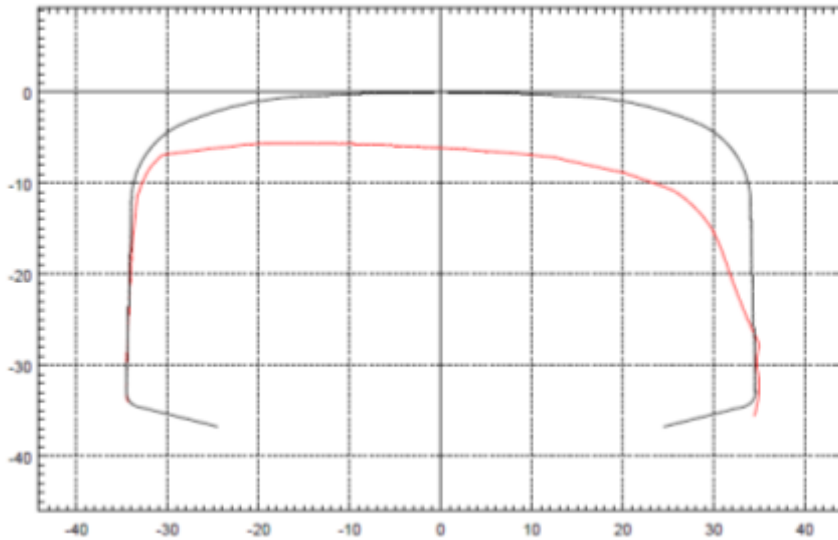


Figura 8 - Exemplo de relatório de desgaste de trilhos de rolamento

A relação roda x trilho

Análise do Atrito

Atrito é a força que resiste ao movimento relativo entre superfícies sólidas. Coeficiente de atrito e a relação adimensional entre a força de atrito entre dois corpos e a força normal que comprime estes corpos. A adição de um lubrificante para um contato sólido-sólido irá reduzir significativamente o atrito. O atrito reduzido leva a um desgaste menor, menor geração de calor e perda de energia - que reduz os custos de operação e tempo de inatividade. A principal função de um lubrificante é fornecer proteção para partes móveis. O que reduz o atrito e o desgaste. A espessura do filme de fluido determina o regime de lubrificação, ou o tipo de lubrificação. Os regimes básicos de lubrificação filme-fluido são:

Lubrificação hidrodinâmica - duas superfícies são separadas por um filme líquido,

Lubrificação Elastohidrodinâmica - duas superfícies são separadas por uma película muito fina de fluidos,

Lubrificação mista - duas superfícies são separadas em parte em contato

Lubrificação limite - duas superfícies em sua maioria estão em contato uns com os outros apesar de um fluido estar presente.

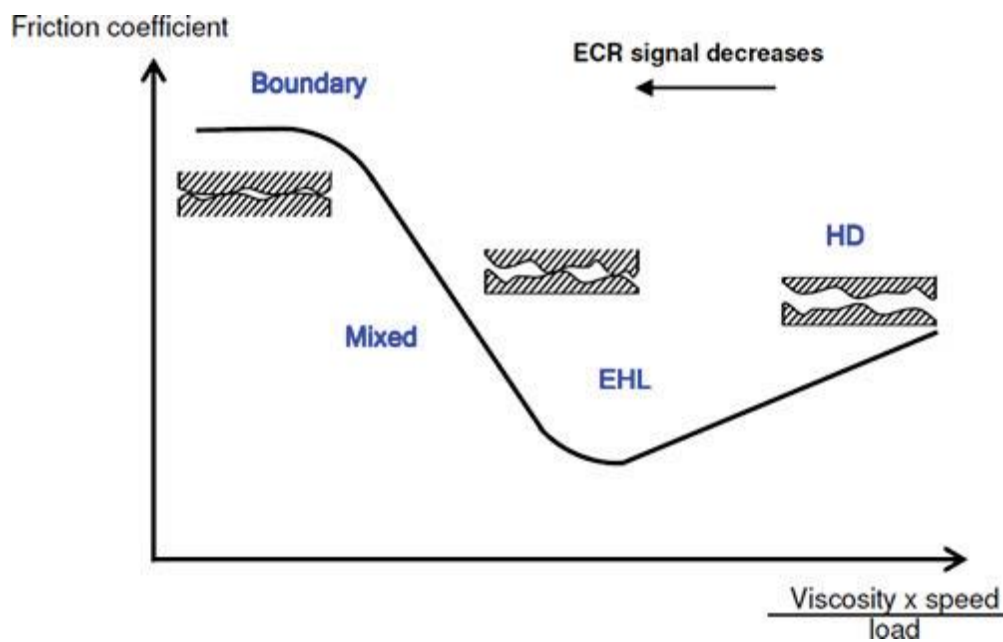


Figura 9 - Regimes básicos de lubrificação

Em uma lubrificação 100% efetiva, o desgaste é reduzido a valores próximos de zero, uma película de lubrificante espessa é formada na região do flange das rodas e face de bitola dos trilhos, temos uma lubrificação hidrodinâmica.

Como a lubrificação tende a reduzir o atrito entre as superfícies, quanto menor o coeficiente de atrito (μ) melhor será a lubrificação e conseqüentemente menor será o desgaste. A figura ilustra os níveis de atrito encontrados na interface roda-trilho.



Figura 10 - Níveis do coeficiente de atrito

Para a lubrificação da face de bitola o valor ideal de $\mu < 0,25$. A tabela abaixo relaciona o coeficiente de atrito com a qualidade da lubrificação.

Tabela 1 - Relação do μ e qualidade da lubrificação

Classificação - Trilho	Coeficiente de Atrito	Descrição
Seco	0,35 a 0,57	Sem graxa na face de bitola.
Lubrificação Pobre	0,30 a 0,35	10% a 40% de graxa na face de bitola.
Lubrificação Aceitável	0,25 a 0,30	40% a 60% de graxa na face de bitola. Metal ainda é visível através do lubrificante.
Lubrificação Boa	0,20 a 0,25	60% a 90% de graxa na face de bitola.
Lubrificação Ótima	0,15 a 0,20	100% de graxa na face de bitola. Graxa ainda fresca e úmida.
Lubrificação Excessiva	<0,15	Boleto do trilho coberto por um filme de lubrificante.

A lubrificação também tem papel fundamental na segurança contra descarrilamento.

Segundo Nadal, as forças atuantes na relação roda x trilho, expressas em força lateral x força vertical se relacionam à predição de descarrilamento por escalada do rodeiro no trilho. Suas componentes são ângulo de atrito e coeficiente de fricção, esse último influenciado diretamente pela qualidade da lubrificação, como descrito previamente.

$$\frac{L}{V} = \frac{\tan \delta - \mu}{1 + \mu * \tan \delta}$$

L= Componente lateral

V= Componente vertical

μ = Coeficiente de fricção

δ = ângulo de contato entre roda e trilho

Fadiga de contato (RCF)

A fadiga de contato é o conjunto de patologias apresentado pela superfície de rolamento, decorrente de sua operação. O mecanismo de origem dessas patologias é geralmente pelo escoamento de material, pelo atrito gerado no rolamento das rodas sobre os trilhos. O material é deslocado em pequenas lâminas, que em seu encontro tendem a deslocar sua superfície,

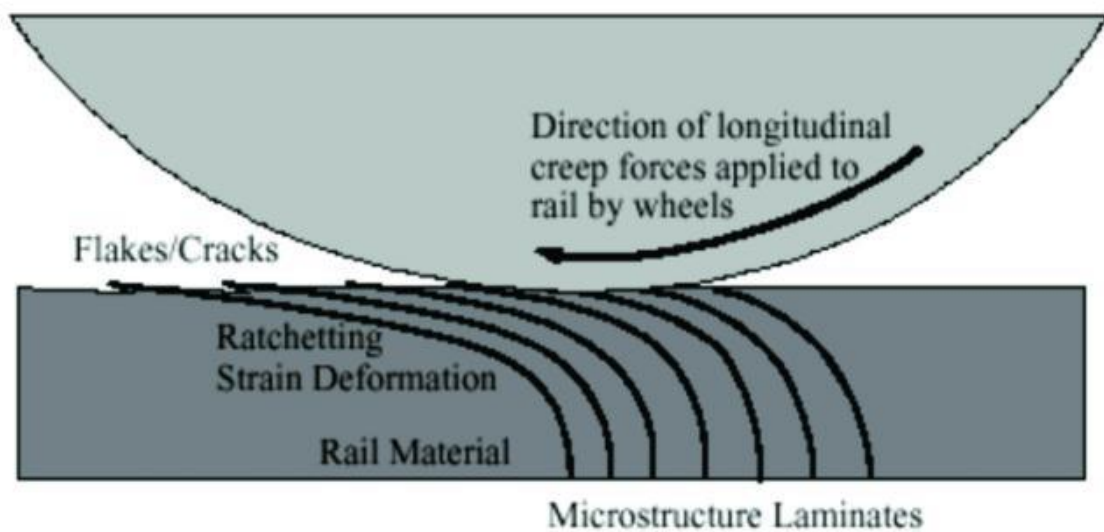


Figura 11 - Formação de trincas por escorregamento de material

Essas lâminas tendem a evoluir em alguma direção. Em alguns casos elas vão se encontrar na superfície do boleto e gerar pequenas quebras, mas em outros casos elas podem evoluir em direção ao patim e assim incorrerem em maior risco operacional. O lubrificante utilizado pode colaborar com sua progressão, através do calço hidráulico. O fluido penetra na fissura, na passagem do trem, seu peso fecha a extremidade superior da fissura e aplica pressão na sua raiz, forçando a progressão da trinca.

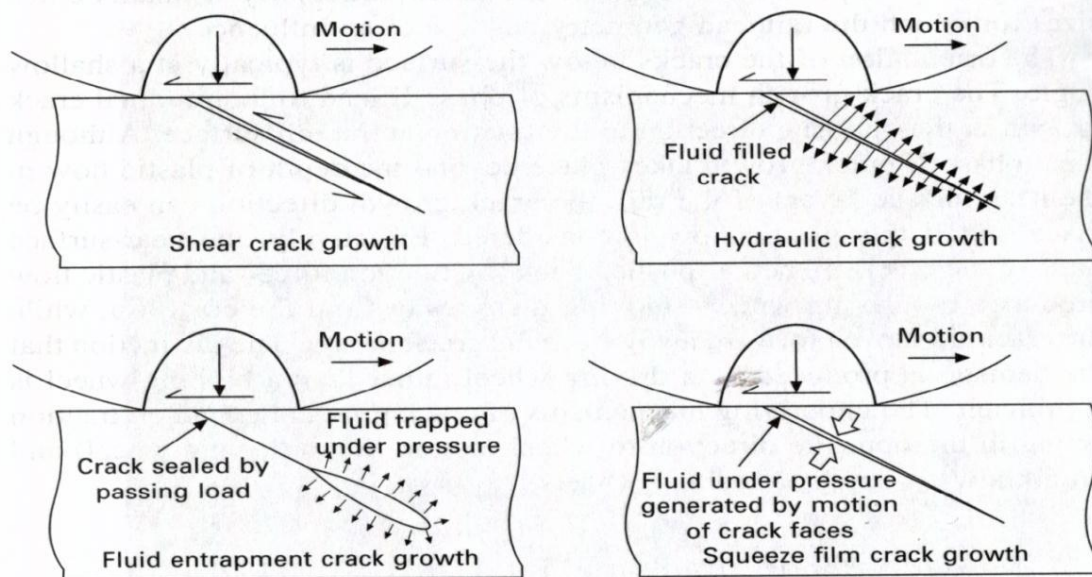


Figura 12 - Propagação de trincas com fluido (calço hidráulico)

O sistema de lubrificação original

Várias inspeções na malha ferroviária da concessionária foram realizadas a fim de determinar o estado da lubrificação de trilhos realizada por equipamentos fixos instalados em vários pontos da malha. As inspeções foram realizadas no período de Setembro a Novembro/2011, conduzidas pelos engenheiros e técnicos de consultores contratados e da concessionária. Um total de 65 lubrificadores foram inspecionados. Nas curvas adjacentes aos lubrificadores foi medido o coeficiente de atrito na face de bitola, parâmetro que avalia a efetividade da lubrificação. Embora exista um grande número de lubrificadores instalados, a maioria das curvas inspecionadas não mostrou uma lubrificação suficientemente efetiva para reduzir o desgaste dos trilhos e a energia consumida pelos trens.

A figura abaixo exemplifica o coeficiente de atrito encontrado na linha em estudo com o sistema instalado de lubrificação:

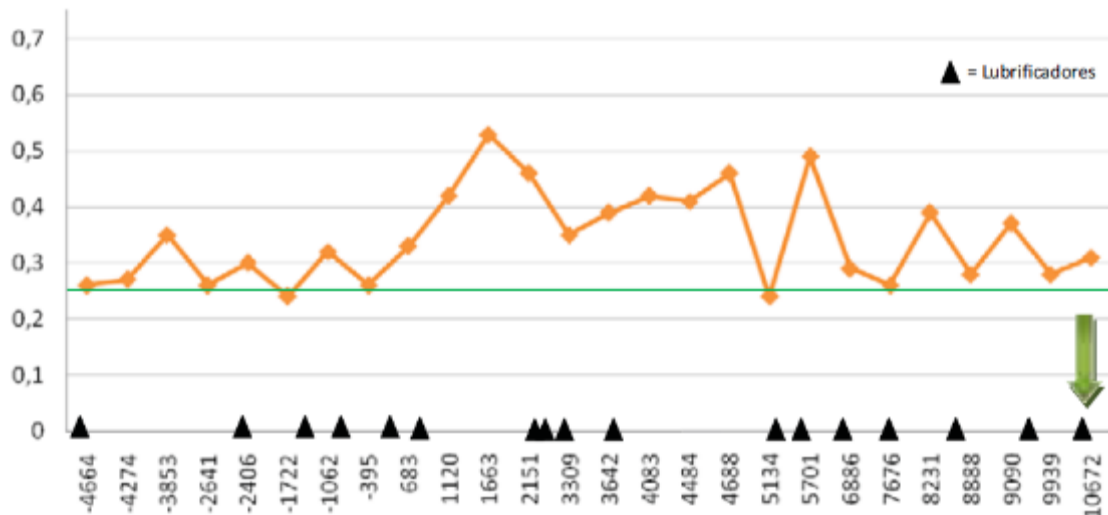


Figura 13 - Medição do coeficiente de atrito em uma linha

A lubrificação desta via é deficiente, a maioria dos pontos onde foram medidos os coeficientes de atrito estavam $\mu > 0,25$. A lubrificação não é efetiva a fim de diminuir o desgaste de trilhos. Foi também possível verificar a necessidade de lubrificação pela presença de limalhas de aço e severo head check no canto de bitola. A maioria dos lubrificadores são mecânicos, ou seja, acionados por um pedal em contato frequente com as rodas dos trens, fato que gera uma grande demanda de manutenção. Aliado a defasagem tecnológica dos equipamentos, pois os primeiros lubrificadores mecânicos foram projetados em 1927, e poucas atualizações foram implantadas após o desenvolvimento. A distribuição de graxa é proporcional à velocidade dos trens e a altura do pedestal em relação ao topo do trilho. O controle da vazão é precário. Com todos esses parâmetros afetando a distribuição de lubrificante, a eficiência do equipamento não é constante, ela varia com os parâmetros acima mencionados, o que acarreta numa drástica redução no carry-down (distância de carregamento de lubrificante pelas rodas) e alocação de graxa não inteiramente na face de contato. Os lubrificadores elétricos existentes não possuem um sistema de controle de vazão

baseado no número de rodas passantes pelo sensor, o sistema de vazão é acionado na passagem das rodas e controlado pelo tempo de funcionamento da bomba de lubrificante.

A graxa utilizada atualmente nos lubrificadores é à base de grafite, não possui aditivos de extrema pressão. Outra característica extremamente importante observada é o alto índice de separação de óleo no lubrificante.



Figura 14 - Baixa estabilidade mecânica da graxa

Opções disponíveis no mercado

Sistema wayside

O sistema wayside de lubrificação é o mais utilizado em ferrovias. Consiste em um reservatório de lubrificante e um sistema de distribuição. Esse sistema de distribuição possui acionamento, que pode ser mecânico ou eletrônico. Os equipamentos eletrônicos atualmente comercializados trabalham com acionamento eletrônico, acionado pela

passagem dos trens por um sensor. Nos mecânicos, o acionamento é realizado por pedal, que é movido pelo choque mecânico deste com o friso da roda. O lubrificador é bombeado para lâminas de distribuição que aplicam o lubrificante na linha de bitola do trilho.



Figura 15 - Lâmina distribuidora de lubrificante

Esse lubrificante é transferido para a roda no momento de seu contato com o lubrificante depositado no trilho. Esse lubrificante então, através do contato roda x trilho, forma a película lubrificante na roda e nos trilhos.

Esse sistema tem como características:

Utiliza graxas comerciais, não ficando o consumidor vinculado a um único fornecedor de consumível.

Grande reservatório permite autonomia estendida do lubrificador.

Tecnologia difundida e amplamente utilizada.

Falta de redundância. No caso de um lubrificador apresentar falha, o trecho deixa de ser atendido.

Sistema embarcado

O sistema embarcado é instalado no trem, e aplica o lubrificante diretamente na roda. Esse lubrificante forma sua película sobre a roda, que aplica o lubrificante nos trilhos. Há basicamente dois modelos de lubrificadores embarcados, com filosofias diferentes. O sistema com lubrificante fluido e o sistema com lubrificante sólido.

Lubrificante fluido

O lubrificador embarcado com lubrificante fluido possui constituição semelhante à do lubrificador wayside. Ele é composto por um reservatório, um sistema de bombeamento e um aplicador, que faz a aspersão do lubrificante. Para permitir a aspersão, geralmente os lubrificadores fluidos usam óleo ao invés de graxa.



Figura 16 - Lubrificador embarcado com lubrificante fluido

Esse sistema possui como características:

Redundância. No caso de um bico aspersor apresentar falha, os demais sustentam a formação do filme.

Sistema embarcado permite que a manutenção seja realizada junto a outras atividades no material rodante, não exigindo deslocamento de equipe.

Óleo específico precisa ser utilizado, ficando o consumidor vinculado exclusivamente ao lubrificante fornecido pelo fabricante.

O sistema possui diversos componentes eletropneumáticos críticos, elevando o custo e complexidade da sua manutenção e regulagem.

Em função do lubrificante muito fluido, ele pode escorrer e contaminar o topo do boleto, prejudicando a aderência.

Lubrificante sólido

O lubrificador embarcado possui montagem similar à do lubrificador embarcado fluido, porém com grande simplicidade. Ele é composto por um aplicador com mola de pressão constante e o próprio bastão lubrificante.



Figura 17 - Lubrificador embarcado com lubrificante sólido

Esse sistema possui uma grande vantagem sobre os demais no caso de RCF, por não ser composto de lubrificante fluido e assim não colaborar com a progressão de fissuras por calço hidráulico. O sistema é regulado de modo a encostar o bastão lubrificante no friso da roda. Esse contato forma o filme na roda, que é transferido ao trilho somente no seu contato, que ocorre somente nas curvas, garantindo a correta aplicação do lubrificante e eliminando a possibilidade de contaminação do topo do boleto.

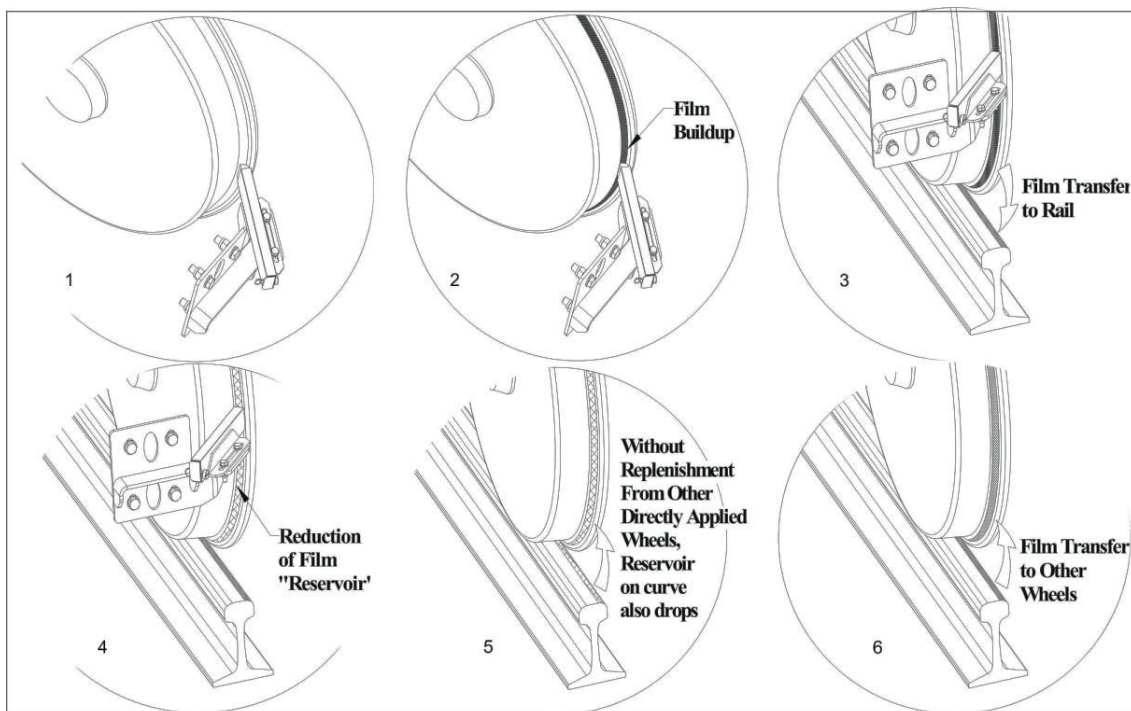


Figura 18 - Mecânica de lubrificação do lubrificador sólido embarcado

Esse sistema possui as seguintes características:

Redundância. No caso de um aplicador apresentar falha, os demais sustentam a formação do filme.

Simplicidade. O sistema é totalmente mecânico, sem elementos de impacto e de fácil montagem, regulação e reposição.

O lubrificante é particular, não sendo encontradas muitas opções no mercado. Dessa forma o consumidor fica atrelado ao fabricante.

A escolha pelo sistema sólido embarcado

Justificativa técnica

Comparando os três sistemas, para a utilização em sistema metroferroviário a solução sólida embarcada se mostra mais viável a curto e longo prazo.

Uma das maiores dificuldades na manutenção do sistema wayside é a necessidade de deslocar equipe para sua manutenção. A janela de manutenção de 3 horas exige otimização das atividades. A presença de equipe de manutenção de lubrificadores incorre no uso de veículo de manutenção e bloqueio de trechos, que não podem ser utilizados para outras manutenções ou passagem de veículos.

Apesar do custo com consumíveis ser mais elevado que com lubrificantes fluidos, o custo de manutenção do sistema embarcado somado com a redução do consumo de trilhos e equipamentos (amv's e aparelhos de dilatação) representa economia considerável.

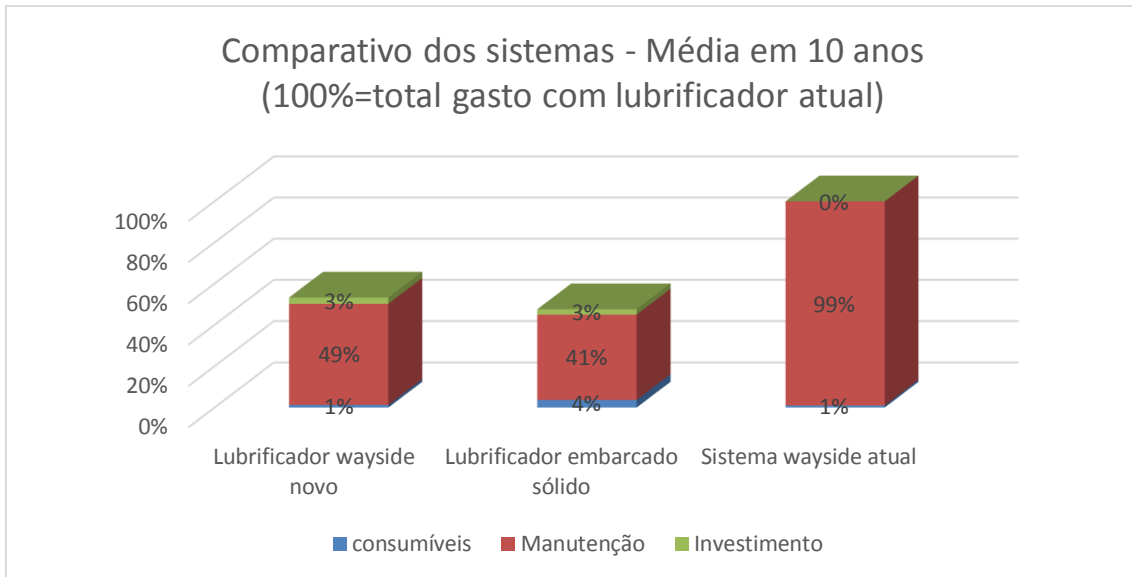


Figura 19 - Média de gasto com a mudança do sistema de lubrificação

O lubrificante sólido, eliminando o risco de calço hidráulico permite maior segurança à operação, permitindo que as trincas sejam detectadas antes da sua progressão e fratura.

Retorno financeiro projetado

Como elementos de cálculo do benefício financeiro esperado, foram considerados:

Custo de instalação e manutenção

Troca de trilhos, AMV's, aparelhos de dilatação e soldas aluminotérmicas

Custo de mão de obra empregada

Considerando esses elementos, foi delineada linha do tempo contendo todos os elementos e comparados os gastos totais estimados:

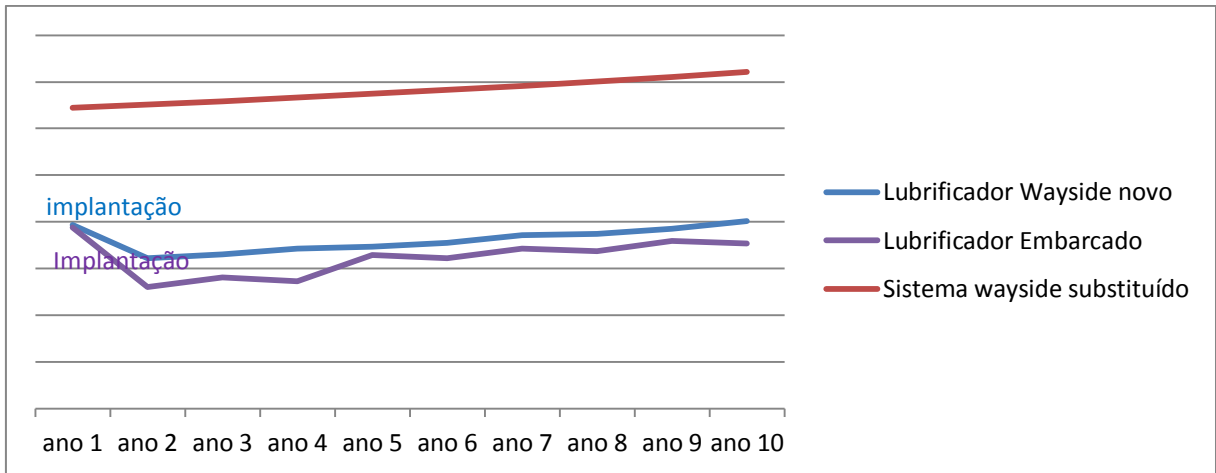


Figura 20 - Comparativo de gastos anuais com os sistemas de lubrificação

Baseado na estimativa, o lubrificador sólido embarcado se mostra a melhor opção financeira para o sistema em questão.

Para aferir os resultados estimados, foi contratada a consultoria de notório especialista, que atualmente realiza medições de desgaste dos componentes para avaliar o real resultado financeiro obtido, que será tratado em capítulo a frente.

A instalação do sistema na frota

Para a instalação do sistema embarcado, foi necessário o desenvolvimento de suporte para o aplicador, de modo a aplicá-lo na frota específica da ferrovia. Esse suporte foi desenvolvido utilizando análise de elementos finitos e foi desenhada para ser o mais simples possível. Dessa forma, o elemento é composto de peça única, aparafusada no flange do truque.

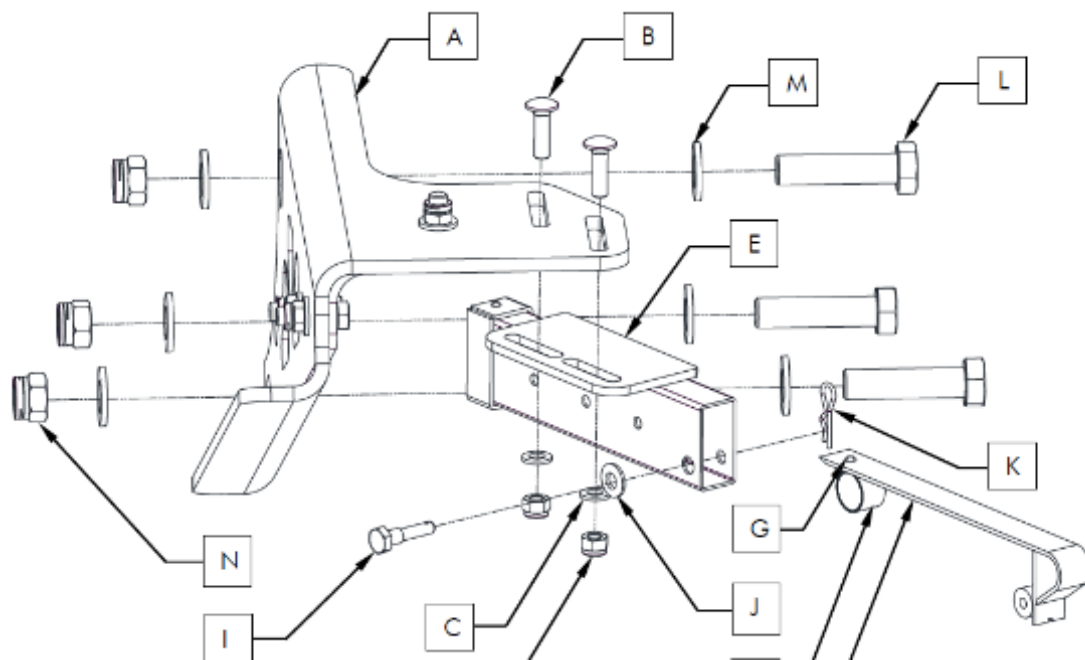


Figura 21 - Suporte desenvolvido

Protótipo

Para aferir a aplicabilidade e resistência do suporte desenvolvido, foi fabricado e instalado um protótipo em um dos trens. Esse protótipo foi monitorado durante seis meses, sem nenhum relato de trinca ou perda de regulagem.

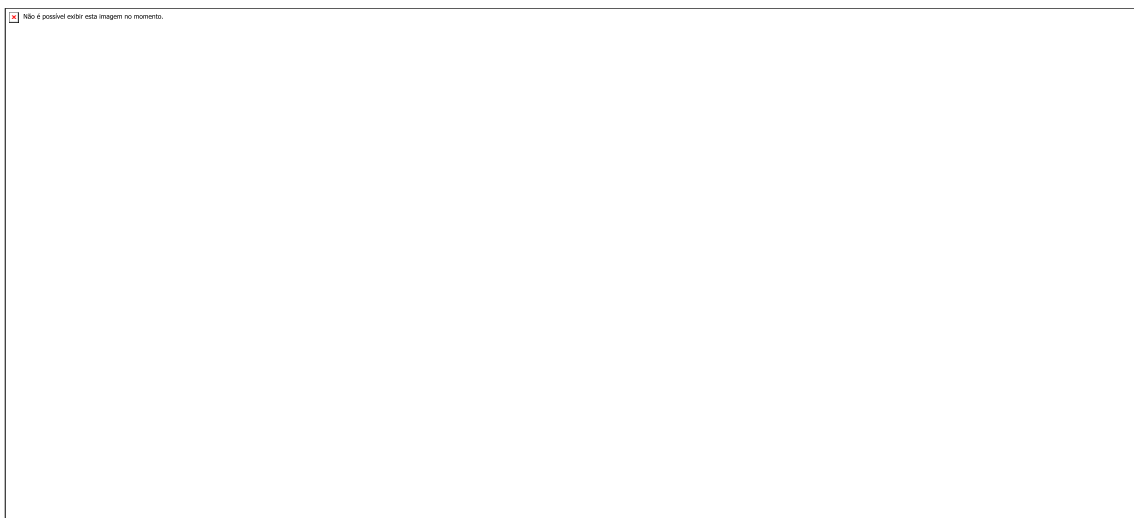


Figura 22 - Protótipo instalado

Instalação na frota

Tendo o suporte sido aprovado, progredimos para a instalação em toda a frota. Para o sistema em questão, foi utilizada cobertura de 33% dos rodeiros.

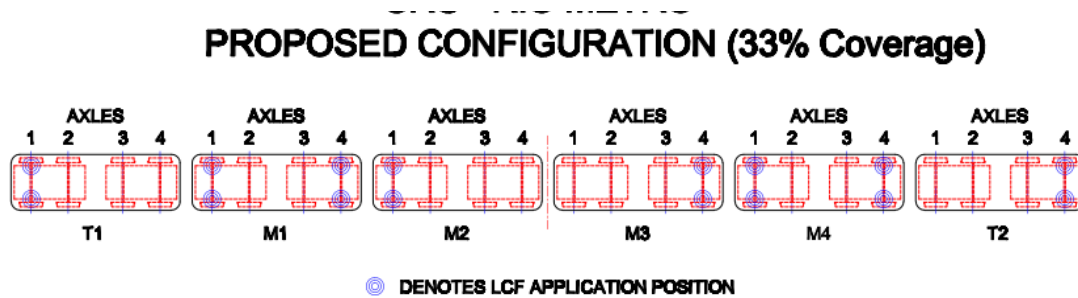


Figura 23 - Configuração dos aplicadores na frota

A instalação foi realizada durante a vinda dos trens para as manutenções programadas, não exigindo programação especial ou indisponibilidade do material rodante. Após um treinamento inicial de montagem e regulagem, os demais aplicadores foram instalados.

Intercorrências

Durante o uso ostensivo do sistema, foram verificadas falhas em dois componentes do lubrificador.

O clip R de travamento do parafuso possuía baixa flexibilidade, dessa forma se deformando durante as manutenções e soltando durante a operação. O R-clip foi substituído por anel em todos os aplicadores, sem novas ocorrências de falha.



Figura 24 - Ring cotter

O corpo do aplicador sofreu quebras em sua extremidade devido à vibração do conjunto. Para solucionar as quebras foi desenvolvido novo suporte com anel de reforço na extremidade do aplicador. Os aplicadores novos estão em fase de substituição e até o momento sem relato de novas quebras.



Figura 25 - Quebra do aplicador



Figura 26 - Novo aplicador com reforço

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Monitoramento dos resultados

Desgaste do material pré-instalação

O desgaste do material pré instalação do novo sistema foi aferido através do histórico de carregamento dos trechos, provido pela inteligência de mercado em comparação com o desgaste medido com perfilômetro. Essas duas dimensões permitem analisar o quanto foi gasto de material em comparação com o quanto foi transportado de carga. Esse número é amplamente utilizado pelas ferrovias como critério de comparação e permite comparar de forma eficiente o desempenho do lubrificante no combate ao desgaste de trilhos e rodas.

Desgaste de material pós-instalação

Após a instalação do sistema, foi realizada medição do desgaste e coeficiente de atrito para aferição dos resultados.

Nos trilhos, a forma escolhida para comparar os resultados nas condições heterogêneas das curvas foi o cálculo da taxa de desgaste, que compara a espessura de material consumida pelo volume trafegado em milhões de toneladas brutas trafegadas sobre o trecho (MTBT).

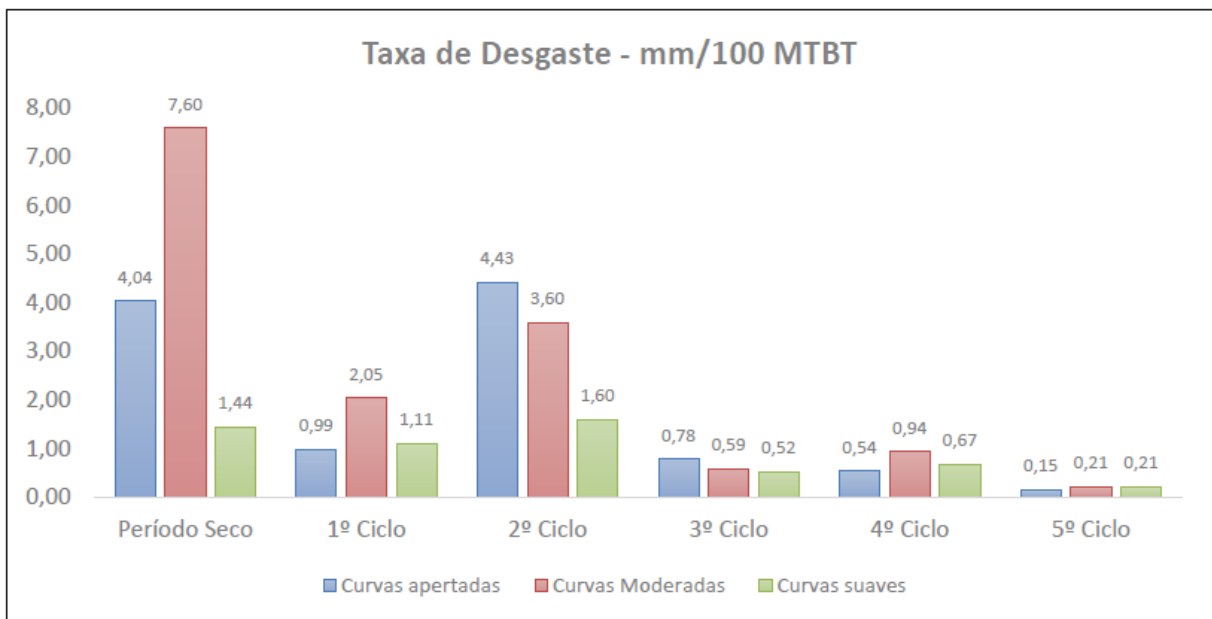
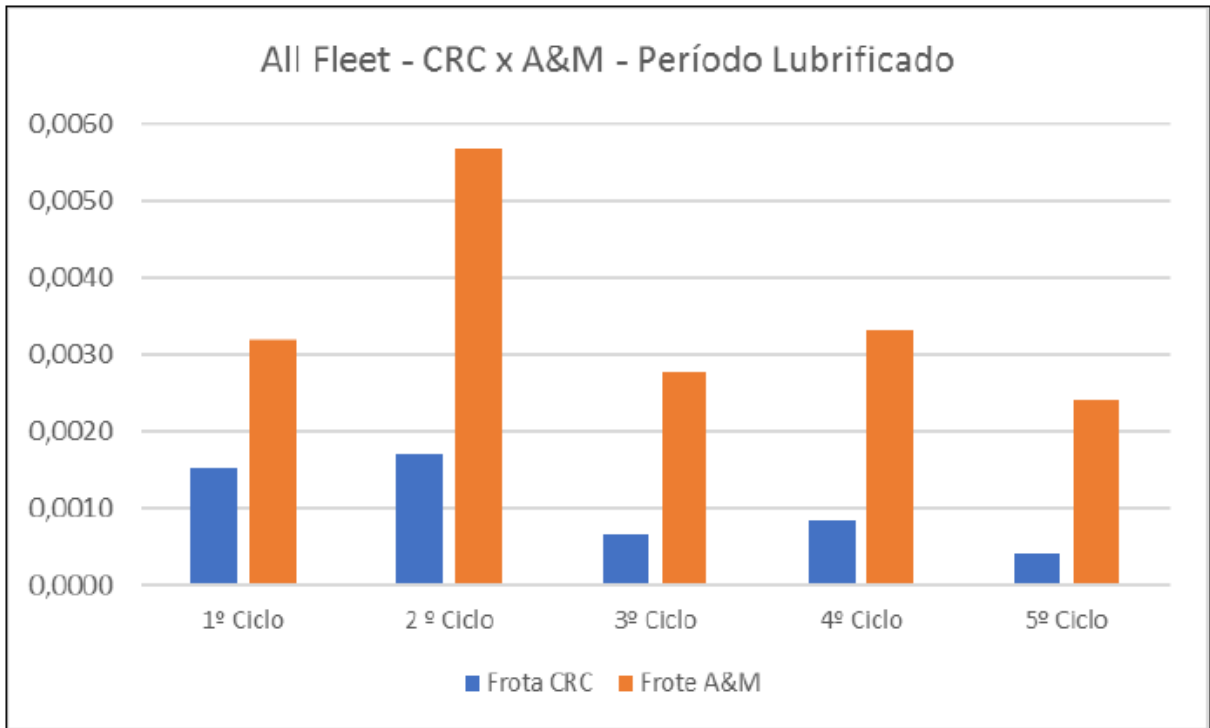


Figura 27 - Comparativo de taxa de desgaste

É notória a redução da taxa de desgaste, que chegou a uma proporção superior a 96% em curvas moderadas e apertadas (abaixo de 600m de raio).

No caso das rodas, o critério selecionado foi o consumo de material versus a quilometragem trafegada pelos trens.



Nas rodas, a redução de consumo de material chegou à casa de 60%.

Em ambos os casos, além da redução absoluta de desgaste dos materiais, foi possível verificar redução da frequência e amplitude dos defeitos superficiais (fadiga de contato e escoamento de material).

Retorno financeiro real

Para efeitos didáticos e resguardo dos valores reais praticados, esses foram suprimidos.

Somente serão dispostos gráficos sem valores para ilustração. Assim sendo, foram comparados os valores:

Quantidade de metros existentes em curvas suaves, moderadas e apertadas, bem como quantidade de rodas que seriam substituídas.

Não foram considerados os trechos em tangente, por não receberem lubrificação de friso.

Foi calculado o consumo de material e comparado com o limite aceitável de desgaste dos componentes, dessa forma indicando a quantidade de barras e rodas deixarão de ser substituídos em função da redução da taxa de desgaste.

Assim sendo, abaixo consta o comparativo de valores gastos por ano no período seco em comparação com os valores economizados por ano com o novo sistema de lubrificação.



CONCLUSÕES

Com base nos dados levantados nas medições em campo, foi perceptível uma economia substancial de material com a aplicação do sistema de lubrificação embarcada sólida. A manutenção do sistema também se provou simples e com baixo uso de recursos em mão de obra e equipamentos.

O sistema até o momento pode ser considerado como uma implantação de sucesso para o uso metroviário.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. (2013). NBR 7640 - Defeitos de trilhos utilizados para via férrea .

AREMA - American Railway Engineering and Maintenance of Way Association. (2011).

Manual for Railroad Engineering. Estados Unidos da América: AREMA.

Aristides, J. A. (2006). Gestão estratégica de custos. LATEC/UFF.

Brina, H. L. (1972). Estrada de ferro - Via Permanente. Belo Horizonte: Ao livro técnico.

Castelo, B. C., & Ferreira, R. (2002). Tratado de estrada de ferro vol II - Prevenção e investigação de descarrilamentos. Rio de Janeiro: Reflexus.

Costa, H. C., & Oliveira, E. R. (2014). Análise da vida útil de trilhos de rolamento. Rio de Janeiro.

Costa, H. C., & Oliveira, E. R. (2014). Curso intermediário de inspetor de via permanente. Rio de Janeiro: Metrô-Rio.

dos Santos, C. E. (2012). Avaliação comparativa da resistência a fadiga de contato para um aço ferramenta com microestruturas martensíticas e bainíticas. São Paulo.

LB Foster. (2015). Rio Metro Old RS LCF Applicator Installation and Maintenance Manual.

Metrô-Rio. (2005). Metrô-Rio. Acesso em 16 de 05 de 2011, disponível em www.metrorio.com.br

Mundo Ferroviário. (2013). Acesso em 27 de maio de 2014, disponível em Mundo ferroviário: <http://mundoferroviario.com.br/wp-content/uploads/2013/09/bitola-16mm.jpg>

Seixas, E. (2007). Engenharia da confiabilidade. Rio de Janeiro: LATEC/UFF.

Suevo, H. R. (2004). A formação das estradas de Ferro no Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Memória do Trem.

Vidon, F. O., Vidon, W. J., & Bastos, F. A. (2012). MELHORIAS NO SISTEMA DE LUBRIFICAÇÃO NO CONTATO RODA-TRILHO DO METRÔRIO ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA.