



AEAMESP



“21ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA”

“2º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS”

Categoria 3: Tecnologias de implantação, operação e manutenção de sistemas de transporte – Manutenção da Via Permanente

Título: Guia para as melhores práticas de manutenção de trilhos:

Desenvolvimento da Gestão de Atrito na Estrada de Ferro Vitória Minas.

Objetivo

A tecnologia do gerenciamento do atrito vem constituindo uma ferramenta eficaz para controlar os níveis do coeficiente de atrito na interface roda-trilho. O atrito é controlado por meio da aplicação de lubrificantes na face do boleto e modificadores de atrito no topo do trilho, através de equipamentos fixos instalados ao lado da via permanente. Este trabalho debaterá os testes realizados com os lubrificantes e a importância na definição dos locais de instalação. Foram instalados oito lubrificadores na EFVM e neste estudo foi utilizado um deles com o objetivo de testar os lubrificantes. Vale ressaltar que o teste foi um projeto colaborativo entre EFVM, L.B. Foster Rail Technologies (LBF-RT) e CH Vidon para avaliar os benefícios do gerenciamento de atrito e estabelecer uma análise de custo-benefício e o impacto da tecnologia em pequena escala.



AEAMESP



1. Introdução

Os trilhos são usualmente removidos quando se tornam tão desgastados ao ponto de atingirem o limite percentual de desgaste de seu boleto. Geralmente, os trilhos em tangente e na parte interna da curva sofrem maior desgaste no topo do boleto, enquanto trilhos no lado externo da curva sofrem maior desgaste na lateral interna do boleto. Para minimizar o desgaste, algumas técnicas são utilizadas, entre elas o gerenciamento do atrito e o esmerilhamento.

O conceito de gerenciamento do atrito é o processo de controlar o coeficiente de atrito existente no contato entre roda e trilho para atingir valores mais apropriados para a operação ferroviária, além dos melhores índices de desgaste, forças laterais em curvas e economia de combustível (SROBA, 2001).

A lubrificação de trilhos com aplicação de graxa diretamente na face do boleto dos trilhos ferroviários tem sido usada por mais de 100 anos, de acordo com a literatura (EADIE, 2010).

O objetivo principal desta prática é aumentar a vida útil dos trilhos nas ferrovias de transporte de carga.

Nos últimos 25 anos a indústria ferroviária tem desenvolvido estudos sobre gerenciamento de atrito. Os conceitos utilizados evoluíram, assim como os materiais, equipamentos de aplicação e mensuração de resultados. Foram desenvolvidos conceitos de controle de atrito no topo do trilho (*Top of Rail – TOR*) em conjunto com a lubrificação na face de boleto (*Gage Face – GF*; Figura 1), Essa metodologia, conhecida como gerenciamento de atrito, tem

atingido resultados consideráveis em ferrovias, principalmente no Canadá e nos Estados Unidos.



Figura 1: Exemplo de lubrificação na face da bitola

A principal diferença entre a lubrificação “GF” e o controle do atrito “TOR” é o uso do modificador de atrito (*Friction Modifier – FM*) para a aplicação no topo do trilho, no lugar da utilização dos lubrificantes convencionais, como graxa ou óleo, para aplicação na GF. Teoricamente, o lubrificante pode ser usado para aplicações TOR, mas estes produtos há dificuldade de controlar o coeficiente de atrito desejável.

De acordo com Eadie *et al.* (2002), os principais benefícios do gerenciamento de atrito na interação entre roda e trilho são:

- Redução do desgaste de trilhos e rodas (incluindo a redução da corrugação);
- Redução de ruído e vibração; e.
- Economia significativa de energia (combustível).

Reiff, R. (2007) afirma que Benefícios adicionais devem ser considerados na redução dos defeitos de fadiga por contato ou “*Rolling Contact Fatigue (RCF)*”, como *head checking* e



AEAMESP



spalling. Esta redução tem sido demonstrada nos programas de teste das ferrovias norte-americanas, cujos princípios do TOR são usados eficientemente na diminuição da geração de RCF. Situações com altos valores de coeficiente de atrito e de carregamento resultam na formação de trincas. O controle da área de contato e do atrito reduzem a formação do RCF. É importante ressaltar que a utilização de lubrificantes líquidos em trilhos com defeitos pré-existentes podem acelerar sua deterioração.

Estima-se que no Brasil existam mais de 250 lubrificadores em aproximadamente um mil quilômetros de ferrovias, sendo necessário o conhecimento em gerenciamento de atrito, vale ressaltar que a maioria dos lubrificadores está instalada nas linhas operadas pela MRS Logística.

As reduções de desgaste de trilho com aplicação do TOR e GF têm sido substanciais em ferrovias da Canadian Pacific (EADIE *et al.* 2003), Canadian National (EADIE *et al.*, 2005) e Union Pacific (REIFF *et al.*, 2005). Em geral, as diminuições típicas de taxas de desgaste (vertical e na face da bitola) variam de 40% a 60%.

Reduções no desgaste de trilho e roda têm sido incorporadas nas análises de custo-benefício, baseadas na extensão da vida do ativo. A maioria dos estudos de caso é confidencial, mas pode-se citar uma análise econômica baseada na aplicação do TOR em um *test-site* da Union Pacific, que foi publicada por Guins (2005). O resultado do projeto foi um valor presente líquido de US\$ 366.000,00 e taxa de retorno de 90% utilizando um horizonte de 10 anos, baseado na aplicação em uma modesta área de 9,6 quilômetros. Quando estendida para uma zona de 32 quilômetros, o valor presente líquido e a taxa de retorno seriam US\$ 6.999.000,00 - US\$ 1.300.000,00 e 70% - 90%, respectivamente.

A Canadian Pacific também construiu um estudo de caso em colaboração com a NRC-CSTT. Neste foram obtidos resultados para uma aplicação em 1400 quilômetros, especificamente entre Calgary, Alberta, Vancouver e British Columbia. Os benefícios consideraram incluir projeções de vida de trilho baseadas no estudo de desgaste dos trilhos, como também inferir a extensão da vida útil do trilho. Em suma, os benefícios incorporados foram reduções no consumo de combustível, no desgaste de trilho e no desgaste de roda.

Os resultados do estudo de caso da Canadian Pacific foram apresentados na “International Heavy Association Conference em 2009”, considerando o escopo de manutenção, abastecimento e monitoramento de ao menos 200 lubrificadores de face do boleto com um total de economia de US\$ 9,9 milhões e uma expectativa de *payback* em dois anos.

Baseados nos dados históricos da vida útil dos trilhos das ferrovias *Heavy Haul* Classe 1 da América do Norte, os valores aproximados da Tabela 1 são resultados de uma estratégia eficaz de lubrificação na face interna do boleto.

Tabela 1: Expectativa média de vida dos trilhos (*Million Gross Tons-MGT*)
(GUINS, 2005)

Raio de curva (°)	Ferrovias Heavy Haul da America do Norte com estratégias de esmerilhamento, lubrificação GF e TOR	
	Expectativa de vida (MGT)	
	Trilho Interno	Trilho Externo
Tangente – 1°	1900	1320
1° – 2°	1750	1220
2° - 3°	1600	1120
3° - 4°	1460	1020
4° - 5°	1320	920
5° - 6°	1170	820

6° - 7°	1030	720
7° - 8°	880	610
8° - 9°	740	510
9° - 10°	590	410

É preciso enfatizar que estes valores são específicos para uma determinada seção, metalurgia, condições operacionais, perfil roda/trilho, esmerilhamento, lubrificação e práticas de controle de atrito.

2. Descrição do problema

A Estrada de Ferro Vitória Minas (EFVM) chegou a implantar projetos de lubrificação de trilhos, cujo conceito era diferente do gerenciamento de atrito, e diversos foram os motivos para a retirada destes lubrificadores de operação. A partir da década de 70 utilizaram-se lubrificadores mecânicos fixos e na década de 90, foram utilizados lubrificadores móveis embarcados em veículos ferroviários, mas com o aumento do tráfego de trens o ciclo destes veículos tornou-se ineficiente e houve a necessidade da implantação de um novo projeto.

Em 2010, a EFVM retomou o projeto com o objetivo de minimizar o desgaste e aumentar a vida útil de rodas e de trilhos, bem como promover redução de ruídos e diminuição de risco de descarrilamento. Algumas etapas foram realizadas para definir os parâmetros principais para o sucesso do projeto, sendo:

- Determinação do modelo de lubrificador a ser adotado;
- Testes dos lubrificadores e lubrificantes;
- Planejamento de instalação e operação dos lubrificadores.



AEAMESP



Para o teste dos lubrificantes, de acordo com Sroba *et al.* (2001), três características são importantes neste tipo de produto: lubrificidade, ou capacidade do lubrificante em reduzir o atrito; adesividade; uma medida do tempo (ou número de passagens de roda, ou Milhão de Tonelada Bruta (MTBT)), em que o lubrificante é capaz de manter a sua lubrificidade; e, por último, a bombeabilidade, que tem relação com a capacidade do lubrificante ser continuamente aplicado na interface roda/trilho.

3. Metodologia do teste

A amostra de graxa foi inserida no reservatório do lubrificador. No quarto dia após o abastecimento do lubrificador, o COF nas curvas adjacentes foi avaliado com o emprego de tribômetro e relacionado com a distância do ponto de aplicação e tráfego de trens para cada amostra de graxa. O tribômetro (figura 2), fabricado pela L.B. Foster/Salient Systems, mede a força de atrito nos trilhos e automaticamente calcula o COF. O propósito principal do equipamento é avaliar a lubrificação de trilhos ferroviários. Em cada ponto de medição é realizada a leitura do COF na face do boleto e nos topos dos trilhos externo e no topo do trilho interno. A medição no topo do trilho garante que a graxa não esteja migrando para essa região, eliminando o risco de patinação das locomotivas. A leitura do COF na face do boleto é efetuada no ângulo de 70° do boleto do trilho, ou seja, na região de maior sollicitação, ou canto do boleto.



Figura 2: Medição do COF no canto do boleto no trilho externo das curvas

O COF foi avaliado em sete curvas no sentido exportação (quilometragem decrescente) e, posteriormente, relacionado com a quantidade de trens passantes pelo local. As leituras do COF foram realizadas em pelo menos 30 metros da seção da curva, para fins de análise estatística.

O COF foi o fator preponderante na avaliação das graxas. A análise visual do filme de graxa na face/canto do boleto também será considerada.

Seguindo recomendação do manual da AREMA 2010 (Seção 4.11.3.2), o COF deverá estar compreendido entre os valores abaixo e representados na figura 3:

- • Lubrificação na face do boleto (LFB) o coeficiente de atrito (COF) deve ser $\mu < 0,20$;
- • COF no topo do trilho (TOR) deve ser $0,30 \mu - 0,40 \mu$;
- • A máxima diferença entre o COF do trilho direito e do trilho esquerdo não deve ser superior a 0,1.

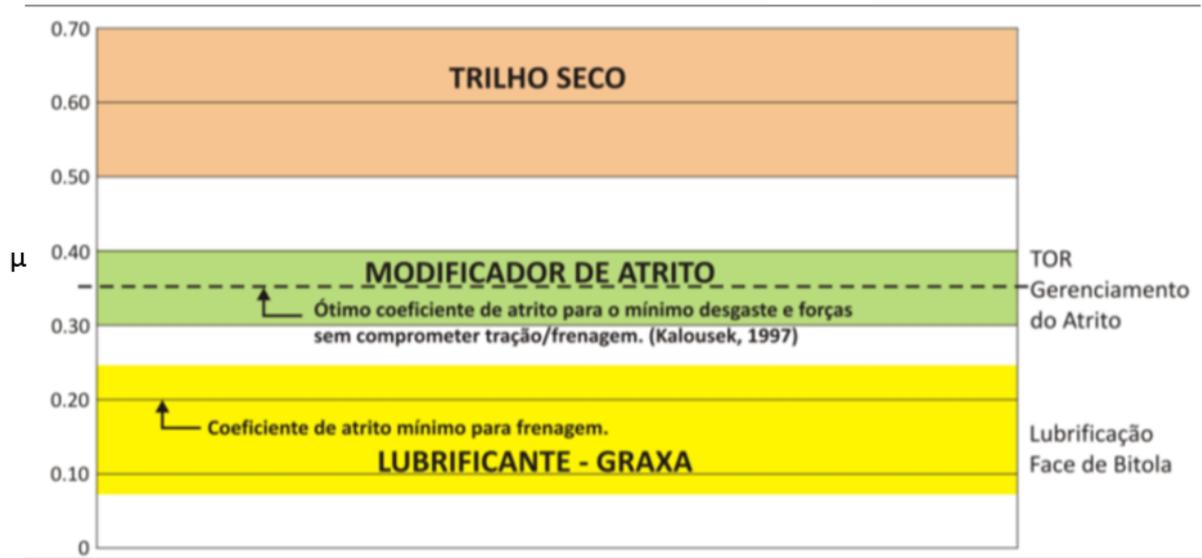


Figura 3: Limites de controle do COF. Railway Track and Structure, “Modifying and Managing Friction”, Joe Kalousek, 1997.

A experiência de campo em outras ferrovias tem mostrado que o desgaste de trilho é bem controlado quando o COF no canto do boleto é $< 0,30$. Uma característica primordial para a lubrificação da face do boleto é o *carrydown*, cuja análise objetivo é a verificação da distância que a graxa é levada, o qual será demonstrado uma análise comparativa entre os três lubrificantes testados.

3.1. Local dos Testes

Os testes foram realizados em Governador Valadares – MG, na EFVM, entre os km 325 e km 314, entre Housing 48/49.

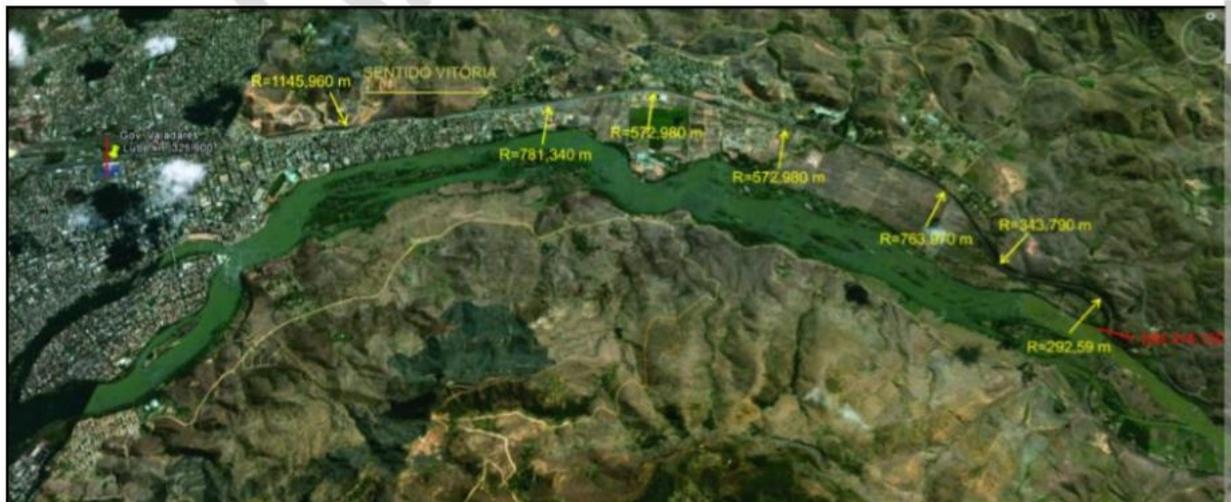


Figura 4: Curvas onde foi avaliado o COF

As características geométricas das curvas são apresentadas na tabela 2 abaixo, sendo importante considerar o fato de que se têm curvas com diferentes raios.

Tabela 2: Características geométricas das curvas onde será avaliado o COF

Quilometragem		Extensão (m)	C/T	Lado curva	Grau	Raio (m)	Flexão (m)	Superelevação
Inicial	Final							
314,204	314,830	626	C	E	3,55	292,590	43	65
315,269	315,693	424	C	D	3,20	343,790	36	55
316,151	316,903	752	C	E	1,30	763,970	16	25
317,984	318,071	87	C	E	2,00	572,980	22	33
319,437	319,768	331	C	E	2,00	572,980	22	33
321,777	321,979	202	C	D	1,28	781,340	16	24
323,787	324,038	251	C	D	1,00	1.145,960	11	16

3.2. Lubrificador hidráulico

O princípio de funcionamento básico do lubrificador utilizado (L.B . Foster Hydraulube 761) é a conversão da energia gerada pelas rodas do trem que passam em pulsos de energia hidráulica. Os pulsos são direcionados a um motor de engrenagem, através de um circuito hidráulico fechado.

O lubrificador possui duas barras aplicadoras, uma instalada em cada fila de trilho. As rodas passantes sobre as barras aplicadoras pegam a graxa e vão distribuindo-a ao longo da via, através do contato flange da roda e face do boleto do trilho. Teoricamente, em tangentes não existe o contato flange da roda e face do boleto do trilho e a graxa não é consumida, enquanto em curvas onde o contato flange e face do boleto existem, a graxa é consumida. Esse consumo de graxa está relacionado a vários fatores, entre eles, raio da curva, geometria da via, coeficiente de atrito e contato roda-trilho.

3.3. Características das graxas avaliadas

As características das graxas avaliadas fornecidas pelos fabricantes e estão relacionadas na tabela 3 abaixo.

Tabela 3: Características das graxas avaliadas

TESTE ASTM	DESCRIÇÃO	G. Beslux		
		Transrail 6042	Biogrease M-1/G	Gadus S2 V220AD 2
	Grau NLGI	2	1	2
D-217	Penetração Trabalhada	285	310/340	265-295
D-445	Viscosidade Cinemática (Óleo Base)			
	cSt @ 40° C	1500	n/d	220
	cSt @ 100° C	51,5		18
D-2265		>260	100	175
D-1831		7	n/d	
D-2783		800	n/d	
D-4049		5	n/d	
Espressante		Inorgânico Sintético	Sabão Cálcio	Sabão Cálcio Lítio3
Biodegradabilidade		Sim	Sim	Não



AEAMESP



3.4. Considerações quanto às características das graxas

A graxa Transrail 6042 possui grau NLGI adequado à aplicação no contato roda-trilho, porém a viscosidade cinemática do óleo-base 1500 cSt @ 40°C pode acarretar incompatibilidade com o lubrificador hidráulico, pois em temperaturas inferiores a 40°C a graxa torna-se espessa e requer maior capacidade de bombeamento. Com a utilização de um óleo-base mais viscoso, conseqüentemente a capacidade *Four Ball* da graxa será maior, devido ao aumento da capacidade do óleo-base em resistir a forças de cisalhamento, ou seja, maior viscosidade fornece ao lubrificante um aumento da resistência contra o rompimento do óleo-base.

A graxa G. Beslux Biogrease M-1/G apresenta temperatura de trabalho incompatível com a interface roda/trilho. De acordo com as características técnicas fornecidas pelo fabricante, sua temperatura de trabalho é -20°/60°C e, em situações com aplicação de freio e rampas descendentes, a graxa depositada no flange da roda será consumida rapidamente.

A graxa Gadus S2 V220AD 2 possui características compatíveis com a aplicação, uma vez que a viscosidade cinemática do óleo-base 220 cSt @ 40°C indica que a graxa pode ser aplicada em diferentes condições de temperatura, sem dificuldade de bombeamento.

3.5. Desempenho da graxa quanto ao coeficiente de atrito

Conforme citado anteriormente, o coeficiente de atrito foi avaliado em sete curvas posteriores ao lubrificador, no sentido exportação, após a passagem de trens carregados. O resultado das medições de todas as graxas está relacionado na figura 5 abaixo.

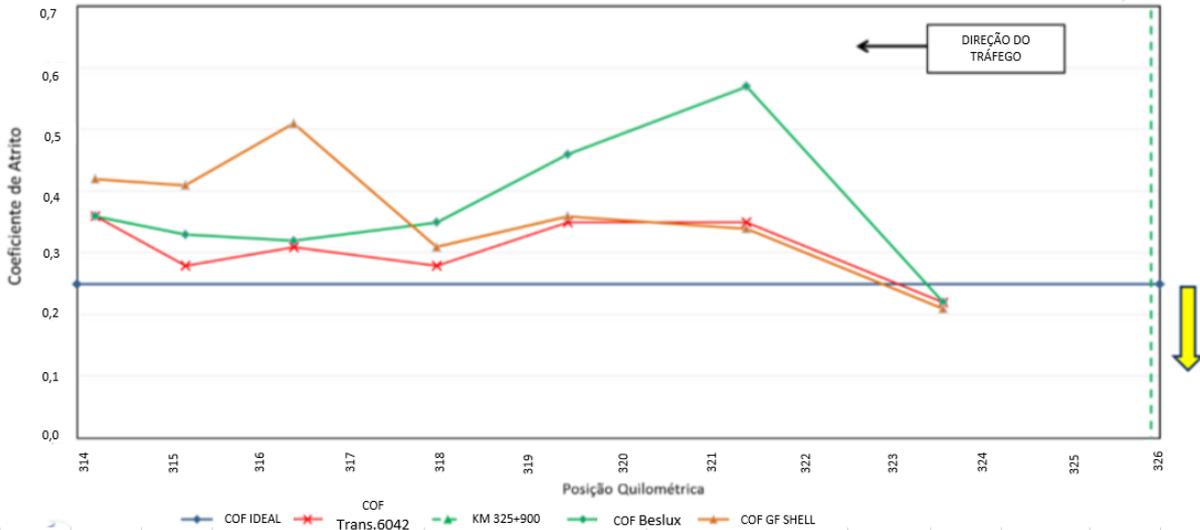


Figura 5: Avaliação do COF para os três lubrificantes nas sete curvas de teste

Seguindo a recomendação da AREMA, todas as graxas testadas só conseguiram manter o COF dentro do limite na primeira curva após o lubrificador. Essa situação peculiar ocorre devido ao contato roda-trilho na EFVM, onde em seções tangentes de via existe o contato entre face do boleto do trilho e flange da roda, tipicamente no trilho alto (externo) das curvas (Figura 6).

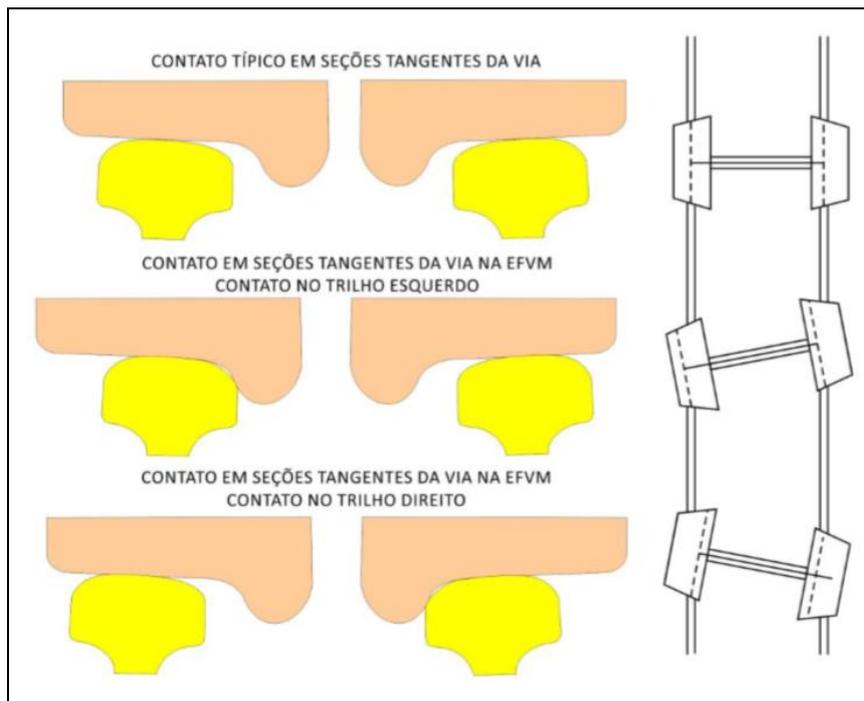


Figura 6: Contatos roda-trilho na tangente na EFVM

O COF teórico limite para proteção do canto do boleto do trilho é ser menor ou igual a 0,25, porém a experiência prática indica que até um valor de 0,30 o canto do boleto ainda possuiria alguma proteção.

Analisando o COF médio nas curvas monitoradas, a graxa da Transrail 6042 apresentou um resultado ligeiramente melhor quanto à lubricidade nas condições de via da EFVM, porém vale destacar que todas as graxas apresentaram COF médio acima do COF teórico (0,25) e acima do COF prático (0,30) (Figura 7).

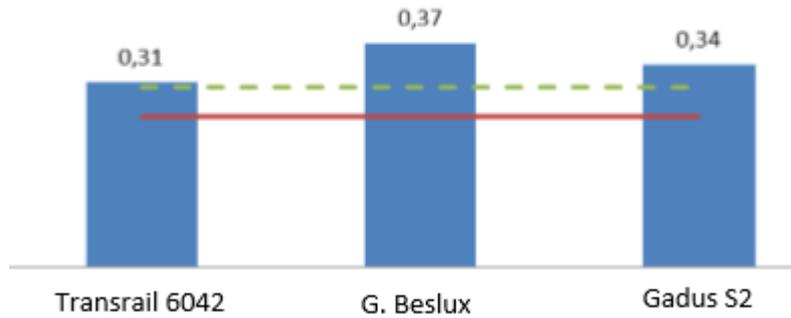


Figura 7: COF médio no canto do boleto das curvas

Como existe contato de face do boleto em tangente, durante os testes foi medido o COF em três pontos na tangente em que o lubrificador estava instalado (Figura 8). As medidas comprovam o contato lateral e o consumo de graxa em seções de via tangente, sendo que todas as graxas apresentaram o COF baixo na tangente.

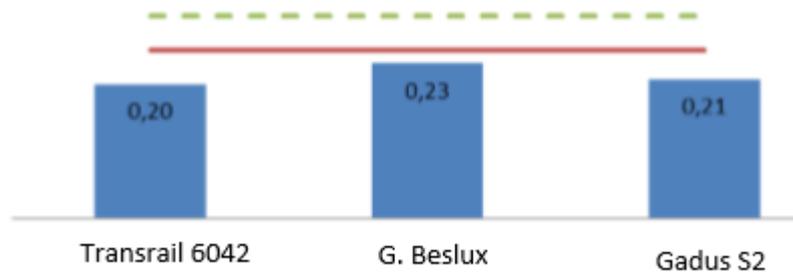


Figura 8: COF médio no canto do boleto em tangentes

Considerando as leituras do COF nas curvas e nas tangentes têm-se os resultados indicados na Figura 9 abaixo, os quais são uma média das duas situações.

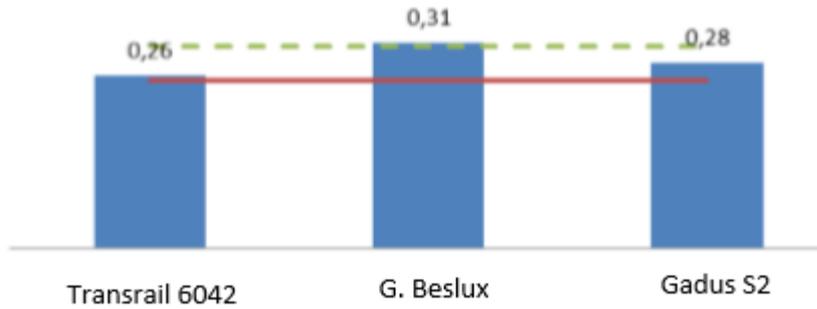


Figura 9: COF médio no canto do boleto

No geral, verifica-se que as graxas da Transrail 6042 e da Gadus S2 V220AD 2 apresentaram COF dentro do limite prático (0,30). Isto significa que apesar do COF não ser o recomendado pela AREMA, o mesmo ainda fornece alguma proteção à face do boleto do trilho.

3.6. Relação COF x Carrydown

Além da redução do COF, uma característica primordial para a lubrificação da face do boleto é o *carrydown*. O *carrydown* é a distância que a graxa é levada, a partir do ponto de aplicação, ao mesmo tempo em que mantém baixo COF (Figura 10).

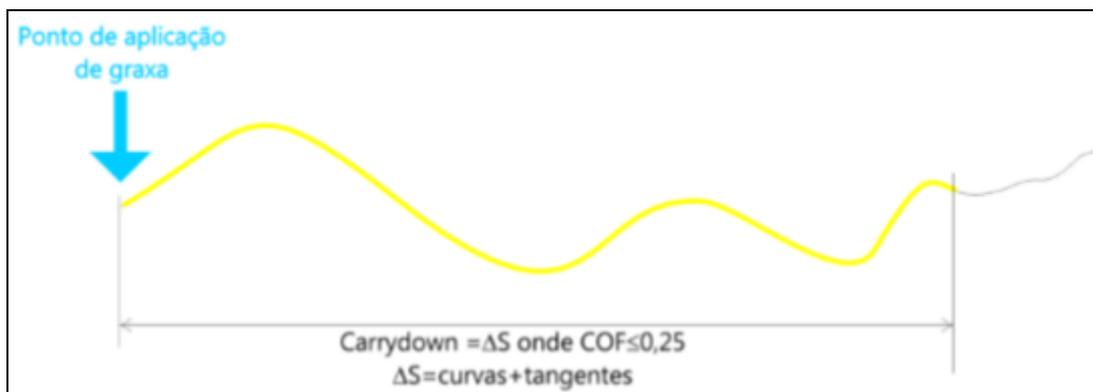


Figura 10: Definição de *carrydown*

A Figura 11 apresenta o *carrydown* das três graxas analisadas, além do valor relativo a um lubrificador, para fins de comparação. O *carrydown* de todas elas foi de 2,4 km, sendo 94% desta distância em seção de tangente da via.

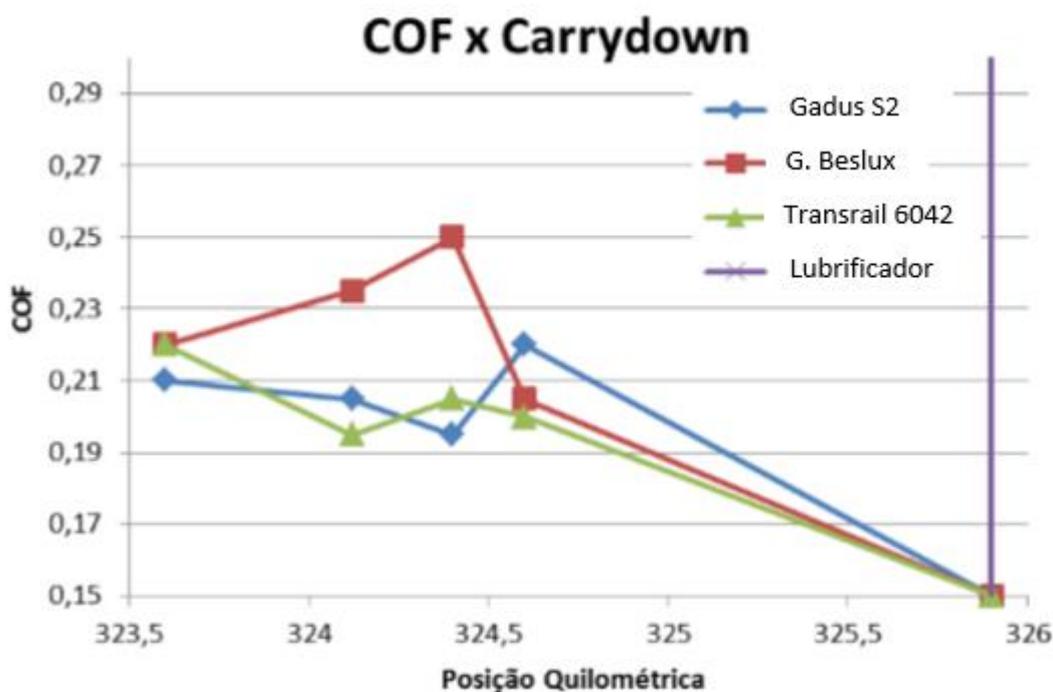


Figura 11: *Carrydown* das graxas avaliadas

3.7. Tráfego de trens durante a avaliação do COF

Durante a avaliação do COF foi seguida a premissa da passagem de pelo menos um trem carregado de minério, no sentido exportação, antes das medições. A Figura 12 apresenta o teste da graxa Transrail 6042 , onde todas as medições foram realizadas após a passagem de três trens carregados. Também é indicado o valor de um lubrificador, para fins de comparação.

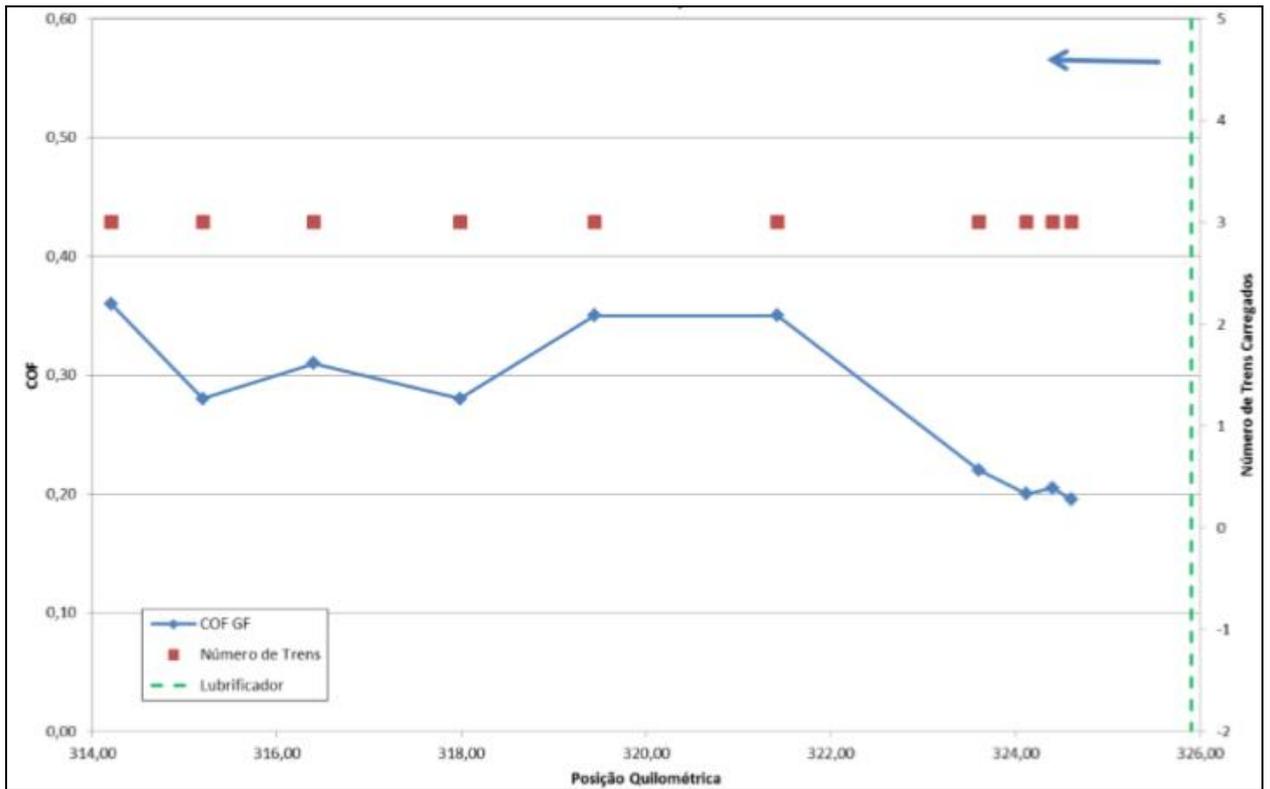


Figura 12: Relação COF x Posição Quilométrica x Trens Carregados no teste da Transrail 6042

No teste da graxa da G. Beslux Biogrease M-1/G a maioria das medições foi realizada após a passagem de trens carregados. A exceção foi uma medição feita após a passagem de um trem vazio, mas este fato parece não ter interferido no resultado (Figura 13), já que a medição após a passagem de um trem carregado apresentou um valor do COF maior. A Figura 13 também indica o valor de um lubrificador, para fins de comparação.

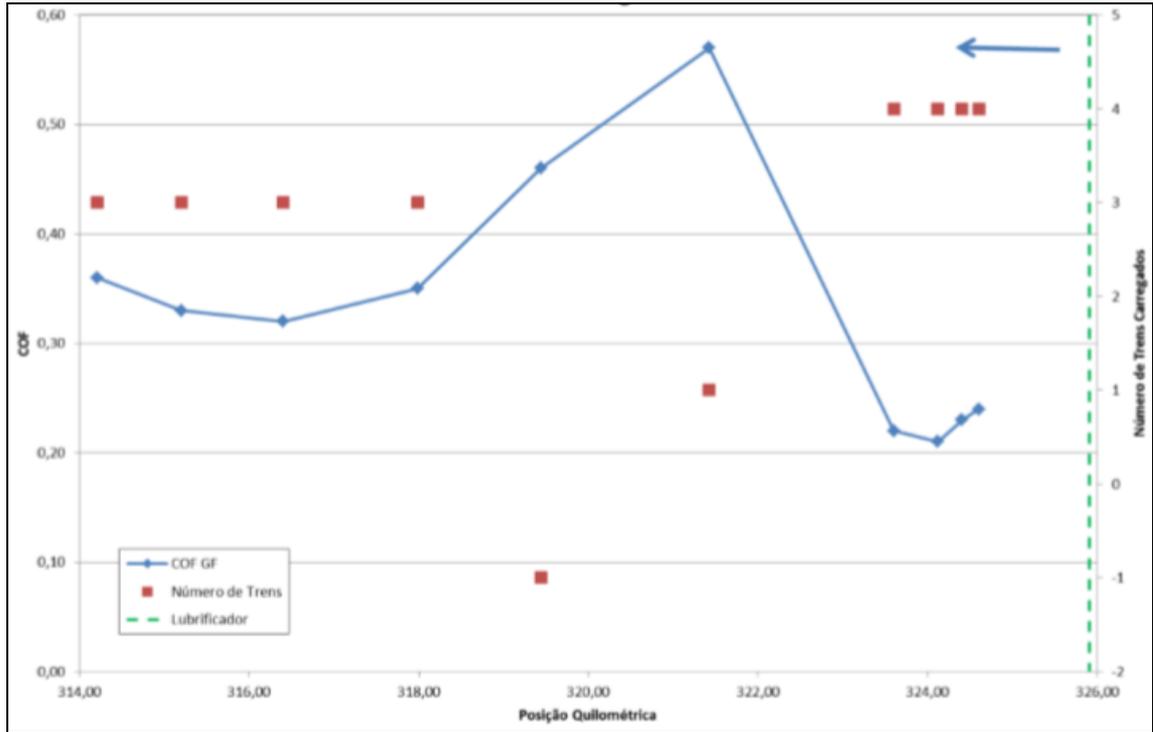


Figura 13: Relação COF x Posição Quilométrica x Trens Carregados no teste da G. Beslux Biogrease M-1/G

No teste da graxa da Gadus S2 V220AD 2 todas as medições foram realizadas após a passagem de trens carregados, sendo os resultados apresentados na Figura 14, a qual também indica o valor de um lubrificador, para fins de comparação.

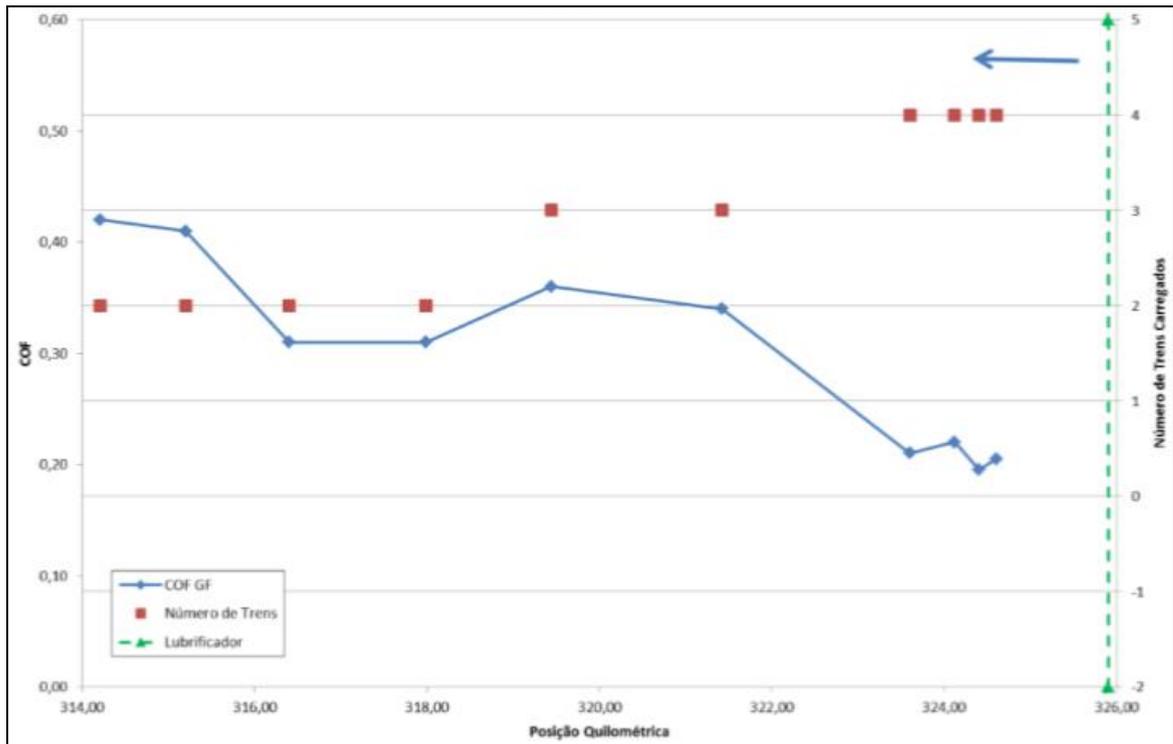


Figura 14: Relação COF x Posição Quilométrica x Trens Carregados no teste da Gadus S2 V220AD 2 .

Analisando os gráficos acima, pode-se concluir que o teste da graxa Transrail 6042 foi realizado em condições mais homogêneas que os dos outros fabricantes, e que essa condição pode ter influenciado ligeiramente nas leituras do COF.

4. Inconsistências no contato roda-trilho que interferem na lubrificação da face do boleto dos trilhos

4.1. Influência do contato roda-trilho na lubrificação

Existem três opções (Figura 15), para considerar quando do exame do contato da roda do trilho e dependendo do tipo de contato poderá existir ou não o filme de lubrificante da face do boleto, o tamanho e espessura do filme também são definidos pelo tipo de contato.



Figura 15: Tipos genéricos de contato roda-trilho

4.2. Dois pontos de contato

A existência de dois pontos de contato (Figura 16) está associada a um grande deslizamento e desgaste se a força do flange e o *creepage* lateral estão presentes, no caso de curvas. Sob essas condições o flange se desgasta aceleradamente, até sua forma se conformar com a forma do trilho. O contato é tão severo que chega a haver escoamento de material no flange da roda. Assim, sob essas condições, o flange da roda frequentemente elimina qualquer filme de lubrificante aplicado na zona de contato. Essa situação de dois pontos de contato é predominante na via da EFVM.

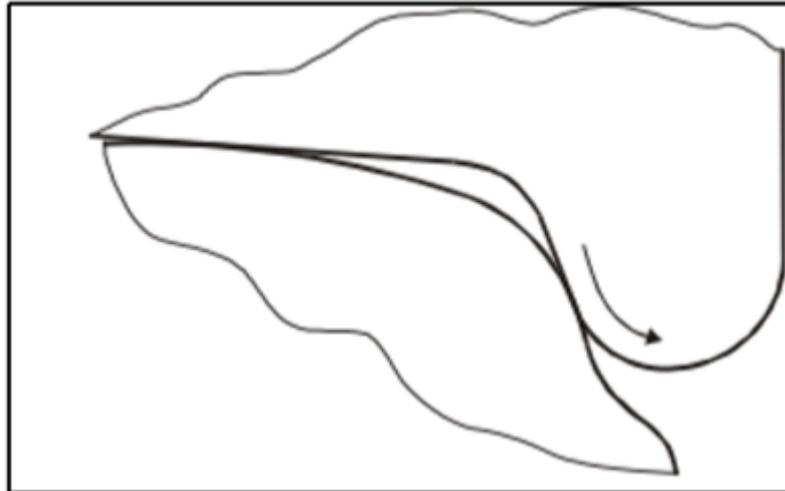


Figura 16: Dois pontos de contato.

É relatado que a ocorrência de dois pontos de contato é menos prejudicial para o trilho, pois o carregamento vertical é levado para longe do canto do boieto (Figura 17). Esta prática é muito usada em trilhos com defeitos de RCF no canto do boieto, devido à manutenção deficiente, mas é limitada em função da diferença de raio entre os rodeiros e o momento de inscrição de curva disponível.



Figura 17: Exemplos de dois pontos de contato encontrados em trilhos externos de curvas na EFVM

Cabe mencionar que a existência de dois pontos de contato na EFVM é a prática de esmerilhamento assimétrico dos perfis.

4.3. Um ponto de contato

Um ponto de contato (Figura 18 e 19) talvez seja a situação mais prejudicial para os veículos e para a via, pois altas tensões ocorrem sob extremos deslizamentos, resultando na fadiga do canto do boletoboleta. Em sua forma mais amena, o ponto de contato único produz *head checks* e, na pior situação, provoca *spalling*.

O ponto único de contato ocorre quando o perfil da roda e do trilho for projetado incorretamente, quando o topo do trilho apresenta excessivo amassamento e quando a roda apresenta excessivo desgaste na banda de rodagem.

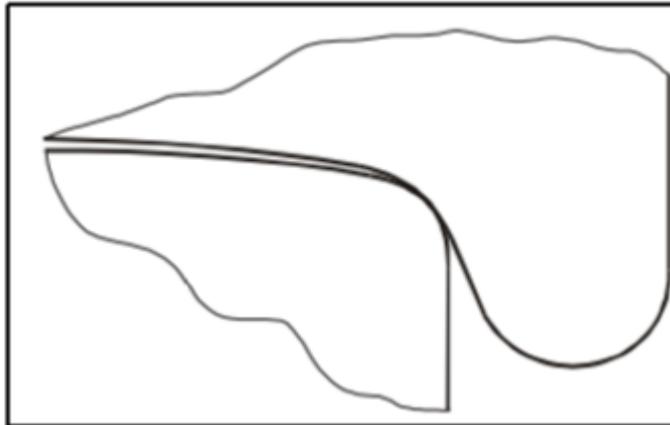


Figura 18: Um ponto de contato

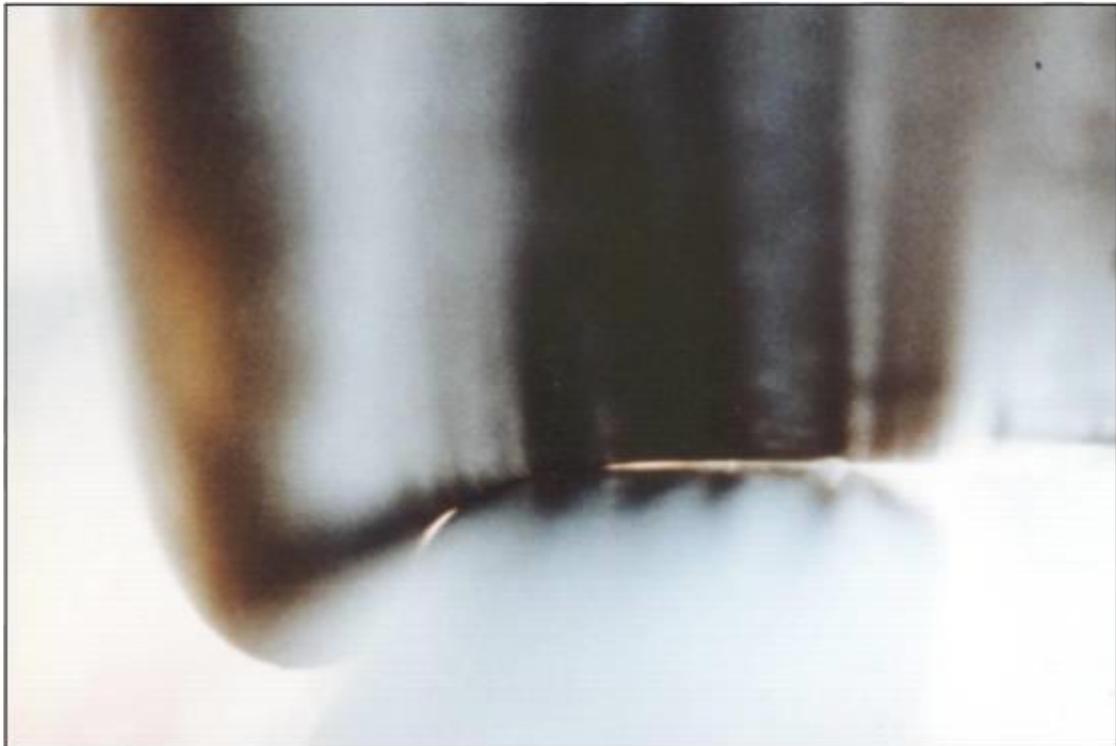


Figura 19: Exemplo de contato por um ponto

4.4. Contato Conformal

O contato conformal (Figura 20) é observado quando o desgaste do canto do boleto e do flange da roda leva à formação de um perfil comum havendo extremo contato do flange no canto do boleto em curvas.

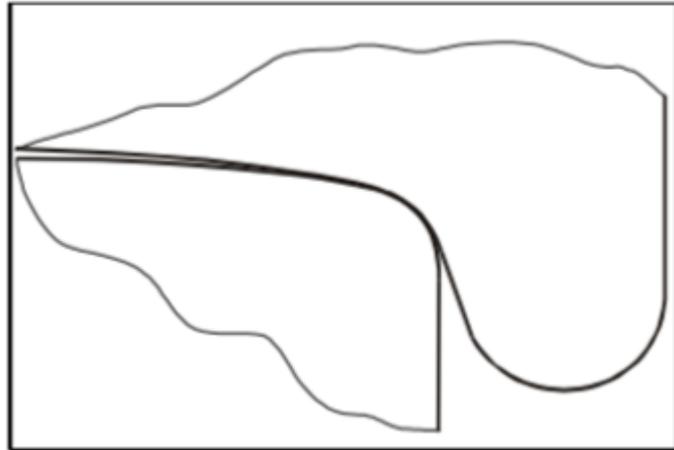


Figura 20: Contato conformal

Neste caso, pouco se conhece sobre as complexas condições de contato que mantêm as formas do contato da roda e do trilho similares. A forma similar do perfil da roda e do trilho adquirida é mantida e a vida útil em termos de fadiga é aumentada.

A condição de contato conformal é ideal para a lubrificação da face do boleto (Figura 21), pois como a área de contato é maior, a pressão de contato é distribuída e a solicitação de esforços no filme de graxa é menor.



Figura 21: Filme de graxa na face do boleto varia conforme o tipo de contato.

O “contato roda-trilho em conformidade” ou também “contato em conformidade” contribui para redução da força lateral em curvas, e é também altamente benéfico na redução das tensões de contato (P_o), sendo preponderante no retardamento da formação das trincas tipo RCF.

Adicionalmente o “desgaste conformal” ou “contato roda-trilho em conformidade” ou também “contato em conformidade” é altamente favorável na inscrição dos veículos nas curvas de raio apertado ($R < 600m$), pois garante a formação ΔR (diferencial entre os raios de rolamento) entre as rodas do mesmo rodeiro, garantindo o giro dos truques para o mesmo lado da curva (*steering moment*).

O “contato conformal” (Figura 22), ao propiciar o correto guiamento do rodeiro nas curvas, também reduz o coeficiente de tração dos rodeiros guias (relação T/N), isto é, os micros deslizamentos (*creepages*) das rodas desses rodeiros sobre a superfície de rolamento do trilho nas curvas. A redução do coeficiente de tração (Força Tangencial/Força Normal) é um fator de contribuição muito importante para a diminuição da formação das trincas tipo RCF.

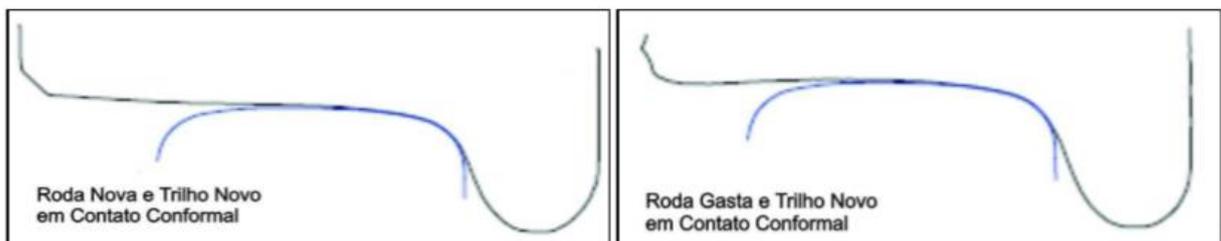


Figura 22: Contato conformal em situação de roda nova e gasta sobre trilho novo

4.5. Contato Roda-Trilho nas Tangentes

A prática de esmerilhamento de alívio do canto do boleto adotada na EFMV (Figura 23) inibe o alinhamento dos truques nas tangentes e, conseqüentemente, causa contato na face do boleto de maneira similar ao que ocorre nos trilhos externos das curvas. Neste caso, é possível perceber o desgaste lateral nos trilhos instalados em tangente.



Figura 23: Desgaste lateral em seção de via tangente, sendo uma indicação de pobre alinhamento dos truques nas tangentes

Essa condição atípica de contato nas tangentes (Figura 24) é prejudicial à lubrificação, pois em situações normais não existe o contato do flange da roda na face do boleto das tangentes. Geralmente a graxa só é consumida em curvas, assim a graxa existente nas rodas não é consumida em seções tangentes da via. Neste caso, o *carrydown* da graxa na via será menor, devido ao consumo da graxa nas tangentes.

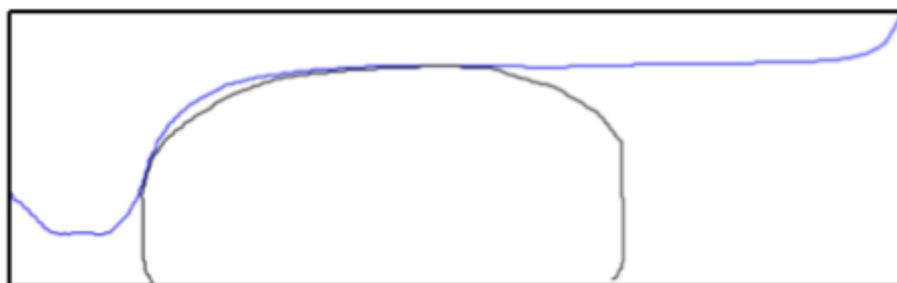


Figura 24: Alívio do canto do boleto nos trilhos nas tangentes devido ao Esmerilhamento reduz a habilidade dos truques e rodeiros de alinhar, contribuindo para o desgaste lateral.



AEAMESP



5. Conclusão

O objetivo deste trabalho era descrever uma das etapas da implantação do gerenciamento de atrito e analisar o impacto da tecnologia em pequena escala. Para isso foram instalados oito lubrificadores na EFVM e neste estudo foi utilizado um deles com o objetivo de testar três lubrificantes.

O resultado dos testes foi semelhante entre os três fornecedores, sendo que as graxas da Gadus S2 V220AD 2 e da Transrail 6042 tiveram um resultado um pouco melhor. Quanto às características da graxa da Transrail 6042, a viscosidade cinemática a 40°C de 1500 cSt pode causar problemas de bombeamento com temperaturas menores que 40°C. Por outro lado, analisando as características da graxa da G. Beslux Biogrease M-1/G, conclui-se que sua temperatura de trabalho não é apropriada para aplicação na interface roda-trilho.

Transrail 6042

A expectativa quanto ao *carrydown* era maior: em ferrovias que possuem uma lubrificação eficiente o *carrydown* varia de 5 a 15 quilômetros, de acordo com as características da via. Sabe-se que ferrovias que possuem tráfego bidirecional apresentam um *carrydown* pequeno, devido ao fenômeno de um trem colocar graxa na via e outro trem a retirar. Apesar de a EFVM ser linha dupla em toda a sua extensão, um ou vários trechos podem ter o tráfego bidirecional por um período de tempo, em função das necessidades da manutenção, fato observado durante a realização dos testes deste trabalho.

As condições de contato roda-trilho influenciam diretamente na lubrificação, como foi demonstrado no item 6 deste trabalho. Ao mesmo tempo em que o contato lateral nas seções tangentes da via causam um impacto no *carrydown* da graxa, a lubrificação é uma



AEAMESP



excelente ferramenta para economia de combustível e trilhos nestas situações. O contato lateral na tangente, além de aumentar a resistência de rolamento dos trens, é associado à formação de corrugação e *spalls*.

Com aquisição de uma nova máquina esmerilhadora de trilhos pela EFVM, certamente as condições de contato roda-trilho irão melhorar e os benefícios serão significativos para a lubrificação de trilhos.

A diferença de desempenho entre a graxa biodegradável e a graxa mineral não pôde ser percebida durante os testes. O fato é que como o teste foi realizado com a mesma configuração de vazão para todas as amostras de graxa, a graxa da Gadus S2 V220AD 2 apresentou uma melhor consistência. Além disso, a vazão do lubrificador teve que ser diminuída, a fim de evitar a migração da graxa para o topo do trilho. Isso significa que a graxa da Gadus S2 V220AD 2 é capaz de fornecer o mesmo COF das graxas biodegradáveis com uma vazão menor. É extremamente importante esta constatação, uma vez que o custo da graxa é o maior em um projeto de lubrificação.

AGRADECIMENTOS

À equipe de via permanente da Estrada de Ferro Vitória Minas pelo apoio à pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AREMA Manual for Railway Engineering 2010

Eadie, D. T.; Bovey, E.; Kalousek, J. (2002); The role of friction control in effective management of the wheel / rail interface, The Railway Technology Conference, 2002.

Eadie (2010), D. Lubrication and Friction Management: Fundamentals, Applications, Equipments and Result. Portugal: Wheel Rail Interaction Conference.

Eadie, D., Vidler, B., Hooper, N. and Makowsky, T. (2003) Top of Rail Friction Control: Lateral Force and Rail Wear Reduction in a Freight Application, Proceedings of the International Heavy Haul Association, Fort Worth, Texas, May, 8pp.

Eadie, D., Maglalang, L., Vidler, B., Lilley, D. and Reiff, R. (2005) Trackside Top of Rail Friction Control at CN, Proceedings of the IHHA Conference, Rio de Janeiro, Brazil, June 2005, 8pp

Guins, T. (2005) Economic Analysis of Top of Rail Friction Control Walong, CA, TTCI Technology Digest TD-05-019 August 2005, 4pp.

Kalousek, Joe & Miguel, Eric, (1997) managing Rail Resources, AREA Volume 98, Buletin 760.

Reiff, R., Makowsky, T. and Gearhart, M. (2005) Implementation Demonstration of Wayside Based TOR Friction Control, Union Pacific Railroad – Walong, CA, TTCI Technology Digest TD.

Reiff, R. (2007) Wayside-Based Top of Rail Friction Control: 95 MGT Update, TTCI Technology Digest TD 2007, 4pp.



AEAMESP



Sroba, P.; Roney, M.; Dashko, R.; Magel, E. (2001); Canadian Pacific Railway's 100% Effective Lubrication Initiative, AREMA 2001 Conference & Exhibition.

Sroba, P., Oldknow, K., Dashko, R. and Roney, M. (2005) Canadian Pacific Railway 100% Effective Friction Management Strategy, Proceedings of the IHHA Conference, Rio de Janeiro, Brazil, June 2005, 9pp.



AEAMESP



dos autores

Fernando Sgavioli Ribeiro, Mestre em Engenharia Geotécnica, Vale S.A.

Engenheiro Civil formado pela UNICAMP, Pós Graduado em Engenharia Ferroviária na PUC-MG, Pós Graduado em Gestão de projetos na FGV, Mestre em Engenharia Geotécnica na UFOP, Doutorando em Engenharia de Transportes na USP, desde 2014. Atualmente Engenheiro de Implantação Off Shore da Ampliação do Terminal Integrador Marítimo – TIPLAM.

Liedi Bernucci, Vice-Diretora e Professora Titular da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Poli-USP). e Coordenadora do Laboratório de Tecnologia de Pavimentação da POLI-USP.

Rosângela Motta, Professora Doutora da POLI-USP. Pesquisadora do Laboratório de Tecnologia de Pavimentação da POLI-USP.