

## GESTÃO DE ATRITO DE TRILHOS FERROVIÁRIOS: CICLO IDEAL DE LUBRIFICAÇÃO MÓVEL<sup>1</sup>

Thiago Gomes Viana<sup>2</sup>

### Resumo

A situação precoce de desgaste lateral do trilho juntamente com a presença de defeitos superficiais, ruído excessivo e descarrilamentos, trouxe à tona um assunto de vital importância para conceituadas ferrovias: Gestão de Atrito. Desta forma, iniciou-se um trabalho investigativo para entender o comportamento das graxas de lubrificação do contato roda-trilho. Os objetivos deste trabalho são analisar o desempenho de quatro diferentes tipos de graxas mediante compatibilidade com o sistema de lubrificação móvel; e avaliar o comportamento das mesmas nas curvas de raio apertado ( $R < 350$  m) no Test Site de lubrificação em curvas apertadas VLI. Os testes foram realizados com o sistema de Lubrificação Móvel, o qual faz a operação entre Betim e Divinópolis, desenvolvido para aplicar um filete controlado de graxa na linha de bitola (16 mm do topo do trilho) dos trilhos externos aplicados na via permanente. As medições com o Tribômetro foram realizadas tanto no Canto de Bitola (*Gauge Face*) quanto no Topo do Trilho (*Top of Rail*) e com os resultados destes testes foi possível elencar o ranking de desempenho das graxas e levantar o ciclo ideal de lubrificação.

**Palavras-chave:** Gestão de atrito; Desempenho de graxas; Ciclo de lubrificação móvel de trilhos.

### MANAGEMENT OF FRICTION OF RAILWAY TRACKS: CYCLE IDEAL FOR MOBILE LUBE

### Abstract

The situation of early rail side wear along with the presence of surface defects, excessive noise and derailments, brought up an issue of vital importance to reputable railways: Friction Management. Thus began investigate work to understand the behavior of lubrication greases of the wheel-rail contact. The objectives of this study were to analyze the performance of four different types of greases upon compatibility the mobile lubrication system and the behavior of the same tight radius curve ( $R < 350$  m) on the Test Site lubrication in tight curves of VLI. The tests were permormed with the mobile system, wich makes operation between Betim and Divinopolis developed to apply a bead of grease in controlled gauge face line (16 mm of the top of rail) high rails applied in the railway. As measurements with the tribometer were performed both in gauge corner and top of rail and the results of these tests was possible to list the ranking performance of greases and the ideal cycle lubrication.

**Key words:** Management of rails attrition; Grease performance; Ideal cycle for lubrication.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 68º Congresso Anual da ABM - Internacional, 30 de julho a 2 de agosto de 2013, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

<sup>2</sup> *Engenheiro Metalúrgico. Mestrando. Engenheiro Sênior. VLI (Valor da Logística Integrada). Belo Horizonte. Minas Gerais. Brasil.*

## 1 INTRODUÇÃO

Nas ferrovias, a execução da manutenção da via permanente envolve diversas atividades, tais como substituição de dormentes, trilhos, soldagens de juntas, correções geométricas, manutenção em pontes, viadutos e dispositivos de drenagens. Os trilhos constituem o principal componente das vias. Esses precisam ser monitorados constantemente devido aos desgastes que sofrem com a passagem das rodas das locomotivas e vagões.<sup>(1)</sup>

A situação precoce de desgaste lateral de trilhos ferroviários juntamente com a presença de defeitos superficiais, ruído excessivo e descarrilamentos, o que trouxe à tona um assunto de vital importância para conceituadas ferrovias: a gestão de atrito em trilhos.<sup>(2)</sup>

O gerenciamento do atrito é o processo que controla o coeficiente de atrito existente no contato entre rodas e trilhos para verificar valores mais apropriados para a operação ferroviária e os melhores índices para desgaste em curvas e economia de combustível.<sup>(3)</sup>

A gestão de atrito de trilhos se separa em duas fases, são elas:<sup>(4)</sup>

- 1ª fase: aplicação de lubrificador (graxa) na face/canto de bitola; e
- 2ª fase: aplicação de modificador de atrito no topo do trilho.

Buscando aprimorar os conhecimentos sobre a primeira fase da gestão de atritos em trilhos, aplicação da graxa através do lubrificador da face/canto de bitola, iniciou-se um trabalho investigativo para entender o comportamento das graxas de lubrificação do contato roda-trilho.

### 1.1 Objetivos

São objetivos desse trabalho:

- analisar o desempenho de graxas de quatro diferentes fornecedores, mediante compatibilidade com o sistema de lubrificação móvel de trilhos; e
- avaliar o comportamento das graxas em curvas de raio apertado ( $R < 350$  m) no *test site* de lubrificação em curvas apertadas VLI (Valor da Logística Integrada).

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para os testes, foram selecionadas 4 graxas de diferentes fornecedores. As graxas foram aplicadas utilizando-se o Auto de Linha, aparelho de lubrificação móvel que aplica um fino filete de graxa sobre os trilhos.

### 2.1 Materiais

O NLGI (*National Lubricante Grease Institute*) indica valores para a medição da consistência das graxas variando desde 000 até 6, sendo que para este trabalho utilizaremos somente o grau NLGI 1, exceto para uma das graxas testadas que possui grau NLGI 1,5.<sup>(5)</sup>

A Tabela 1 apresenta a relação das graxas, NLGI e período de teste de cada uma delas:

**Tabela 1.** Graxas testadas com tribômetro

Graxa	NLGI	Data dos testes (2012)
A	1	6 e 7 de agosto
B	1	9 a 11 de agosto
C	1	21 a 23 de agosto
D	1,5	29 a 31 de agosto

Para a escolha das graxas foi realizado um levantamento das características de cada uma delas diretamente com seus fornecedores. Além desse levantamento, foram ainda consultados os especialistas da Ch Vidon com o intuito de melhor compreender as propriedades físico-químicas do produto e sua aplicabilidade na ferrovia.

A partir dessas informações, foi possível enumerar as principais características de cada das graxas, conforme pode ser observado na Tabela 2.

**Tabela 2.** Dados laboratoriais das graxas em análise

Características	Proposta de novas graxas				
	Graxa atual	A	B	C	D
Espassante	Cálcio-grafite	Colóide inorgânico	Lítio	Sulfonato de Cálcio	
Cor	Grafite	Amarelo transparente	Preta	Amarela	
Grau NLGI	1	1	1	1,5	
Penetração Trabalhada mm/10 ASTM D-217	310 a 340	310 a 340	325	300 a 325	
Four Ball (kgf) ASTM D-2596	*	400	400	400	
Lavagem por água % perda ASTM D-1264	*	0	*	0	
Ponto de gota (°C) ASTM D-566	80	*	180	190	
Biodegradabilidade	Não se aplica	OK	Não se aplica	OK	

As principais propriedades estão descritas a seguir:

- **espassante:** substância capaz de aumentar a viscosidade das soluções, emulsões e suspensões melhorando a textura e consistência das graxas.
- **cor:** aspecto visual;
- **grau NLGI:** consistência da graxa;
- **penetração trabalhada:**<sup>(5)</sup> determina a consistência (“espassura”) da graxa, mediante a queda de um cone onde se mede a profundidade submersa do cone. Quanto menor a penetração, mais espessa é a graxa;

- Four Ball:<sup>(5)</sup> carga de solda (ensaio de extrema pressão), denominado *Four Ball EP*, uma esfera superior de aço gira sobre três esferas de aço paradas (todas lubrificadas), aumentando-se a carga até que elas se soldem;
- Lavagem por água:<sup>(5)</sup> objetiva-se com esta característica avaliar o comportamento da graxa mediante situações com chuva;
- Ponto de gota:<sup>(5)</sup> determina a temperatura que se inicia a mudança do estado pastoso da graxa para o estado líquido. Quanto maior o ponto de gota, mais resistente será a graxa em relação à temperatura gerada pelo atrito rodatrilho; e
- Biodegradabilidade: propriedade que algumas graxas possuem para bactérias decomporem mais rapidamente a graxa que porventura deposita-se sobre o lastro/solo.

O conceito mais divulgado, servindo de orientação, para nossos colaboradores VLI foi o de NLGI (consistência da graxa) em função das limitações impostas pelo sistema de aplicação de graxas nos trilhos.<sup>(2)</sup>

## 2.2 Métodos

Os testes foram realizados com o sistema de Lubrificação Móvel instalado em um Auto de Linha (carro ferroviário), o qual aplica um filete controlado de graxa na linha/face de bitola (16mm do topo do trilho) dos trilhos externos aplicados na via permanente.

### 2.2.1 Test Site VLI (Localização do teste)

Os testes foram realizados em curva situada no Corredor Centro-Leste entre as Seções de Bloqueio EVN-ECN no km 859 (Tabela 3) no município de Betim-MG. A escolha dessa curva se deu por ela apresentar raio de curvatura menor que 350m e boa logística para condução dos testes.

Tabela 3. Dados gerais da geometria da Via

Curva	Local	kminício	kmfinal	Rampa (%)	Raio (m)	Equipe de apoio
24	EVN-ECN	859+281	859+454	1,9	146,55	Betim/MG

### 2.2.2 Sistema de lubrificação móvel

O sistema de lubrificação hidráulico está instalado em um Auto de Linha (veículo ferroviário) e aplica a graxa-lubrificante com uma velocidade constante de 35 km/h, alimentado por um reservatório com controle eletrônico de aplicação.

A graxa é aplicada nos trilhos através de bicos aplicadores (diâmetro do furo de 0,8 mm) instalados nos braços articulados, que podem ajustar a posição do filete de graxa na face de bitola do trilho.

Através dos resultados coletados nos testes com o equipamento de medição de coeficiente de atrito, Tribômetro, é possível ser mostrado:

- graxa com melhor desempenho em função de Toneladas Brutas Trafegadas (TBT) e/ou número de eixos trafegados;
- ciclo de lubrificação para cada uma das graxas.

A Figura 1 mostra o Auto de Linha e gabarito de lubrificação utilizado nos testes.



Figura 1. Visão interna e externa do Auto de Linha e gabarito de lubrificação.

Os trilhos permaneciam secos (sem lubrificação) dois dias antes da aplicação da nova graxa.

Antes da lubrificação era executado o teste de compatibilidade e bombeabilidade da graxa com o sistema de aplicação móvel (Auto de Linha). Este teste foi executado no Núcleo de Betim.

As Toneladas Brutas e Número de Eixos Trafegados eram monitorados através dos sistemas “Trains” e “Unilog”, os quais são sistemas e dados internos da empresa.

A partir do coeficiente de atrito MÉDIO acima de 0,25 (número adimensional), medido no canto de bitola, considera-se que a graxa perde seu desempenho de lubrificar a região crítica de contato roda/trilho.<sup>(2)</sup>

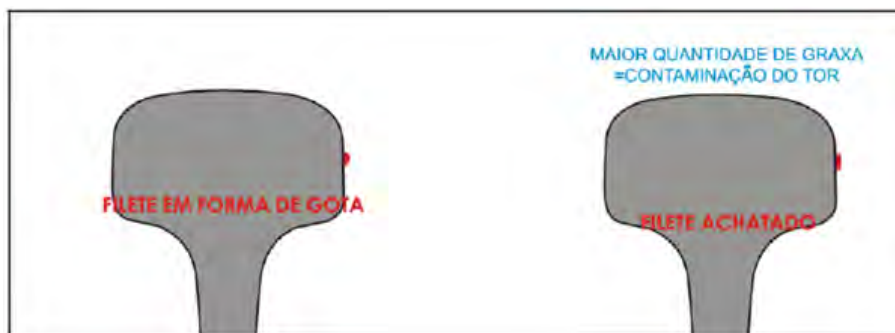
O coeficiente de atrito também foi medido no topo do trilho para investigar possíveis causas de subida da graxa para esta região, podendo ocasionar perda de tração da locomotiva.<sup>(2)</sup>

O desempenho das graxas depende de sua compatibilização com o sistema de lubrificação móvel, baseada na sua fluidez desde o reservatório até o bico injetor, sem prejudicar sua propriedade adesiva ao trilho.<sup>(2)</sup>

Portanto, todas as graxas foram submetidas, previamente, ao teste de bombeamento para verificar se elas podem ser aplicadas na via sem exigir uma pressão demasiada (< 900 psi) do sistema de lubrificação móvel.

### 2.2.3 Análise do filete da graxa na face de bitola

A graxa quando aplicada na Face de Bitola com um bico aplicador de diâmetro 0,8mm e uma velocidade de 35 km/h deve formar um filete de 1,5 mm de espessura e forma de gota (Figura 2). Caso o filete tenha uma espessura maior que 1,5 mm, significa que a quantidade de graxa distribuída está em excesso e a graxa migrará para o topo do trilho.



**Figura 2.** Geometria do filete ideal. Fonte: (2) Gerenciamento de Atrito – Apresentação realizada pela Ch Vidon no Workshop de Lubrificação de Trilhos da EFVM, Governador Valadares-MG. Julho/2012

### 3 RESULTADOS

As medições com o Tribômetro foram realizadas tanto no Canto de Bitola (*Gage Face*) quanto no Topo do Trilho (*Top of Rail*). A Figura 3 mostra como acontece o posicionamento da roda de aço inoxidável, o qual se desloca pelo canto de bitola ou pelo topo do trilho fazendo a leitura do coeficiente de atrito apresentado pelo trilho.



**Figura 3.** Utilização do tribômetro para a medição do coeficiente de atrito nos trilhos.

Antes da apresentação dos resultados para os trilhos lubrificados é preciso saber qual a faixa ideal de coeficiente de atrito (Figura 4).

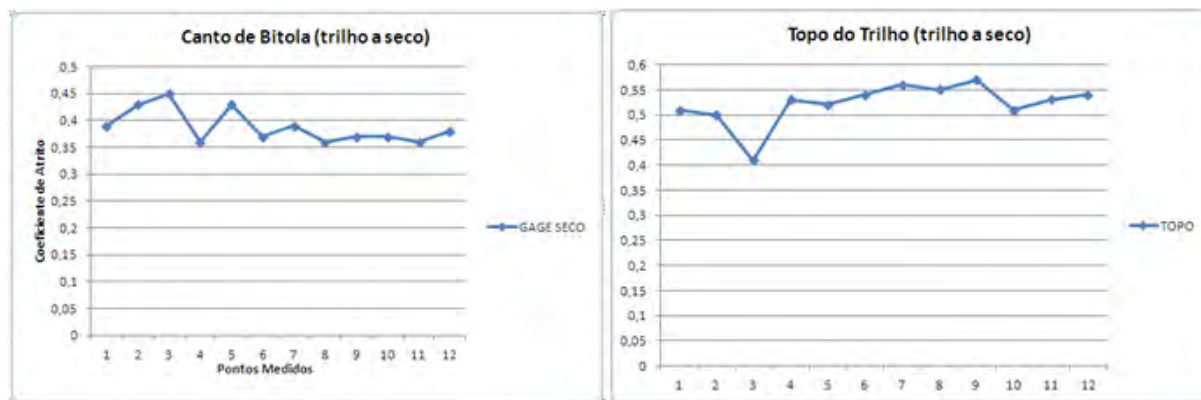


**Figura 4.** Canto de bitola deve estar com coeficiente entre 0,10 e 0,25 e o Topo entre 0,30 e 0,40. Fonte: (2) Gerenciamento de Atrito – Apresentação realizada pela Ch Vidon no Workshop de Lubrificação de Trilhos da EFVM, Governador Valadares-MG. Julho/2012.

### 3.1 Medições de Coeficiente de Atrito (Tribômetro)

Os gráficos que serão apresentados a seguir evidenciam os seguintes resultados:

- medição do coeficiente de atrito no Canto de Bitola e no Topo do Trilhos sem lubrificação (a seco), Figura 5;
- medição do coeficiente de atrito no Canto de Bitola (Figura 6);
- medição do coeficiente de atrito no Topo do trilho (Figura 7);
- coeficiente de atrito médio vs Toneladas Brutas Trafegadas (Figura 8); e
- coeficiente de atrito médio vs Número de Eixos Trafegados (Figura 9).



**Figura 5.** Canto ( $0,35 < \mu < 0,45$ ) e Topo ( $0,40 < \mu < 0,56$ ) do trilho apresentando-se totalmente fora das faixas de atrito ideal. Estas medidas foram feitas na mesma curva (CV 24 entre EVN-ECN) antes do início de aplicação das graxas em teste.

Os resultados obtidos no Canto de Bitola, também denominado também de *gauge corner*, (*Gauge 1* ao *Gauge 4/5*) para as quatro graxas estão mostrados nos gráficos apresentados na Figura 6. A linha em vermelho ressalta o valor de  $\mu = 0,25$ .

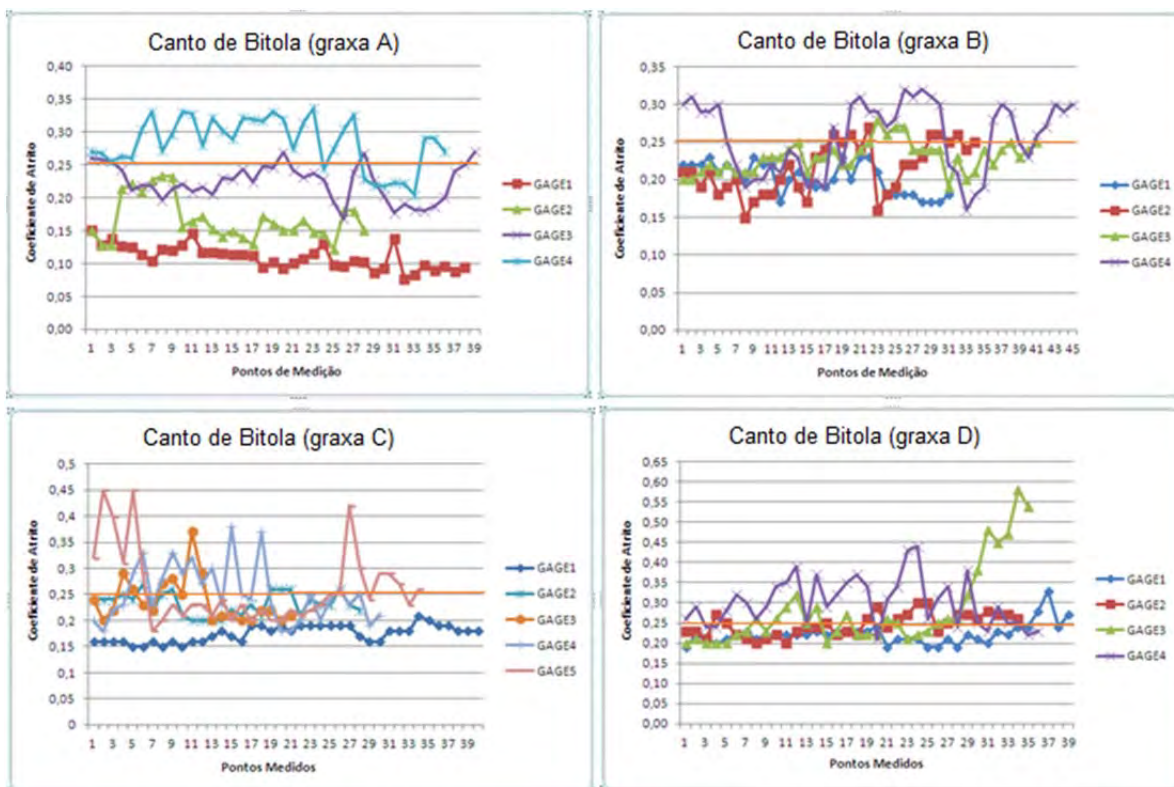


Figura 6. Resultados das medições no Canto de Bitola.

Os resultados obtidos no Topo do Trilho, também denominado também de *top of rail*, (Topo 1 ao Topo 3) para as quatro graxas estão mostrados nos gráficos apresentados na Figura 6. A linha em vermelho ressalta o valor de  $\mu$  entre 0,30 e 0,40.

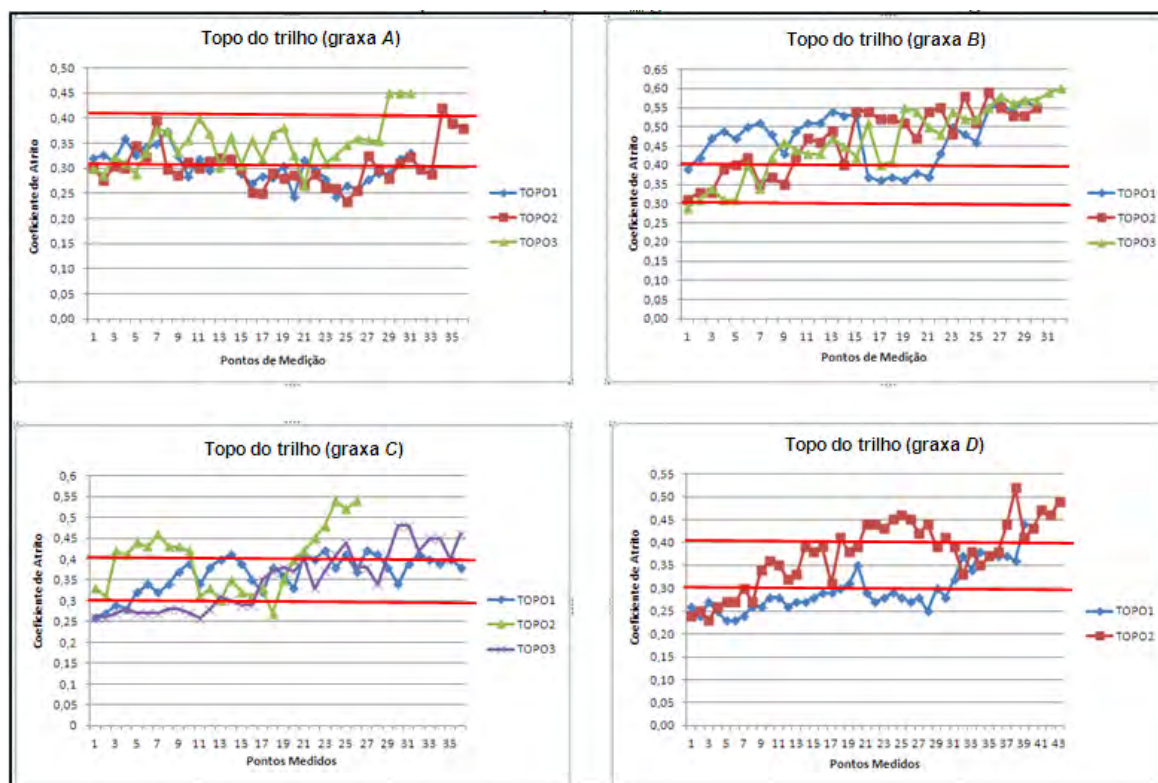


Figura 7. Resultados das medições no Canto de Bitola.



Os gráficos das Figuras 8 e 9 mostram o desempenho de cada uma das graxas em relação à Tonelada Bruta Trafegada e, também, do número eixos trafegados.

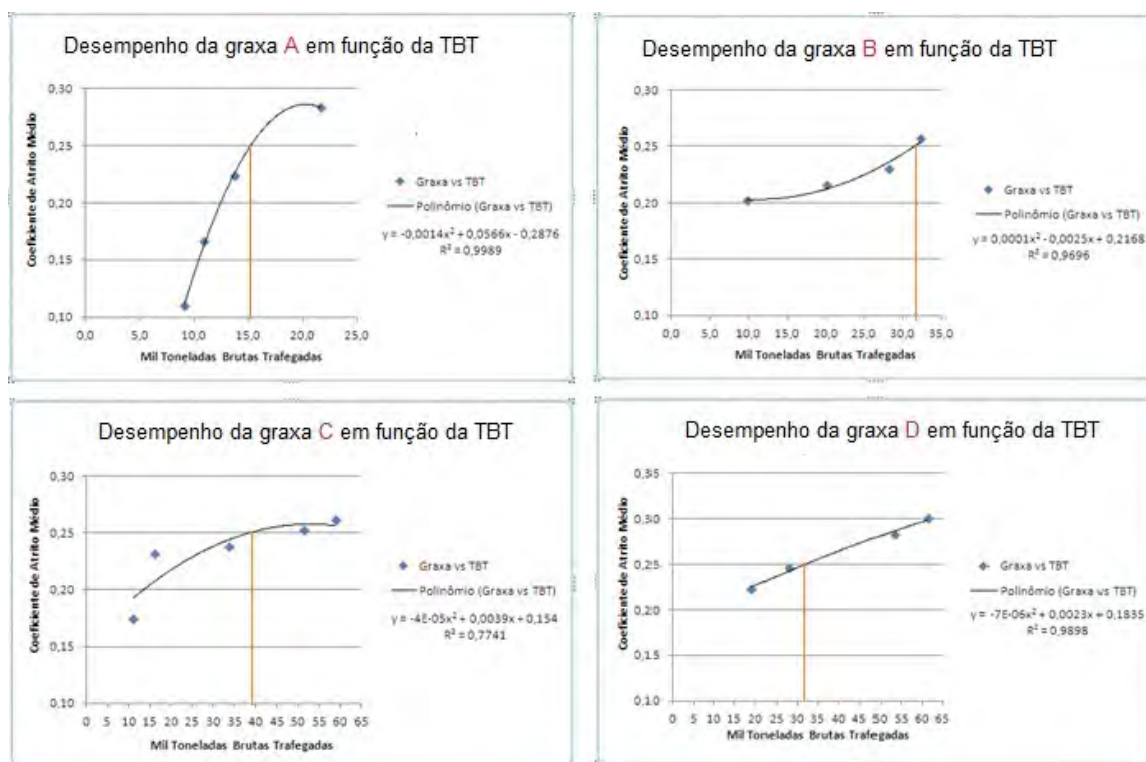


Figura 8. Desempenho das graxas em função da Tonelada Bruta Trafegada ( $10^3$ ).

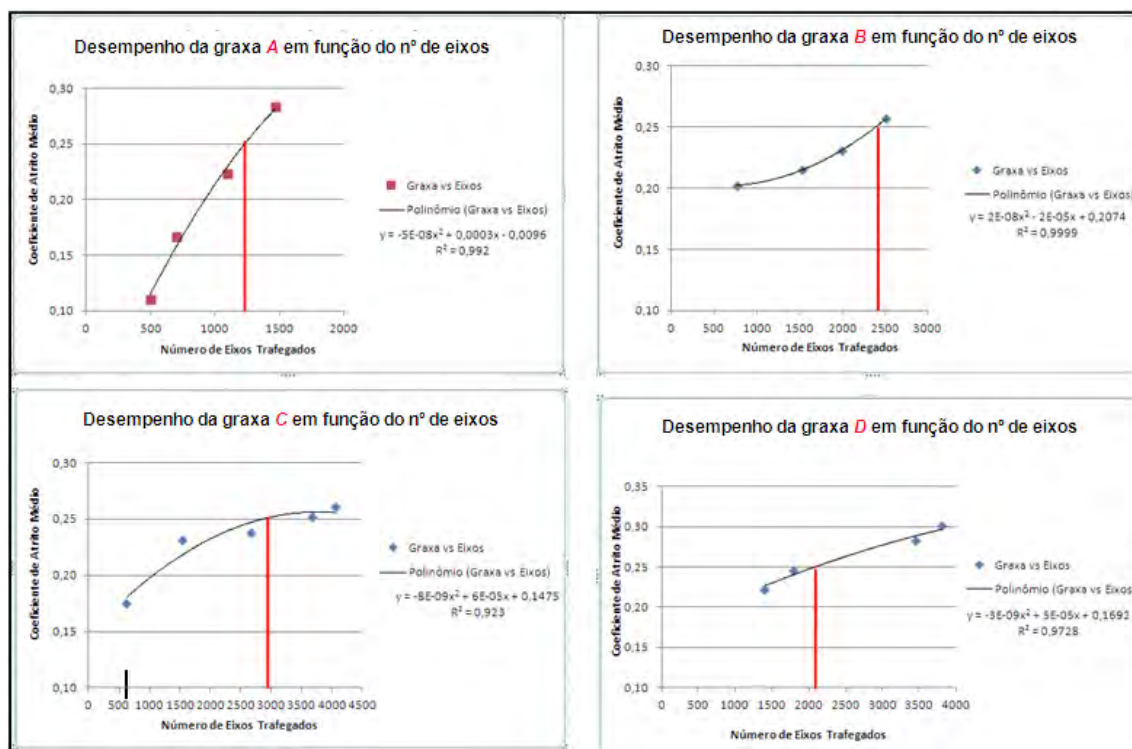


Figura 9. Desempenho das graxas em função do número de eixos trafegados.

## 4 DISCUSSÃO

Através dos resultados apresentados podem-se elencar as seguintes deduções:

- os trilhos a seco (sem lubrificação) apresentam coeficiente de atrito muito acima de 0,25 no canto de bitola e 0,40 no topo do trilho, propiciando o desgaste prematuro dos trilhos, aumento do risco de descarrilhamento dos trens e aumento do consumo de diesel das locomotivas (Figura 5);
- para os trilhos lubrificados os valores de atrito foram medidos no canto de bitola após a passagem dos trens, sendo obtidas quatro medições para cada graxa, exceto para a graxa “C” com cinco medições devido à mesma apresentar melhor desempenho (Figura 6);
- o GAGE1 refere-se à primeira medição realizada com o Tribômetro após a passagem de 1 a 3 trens depois da aplicação de graxa pelo Auto de Linha, assim como, as outras medições em sequência representam o comportamento das graxas após a passagem de outros trens até atingirem o valor de coeficiente de atrito médio de 0,26 ou maior (Figura 6);
- nota-se que os valores abaixo de 0,25 (número adimensional) no topo do trilho (Figura 7) indicariam que o filete de graxa posicionado na linha de bitola estaria sendo espalhado para o topo do trilho, podendo acarretar em perda de tração das locomotivas. Mas, o que foi detectado é que após a passagem do Auto de Linha, não se deve trafegar com outro veículo leve em razão da maior velocidade radial de rodas de menor diâmetro, ocasionando migração pontual de graxa para o topo, antes da passagem de pelo menos um trem;
- os resultados mostrados nas Figuras 6 e 7 servem de dados iniciais para a definição da graxa de melhor desempenho em função das Toneladas Brutas Trafegadas (TBT) ou em função do número de eixos trafegados mostrada nas Figuras 8 e 9, respectivamente;
- a graxa “C” apresentou melhor desempenho, sendo atingido o coeficiente de atrito de 0,25 com 38 mil TBT ou 3000 eixos trafegados;
- a graxa “A” apresentou pior desempenho, sendo atingido o coeficiente de atrito de 0,25 com 15 mil TBT ou 1250 eixos trafegados;
- através do desempenho encontrado para cada graxa é possível definir o ciclo de lubrificação móvel (Auto de Linha) para as curvas com raio inferior a 350m na VLI;
- para a graxa atualmente utilizada na VLI (graxa “A”) tem-se a necessidade de aplicar-la duas vezes por dia e para a graxa com melhor desempenho (graxa “C”) o ciclo é reduzido para uma vez ao dia; e
- o *ranking* de desempenho das graxas (lubrificantes) em função da TBT e o ciclo ideal para lubrificação móvel está mostrado na Tabela 4.

**Tabela 4.** Ranking de desempenho das graxas

Desempenho	Graxa	Ciclo de Lubrificação TBT (10 <sup>3</sup> )	Ciclo de Lubrificação Aproximado (Dias)
1 <sup>o</sup>	C	38	1
2 <sup>o</sup>	D	32	1
3 <sup>o</sup>	B	31,5	1
4 <sup>o</sup>	A	15	0,5

## 5 CONCLUSÃO

Diante dos resultados expostos, recomenda-se utilizar a graxa “C” (NLGI = 1) para ser aplicada nos trilhos da Via Permanente através dos Autos de Linha da empresa VLI em função do desempenho verificado.

Com a utilização desta graxa a vida útil dos trilhos e rodas será aumentada, tendo como ganhos:

- diminuição na substituição de trilhos da via permanente.
- diminuição na substituição de rodas de locomotivas e vagões.
- diminuição de ocorrências ferroviárias devido ao descarrilhamento dos trens.
- aumento da eficiência energética das locomotivas (diminuição no consumo de diesel).

Com relação a graxa “A” é recomendado que seja evitada para lubrificação de trilhos na VLI devido ao baixo desempenho observado nos testes.

## REFERÊNCIAS

- 1 SCHNEIDER, E.L.; Análise da vida remanescente de trilhos com defeitos transversais desgastados em serviço; UFRGS / PPGEM; Porto Alegre, 2005.
- 2 VIDON, F. O.; Gerenciamento de Atrito – Apresentação realizada pela Ch Vidon no Workshop de Lubrificação de Trilhos da EFVM; Governador Valadares-MG. Julho/2012.
- 3 SROBA, P; RONEY, M.; DASHKO, R.; MAGEL, E.; Canadian Pacific Railway’s Effective Lubrication Initiative, AREMA 2001 Conference and Exhibition, 2001.
- 4 CARMO, R.; VIDON, F. O.; EADIE, D. T.; OLDKNOW, K.; LOPES, L. A. S.; O Gerenciamento de atrito na MRS logística, 2012.
- 5 NLGI; National Lubricante Grease Institute. Disponível em: < <https://www.nlgi.org/>> Acesso em: 03 maio 2013.
- 6 FIGUEIREDO, A. C. A. Lubrificantes Especiais, 2012.