

O Gerenciamento do Atrito na MRS Logística

Renata Cristina do Carmo ^{1*}, Felipe Oliveira Vidon², Donald T. Eadie³, Kevin Oldknow³, Luiz Antônio Silveira Lopes⁴

¹ MRS Logística S.A., Av Brasil, 2001, 29.101-000, Juiz de Fora, MG, Brasil

² CH.Vidon, R. Halfeld, 744-301, 36.010-003, Juiz de Fora, MG, Brasil

³ LB Foster Friction Management, 1140 West 15th Street, North Vancouver, BC, Canada

⁴ Instituto Militar de Engenharia, Praça General Tibúrcio, Praia Vermelha, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

Email: rc@mrs.com.br, fov@chvidon.com.br, deadie@kelsan.com, koldknow@lbfoster.com,
laslopes@ime.eb.br

Abstract:

O gerenciamento do atrito é a tecnologia que vem sendo aplicada com sucesso nos últimos anos nas ferrovias Classe 1 norte americanas para controlar os níveis do coeficiente de atrito na interface roda-trilho. São realizadas a aplicação de lubrificantes na face de bitola e modificadores de atrito no topo do trilho através de equipamentos fixos instalados ao lado da linha ou móveis, como em rodoferroviários. Os principais benefícios com a adoção desta tecnologia são: redução da taxa de desgaste de trilhos e rodas, redução do consumo de combustível, diminuição de forças laterais e relação L/V, redução de corrugação de trilhos, redução dos níveis de ruídos e redução da degradação da via permanente.

A MRS Logística é pioneira na implantação do Gerenciamento do Atrito no Brasil. Em 2007 o projeto foi iniciado com a colaboração entre a MRS, o NRC-CSTT, LB Foster Friction Management e CH.Vidon para avaliar os benefícios da otimização do gerenciamento do atrito e estabelecer os impactos da instalação de um trecho teste. Em 2011 o projeto foi expandido com implantação de equipamentos em larga escala. O projeto envolve a instalação de 75 lubrificadores face de bitola e 77 aplicadores de modificador de atrito no topo do trilho com objetivo final de proteger 629 km da malha ferroviária da MRS. Os benefícios do projeto (taxa de desgaste de trilho, níveis de coeficiente de atrito, forças laterais e relação L/V) serão avaliados através de utilização de perfilômetro digital de trilho MiniProf, Tribômetro Portátil e instrumentação L/V. Este paper irá apresentar detalhadamente a metodologia utilizada para desenvolvimento do projeto assim como o status atual do mesmo.

Palavras-Chaves: Via Permanente, Gerenciamento do atrito, Lubrificação, Modificadores de Atrito

1. INTRODUÇÃO

A MRS Logística S. A. iniciou suas operações em primeiro de dezembro de 1996, assumindo a chamada Malha Sudeste da Rede Ferroviária Federal S. A. (RFFSA), por intermédio da privatização da mesma em um modelo que consistia na transferência dos serviços de transporte ferroviário de cargas e no arrendamento dos bens operacionais para o setor privado.

Desde sua criação a MRS Logística vem apresentando um crescimento considerável nos volumes transportados. Este crescimento implica numa ocupação cada vez maior da malha ferroviária e faz com que a empresa busque a otimização dos recursos, como via permanente, vagões e locomotivas. Um dos projetos implantados com esse objetivo foi o “Gerenciamento de Atrito”.

O controle do atrito é um ponto chave para ferrovias que desejam controlar os custos relacionados ao desgaste de rodas, desgaste de trilhos, degradação da superestrutura da via permanente devido a altas forças laterais e o consumo de combustível das locomotivas. A taxa de desgaste pode variar até 20 vezes quando o gerenciamento do atrito é utilizado. Coeficientes de atrito elevados podem levar a descarrilamentos por subida de roda e elevados ruídos quando veículos ferroviários inscrevem uma curva. O gerenciamento do atrito deve ser considerado uma abordagem da interface roda-trilho que inclui esmerilhamento, perfis de rodas e trilhos, metalurgia dos trilhos e geometria de via.

2. O GERENCIAMENTO DO ATRITO

Gerenciamento do atrito é o processo de controlar o coeficiente de atrito existente no contato roda / trilho para atingir valores mais apropriados para a operação ferroviária e os melhores índices de desgaste, forças laterais em curvas e economia de combustível (Sroba, *et al*, 2001).

Sendo assim, o Gerenciamento do atrito é o controle do atrito em duas partes distintas da interface roda-trilho através da lubrificação da face de bitola do trilho e flange das rodas e o controle do atrito no topo do trilho e na banda de rodagem das rodas. A lubrificação face de bitola/flange das rodas requer um lubrificante de alta qualidade, sólido ou líquido; enquanto o controle do atrito no topo do trilho requer modificadores de atrito, também sólidos ou líquidos. A diferença entre lubrificante e modificador de atrito é conceitual, enquanto o lubrificante reduz o coeficiente de atrito a níveis mínimos; o modificador de atrito controla o atrito a níveis considerados ideais, que não interferem na tração e frenagem dos trens.

O uso de lubrificantes de alto desempenho é essencial para garantir que os resultados sejam alcançados. Lubrificantes de alto desempenho são aqueles que possuem em sua fórmula aditivos de extrema pressão (EP), estes aditivos reagem com o metal das superfícies sob pressão superficial muito elevada, formando um composto químico que reduz o atrito, minimiza o contato direto entre as partes, evitando o rompimento da película lubrificante. Outras qualidades importantes para o desempenho de lubrificantes são:

- Temperatura de aplicação e ponto de gota do lubrificante;
- Variação da viscosidade com a mudança da temperatura;
- Estabilidade, não apresentar separação do óleo;
- Retentividade, característica de suportar extremas pressões;
- Lubricidade sob altas pressões e deslizamentos;
- Tipo de espessante, a rigidez do lubrificante depende da concentração de espessante;
- Seleção do óleo base: viscosidade, índice de viscosidade, mistura;
- Aditivos para adesão, detergência, anticorrosão e resistência à água;
- Não interferir na integridade dos sistemas de sinalização da via;
- Ser economicamente viável.

De acordo com Makousky, *et al*, 2006, o modificador de atrito é um líquido a base de água que contém uma suspensão de sólidos e componentes adicionais que proporcionam a permanência do material. Após a aplicação, a água evapora e uma fina película seca permanece fornecendo um coeficiente médio de atrito (COF) na faixa de 0,30-0,40 na interface roda x trilho.

O modificador de atrito mais conhecido e utilizado é o KELTRACK® Trackside Freight, fabricado pela Kelsan Technologies. Existem várias referências quanto a utilização deste produto em grandes ferrovias norte americanas, como Union Pacific, Norfolk Southern, Canadian Pacific, Canadian National, etc.

Os modificadores de atrito possuem a principal característica de fricção positiva, que significa que o nível de atrito aumenta com o aumento do deslizamento, ou seja, um COF maior que 0,3 é alcançado se requerido pelo sistema de controle de tração das locomotivas.

A tabela 01 apresenta a influência do coeficiente de atrito em questões cotidianas no ambiente ferroviário.

Foco	Lubrificação face de bitola	Controle do atrito no topo do trilho
Desgaste do flange das rodas	✓	✓(Indiretamente)
Desgaste da bandagem	✗	✓
Desgaste da face de bitola	✓	✗
Desgaste vertical do trilho	✗	✓
Consumo de combustível/energia	✓	✓
Força Lateral	✓(aumenta)	✓(reduz)
Ruído agudo (squeal noise)	✗	✓
Ruído do flange (flanging noise)	✓	✓(Indiretamente)
Corrugação	✗	✓
Redução do Risco de descarrilhamento	✓(subida de roda)	✓(quadramento de trilho)
RCF (Fadiga de Contato)	✓	✓

Tabela 01: Influência do coeficiente de atrito.
Fonte: Wheel Rail Interaction Conference 2010, Don Eadie.

Eadie, D.; *et al*; 2001, relata que tanto lubrificantes como modificadores de atrito podem mitigar os danos às rodas e aos trilhos causados pelo RCF. Ambos têm comportamento semelhante para inibir o início das fissuras relacionadas ao RCF, porém modificadores de atrito têm também a habilidade de minimizar o crescimento das fissuras já existentes. Uma vez iniciadas, as fissuras irão se propagar, a não ser que sejam removidas pelo esmerilhamento ou pelo desgaste natural. Como os lubrificantes possuem líquidos, eles tendem a pressurizar as fissuras, fazendo com elas se propaguem; os modificadores de atrito, possuem sólidos em sua formulação e não causam este efeito. Assim, modificadores de atrito ajudam a minimizar o crescimento das fissuras e, em consequência, a minimizar os danos causados pelo contato roda x trilho.

Lubrificantes	Modificadores de Atrito
<ul style="list-style-type: none"> • Geralmente aplicado na linha de bitola ou no flange da roda • Reduz a fricção para níveis < 0,20 μ • Não deve migrar para o topo do trilho • Aplicação no topo do trilho pode ser crítica 	<ul style="list-style-type: none"> • Geralmente aplicado no topo do trilho • Controla o coeficiente de atrito em níveis intermediários: 0,30μ a 0,40μ • Gera fricção positiva • Presença no topo do trilho não é crítica

Tabela 02 – Comparação entre lubrificantes e modificadores de atrito
Fonte: Reiff, R.; 2009.

2.1. Objetivo

De acordo com AREMA 2010 Section 4.11.3.2 os objetivos do gerenciamento do atrito são:

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

A figura 01 ilustra os níveis de atrito considerados ideais.

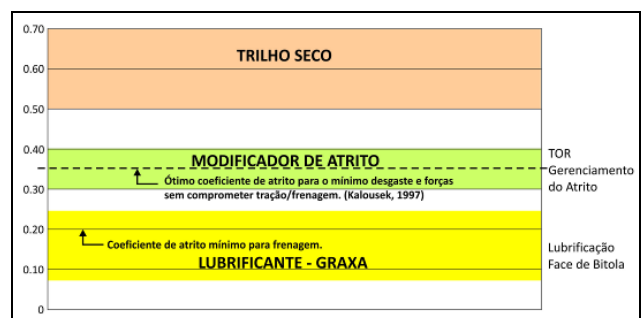


Figura 01 – Níveis ideais de atrito
Fonte: Railway Track and Structure, “Modifying and Managing Friction”, Joe Kalousek, 1997.

3. PROJETO GERENCIAMENTO DO ATRITO NA MRS

Em 2008, após vários estudos e análises, os primeiros equipamentos foram instalados, num total de 11. Foram selecionados dois locais de teste em linhas de maior tráfego de trens carregados da MRS Logística. Os resultados obtidos foram extrapolados para estudo de viabilidade da implantação do projeto em outras regiões. Aumento da vida útil dos trilhos, diminuição de forças laterais, diminuição da taxa de crescimento dos defeitos superficiais no topo do trilho e diminuição no número de passes da Emerilhadora de trilhos nas regiões de teste foram comprovados.

Resultados mais consistentes e efetivos no que diz respeito aos benefícios do gerenciamento de atrito são esperados quando da implantação de equipamentos em larga escala. O projeto envolve a instalação de 75 lubrificadores face de bitola e 77 aplicadores de modificador de atrito no topo do trilho com objetivo final de proteger 629 km da malha ferroviária.

A Linha do Centro que possui tráfego predominantemente de trens vazios será

contemplada com lubrificação face de bitola, enquanto o Ramal do Paraopeba, Frente Norte da Ferrovia do Aço e Serra do Mar (linha 1) serão contemplados com lubrificação face de bitola e aplicação de modificadores de atrito no topo do trilho.



Figura 02 – Gerenciamento do Atrito na MRS

A tecnologia aplicada em cada trecho da malha da MRS Logística é proveniente de um estudo técnico financeiro realizado pelo National Research Council Canada (NRC) em 2009.

Tabela 03 – Distribuição dos equipamentos

Região	Lubrificadores	Aplicadores TOR	Rota (km)
Serra do Mar	12	31	92
Paraopeba e F. Norte	15	46	151
Linha do Centro	48	0	386

Os novos tipos de equipamento wayside instalados na MRS são eletrônicos e utilizam

um sensor magnético de rodas instalado no trilho. Este sensor detecta a passagem dos rodéis e envia um sinal para o equipamento bombear lubrificante ou modificador de atrito para as barras aplicadoras. Caixas de controle eletrônicas são utilizadas para definir os parâmetros de aplicação em função do número de rodas passantes pelo sensor e o tempo de funcionamento da bomba, minimizando assim, o desperdício de material.

O NRC realizou testes na ferrovia Canadian Pacific e concluiu que barras longas (1,48m) podem aplicar 36% menos material do que as barras menores (0,66 m) e atingirem os mesmos resultados. Normalmente são instaladas duas barras, uma por trilho. Os equipamentos devem preferencialmente ser instalados em tangentes (Sroba, *et al*, 2001).

4. IMPLANTAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS

Os equipamentos de gerenciamento de atrito instalados são Portec Protector IV tanto para face de bitola e topo do trilho. São instalados sempre em tangentes e utilizam energia solar.

Para lubrificação da face de bitola são utilizadas barras distribuidoras de lubrificante de 1,48 m, modelo Portec MC-4XL, 16 ou 48 portas de distribuição, com tecnologia GreaseGuide, que consiste em uma calha que reaproveita a graxa que não é carregada pela roda. Em cada local de lubrificação é instalada uma barra distribuidora por trilho, e para evitar a contaminação do lastro, é utilizada uma manta filtrante, CatchAll. A flange das rodas distribui o lubrificante ao longo da via. A figura 03 ilustra a instalação de um lubrificador.



Figura 03 – Lubrificador face de bitola.

Algumas considerações para o posicionamento dos lubrificadores face de bitola:

- Desperdício de lubrificante que é arremessado no topo do trilho;
- Quantidade de lubrificante que é consumido pela passagem dos trens;
- Tamanho da seção da via que será protegido por cada lubrificador;
- Bombeabilidade do lubrificante em diferentes temperaturas;
- Vulnerabilidade de entupimentos das barras distribuidoras;
- Quantidade de lubrificante que é lavado dos trilhos pelas chuvas;
- Tendência dos lubrificantes de escorrerem da face de bitola em altas temperaturas.

Outros fatores relacionados com as condições da via:

- Acabamento do gage corner após o esmerilhamento, facetas profundas (quinas vivas) no gage corner atrapalham a transferência de lubrificante;
- Variações de bitola e superelevação;
- Presença de passagens de nível nas adjacências;
- Lubrificadores devem ser posicionados em tangentes, e não adjacentes a curvas apertadas ($R < 350m$);
- Evitar locais com ocorrência de hunting;
- Locais com disponibilidade de luz solar, evitar cortes e regiões com vegetação alta.



Figura 04 – Barra distribuidora de lubrificante.

Para aplicação de modificador de atrito no topo do trilho são utilizadas barras aplicadoras de 0,80 m, modelo Portec TOR-ML, com uma única porta de aplicação. Diferentemente das barras aplicadoras de lubrificante, as barras TOR-ML são montadas no lado de campo dos trilhos. A bandagem das rodas é encarregada da distribuição do produto ao longo da via. A figura 05 ilustra a instalação de um aplicador TOR.



Figura 05 – Aplicador TOR.

Os aplicadores TOR são instalados em tangente, e algumas situações devem ser observadas:

- Distância mínima de 30 metros da entrada da curva,
- Na região de instalação e adjacências, os trilhos não devem apresentar defeitos superficiais;
- A largura do ponto de contato na região de instalação deve ser pelo menos 30 mm;
- Variações de bitola e superelevação;
- Zona de Entrada, os primeiros aplicadores TOR devem ter espaçamento menores;
- Regiões onde freio a ar é aplicado deverão ter taxa de aplicação diferente.

5. MANUTENÇÃO E ABASTECIMENTO

Mantenedores exclusivos para a função foram contratados para manter e abastecer os equipamentos. Uma manutenção efetiva de um grande número de lubrificadores e aplicadores de modificador de atrito é um desafio que muitas ferrovias ao redor do mundo não conseguem vencer completamente. Manter as unidades em operação não é uma atividade de alta

prioridade para uma coordenação de via envolvida em outras atividades de manutenção, pois o impacto das unidades fora de serviço não é imediato, ou talvez não será refletido nas metas da coordenação. O Gerenciamento do Atrito é um investimento de longo prazo, o resultado não aparece imediatamente. Um lubrificador operando continuamente por meses, pode ter o resultado perdido em apenas alguns dias se ele ficar sem o abastecimento de graxa.



Figura 06 – Barra aplicadora TOR.

A fim de aumentar o gerenciamento dos equipamentos e a disponibilidade, alguns equipamento são equipados com o sistema de gerenciamento remoto RPM™, fornecido pela Portec / LB Foster. Através de um website é possível saber o nível do reservatório, configuração, número de eixos passantes sobre o equipamento, voltagem da bateria, enfim o status completo do equipamento. As informações são transmitidas por rede GPRS e armazenadas em um banco de dados.

Inspeções e abastecimentos são realizados mensalmente a fim de garantir:

- Pelo menos 90% das portas de distribuição de graxa desobstruídas;
- Mínimo desperdício de lubrificante /modificador de atrito;
- Funcionamento do sensor de rodas;
- Bateria esteja na voltagem correta;
- As barras aplicadoras de modificador de atrito não estejam danificadas;
- Equipamentos abastecidos até o próximo ciclo de abastecimento;
- Interferências causadas por vandalismo.

O abastecimento é realizado com o auxílio de um caminhão hi-rail equipado com duas bombas E-Z Fill™, uma para o abastecimento de lubrificante e outra para modificador de atrito.



Figura 07 – Caminhão de Abastecimento.

6. MONITORAMENTO DOS RESULTADOS

"Não se pode administrar o que não se pode medir." (Morris A. Cohen). Paralelamente ao projeto de implantação do Gerenciamento do Atrito, medições de campos são realizadas periodicamente para conhecer e quantificar os benefícios do projeto. Em cada região do projeto foram selecionados pontos de monitoramento da taxa de desgaste dos trilhos e COF. As curvas foram agrupadas de acordo com o raio:

Curvas Suaves	$R > 700$ m
Curvas Moderadas	$350 \text{ m} < R < 700$ m
Curvas Apertadas	$R < 350$ m

Tabela 04 – Curvas para monitoramento

Para cada tipo de curva são monitorados dez pontos por região, em cada ponto são realizados três pontos de medição no trilho interno e três pontos de medição no trilho externo.

Para avaliação e comprovação dos resultados, são utilizados os equipamentos descritos a seguir.

6.1. Tribômetro manual

É uma ferramenta portátil utilizada para medição do COF nos trilhos em locais específicos. Fabricado pela Salient Systems, o tribômetro pode obter leitura do topo do trilho ou da face de bitola, dependendo do ajuste da roda de medição. É a ferramenta para verificar a efetividade da lubrificação da face de bitola dos trilhos.

A maior desvantagem desse equipamento é a limitação de tamanho do trecho, pois como as leituras são feitas por um operador empurrando o equipamento, nem todo o trecho

é levantado, sendo assim o resultado é somente uma “fotografia” (Eadie, D.; *et al*, 2002).

Medições regulares do COF ao longo da malha são realizadas para verificar a efetividade da lubrificação face de bitola.



Figura 08 – Tribômetro Manual.

6.2. Rail Miniprof

O perfilômetro digital de trilhos é utilizado para conhecer a taxa de desgaste dos trilhos. É um aparelho com grande acurácia, fabricado pela Greenwood Engineering, que consiste em uma cabeça de leitura do perfil do trilho e um computador hand-held.

O desgaste na face de bitola e no topo do trilho fornece uma indicação a longo prazo da efetividade do controle do atrito. Curtos períodos de aplicação de material de controle do atrito não irá afetar o desgaste a longo prazo.



Figura 09 – Rail Miniprof.

Medições de perfis dos trilhos são realizadas sempre anteriormente e posteriormente ao ciclo de esmerilhamento, sendo o desgaste natural e o desgaste artificial são identificados.

A taxa de desgaste é relacionada com MTBT, obtendo assim a taxa em mm/MTBT.

6.3. Instrumentação L/V

O sistema de instrumentação utilizado na MRS Logística é fabricado pela ISI, através de strain gages instalados na alma e no patim dos trilhos são conhecidas as forças verticais e laterais respectivamente. É um sistema fixo e complexo instalado ao lado da via.

É utilizado para medir a efetividade da aplicação do modificador de atrito, pois como o produto permanece em maior quantidade na banda de rodagem das rodas, não é possível conhecer o COF obtido após aplicação de modificador de atrito com medições diretas.

A magnitude da força lateral é específica para cada curva e é dependente de vários parâmetros, incluindo perfis de roda e trilho, condição do truque, condições da fixação e dormentes, velocidade do trem, carga por eixo e nível de atrito.



Figura 10 – Instrumentação L/V.

7. RESULTADOS ESPERADOS

De acordo com vários trabalhos já publicados em congressos e conferências, os resultados esperados após concluído o projeto são:

- Força Lateral: Redução entre 20% - 40%;
- Desgaste de Trilho: Redução entre 35% - 60%
- Consumo de combustível: Redução entre 3% - 8%
- RCF: Redução entre 15% - 25% (taxa de crescimento)

8. CONCLUSÕES

O Gerenciamento da Atrito vem sendo aplicado com sucesso nas grandes ferrovias Classe 1 norte americanas. Em 2011 a MRS Logística expandiu seu projeto com implantação de equipamentos em larga escala, 75 lubrificadores face de bitola e 77 aplicadores de modificador de atrito no topo do trilho com objetivo final de proteger 629 km da malha ferroviária.

Até o momento foi concluída a instalação da primeira fase, referente aos equipamentos da Serra do Mar. A instalação no Ramal do Paraopeba está em andamento. A implantação na Linha do Centro está prevista para 2012.

As medições iniciais utilizando Tribômetro, Miniprof e leituras L/V foram realizadas com intuito de estabelecer uma linha de base para comparação dos benefícios. Os resultados serão auferidos e apresentados posteriormente.

9. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à MRS Logística S.A por permitir que as equipes técnicas busquem novas tecnologias e que as mesmas sejam aplicadas na empresa. Agradecem também a equipe de Engenharia de Via Permanente, CH.Vidon, LB Foster e IME que não medem esforços para a resolução dos problemas do cotidiano e buscam a melhoria de processos, contribuindo para que o desenvolvimento da MRS também ocorra.

10. REFERÊNCIAS

AREMA Manual for Railway Engineering 2010

Caldwell Robert; Ladubec Chris; MRS Brazil Friction Management Project; NRC/CSTT Technical Report, Dec. 2009

Eadie, D.; Kalousek, J.; Spray it on, let'em roll, Railway Age Article, 2001.

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

<http://www.greenwood.dk/miniprof.php>

<http://www.kelsan.com/>

<http://www.portecrail.com/>

http://www.salientsystems.com/prod_pt.html

Jorge, C. G.; Vidon, F. O.; Vidon Jr, W.; Oliveira, C. M.; Caldwell, R.; Sroba, P.; 100% Effective GF and TOR Friction Mgr. Strategies on MRS Heavy Haul; 9th IHHA, China, 2009.

Jorge, C. G.; Vidon, F. O.; Vidon Jr, W.; Caldwell, R.; Implementation of Wheel-Rail Friction Mgr. on MRS Railroad; Joint Rail Conference, Urbana, Illinois, 2010.

Magel, E.; Tajaddini, A.; Trosino, M.; Kalousek, J.; Traction, Forces, Wheel Climb and Damage in High Speed Railway Operations, CM, 2006.

Makousky, T.; Eadie, D. T.; Oldknow, K.; Clark, D.; Chapman, T.; Unbehau, J.; Gearhart, M.; Union Pacific Railroad wayside top of rail friction control: lateral force and rail wear reductions in a extreme heavy haul operating environment, 2006.

Oldknow, K.; Keltrack Trackside Freight – Heavy Grade Case Studies, Kelsan, 2007.

Reiff, R.; Best practices update for Friction Control including implementing Top-of-rail friction control, 2006.

Roney, M, Guidelines to best practices for heavy haul railway operations, Chapter 6: Track Maintenance, 6.4 – Rail Lubrication and Friction Modifier, International Heavy Haul Association, 2009.

Roney, M; Eadie, D. T; Oldknow, K; Sroba, P; Caldwell, R; Santoro, M; Total Friction Management on Canadian Pacific, International Heavy Haul Association, 2009.

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

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

U. S. Army Corp of Engineers, Lubricants and Hydraylic Fluids, Washington, 1999.