

## **GESTÃO DA LUBRIFICAÇÃO: ANÁLISE DE FALHAS SOBRE A INFLUÊNCIA DE ÓLEOS LUBRIFICANTES NO DESEMPENHO DE CAMINHÕES FORA DE ESTRADA NA INDÚSTRIA DE MINERAÇÃO \***

Zirlene Alves da Silva Santos<sup>1</sup>  
Luiz Felipe Gouveia<sup>2</sup>

### **Resumo**

Os motores diesel são sistemas de grande importância na movimentação dos caminhões fora de estrada utilizados no setor minero-metalúrgico. O bom funcionamento desse sistema é fundamental para o bom desempenho dos caminhões. Entretanto, informações acerca da gestão da lubrificação e perda de desempenho destes equipamentos mostram que esses estão apresentando uma performance abaixo do esperado. O objetivo desta pesquisa é aplicar o método FMEA para priorizar os principais modos de falhas, por meio da análise do risco associado. A análise está direcionada para o baixo desempenho, através das horas trabalhadas do óleo motor desses caminhões; onde foram levantados os dados e informações sobre os modos de falhas dos motores. Nesta análise foram considerados os estudos da manutenção preditiva dos lubrificantes e lubrificação. Foi possível concluir que o ambiente agressivo das mineradoras, sem o controle dos contaminantes nos lubrificantes, causa a perda de desempenho dos equipamentos. Assim, os riscos foram priorizados e classificados para que se busque formas efetivas de intervir nos grandes impactos no desempenho gerados pela contaminação. Por fim, verificou-se também, através de análise estatística das horas trabalhadas do óleo lubrificante, que a contaminação estava permitindo que durassem apenas 35% da sua vida útil estimada pelo fabricante.

**Palavras-chave:** Caminhão fora de estrada; lubrificantes; gestão da lubrificação; FMEA

## **LUBRICATION MANAGEMENT: FAILURE ANALYSIS ABOUT INFLUENCE OF LUBRICATING OILS IN THE PERFORMANCE OF OFF-ROADS TRUCKS IN THE MINING INDUSTRY**

### **Abstract**

Diesel engines are systems of great importance in the movement of off-road trucks used in the mining-metallurgical sector. The proper functioning of this system is fundamental for the good performance of the trucks. However, information about lubrication management and loss of performance of these equipment shows that these are performing below the expected performance. The objective of this research is to apply the FMEA method to prioritize the main failure modes, through the associated risk analysis. The analysis is directed to the low performance through the worked hours of the motor oil of these trucks; where data and information on engine failure modes were collected. In this analysis, the studies of the predictive maintenance of lubricants and lubrication were considered. It was possible to conclude that the aggressive environment of the miners, without the control of the contaminants in the lubricants, causes the loss of performance of the equipment. Thus, risks were prioritized and classified so that effective ways of intervening in the big impacts on performance generated by the contamination were sought. Finally, it was also verified by statistical analysis of the hours worked of the lubricating oil that the contamination was allowing only 35% of its estimated useful life by the manufacturer.

**Keywords:** Truck out of the road; lubricants; lubrication management; FMEA.

<sup>1</sup> Engenharia de Materiais, Doutorado, Professor adjunto III, Escola de Minas/Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Minas Gerais Brasil.

<sup>2</sup> *Engenharia Mecânica, Graduado, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Minas Gerais Brasil.*

## 1 INTRODUÇÃO

Com a grande competição entre as indústrias de mineração, para manter a vantagem competitiva e a satisfação dos clientes, é imprescindível assegurar a disponibilidade física dos equipamentos. Nesse sentido, a melhoria contínua na gestão da lubrificação dos equipamentos pode ser reconhecida como um diferencial na área de manutenção.

Entre os equipamentos das indústrias de mineração estão os caminhões fora de estrada, que são equipamentos muito importantes para transportar a matéria prima.

O atrito e desgaste são responsáveis por grande parte das paradas não programadas dos conjuntos inseridos nos sistemas dos equipamentos. Duarte (2005) afirma que, além de redução de atrito e desgaste, são muitos os fatores que levam a lubrificação a ser adotada como um meio básico de manutenção, principalmente por proporcionar menor dissipação de energia na forma de calor causada pelo atrito e, assim, reduzir a temperatura através da sua capacidade de refrigeração. Além disso os lubrificantes controlam o desgaste, corrosão, oxidação.

De acordo com a CIMM (2008), cerca de 50% das falhas em rolamentos e 60% dos problemas em redutores de engrenagens estão associados à lubrificação. Quando se consideram sistemas hidráulicos e componentes de veículos, como transmissões, caixas de marcha e motores a situação revela-se ainda mais crítica.

Na maioria das vezes, quando realizada uma análise de quebra, chega-se à conclusão de que a falha ocorreu por esquecimento ocasionado pela inexistência de um plano de lubrificação. (CIMM, 2008).

Segundo Cordeiro e Azeredo (2013), na lubrificação de equipamentos, são utilizados principalmente óleos e graxas minerais. Alguns casos especiais, são utilizados outros lubrificantes, como os óleos e graxas de origem orgânica, misturas de óleos minerais com orgânicos, óleos sintéticos e lubrificantes grafíticos. Para assegurar a confiabilidade da gestão da lubrificação torna-se imprescindível a utilização de métodos de confiabilidade. Nesse sentido a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) define na norma NBR 5462 (1994) que, o FMEA – *Failure Mode and Effect Analyse* é um método qualitativo de análise de confiabilidade, que envolve o estudo dos modos e efeitos das falhas em processos ou projetos.

Como o FMEA é uma atividade multidisciplinar e que afeta todo o processo de realização do produto, sua implantação tem que ser bem planejada para ser totalmente eficaz; possuir membros na equipe com conhecimentos especializados e relevantes, tempo disponível e autoridade ratificada pelo gerenciamento. Em última instância, a direção tem a responsabilidade e a autoridade para o desenvolvimento e manutenção de FMEA (IQA, 2008).

A pesquisa possui como objetivo analisar as falhas no desempenho dos caminhões fora de estrada por meio da aplicação do FMEA.

## 2 DESENVOLVIMENTO

O método utilizado para atestar a confiabilidade, nas indústrias, por meio da classificação dos riscos, é a Análise de Modo e Efeitos das Falhas – FMEA. O IQA (2008) afirma que é uma metodologia analítica utilizada para assegurar que os problemas potenciais tenham sido considerados e abordados ao longo de todo processo de desenvolvimento de produtos e processos. É um método considerado para identificar a gravidade dos potenciais efeitos de uma falha e fornecer uma entrada para as medidas minimizadoras destinadas a redução de riscos. Para que se faça a avaliação do risco de um dado sistema, tem-se que definir a prioridade de

uma falha. O critério de avaliação é o número de prioridade de risco (NPR) que é composto por três fatores individuais: S (severidade), O (ocorrência) e D (detecção). Será feita a quantificação destes três fatores de acordo com alguns critérios adotados pelo método (FMEA). O objetivo aqui é indicar e priorizar as ações recomendadas. O fator S (severidade da consequência da falha) será definido a partir da Tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Severidade da consequência das falhas

S: Severidade da consequência da falha		
10	Muito crítico	Causa parada total do equipamento, segurança, meio-ambiente.
9		
8		
7	Crítico	Causa parada do equipamento.
6		
5		
4	Moderado	Pode causar parada do equipamento.
3		
2	Baixo	Difícil causar parada.
1	Muito Baixo	Muito difícil causa parada.

Fonte: Pesquisa direta (2018)

Na Tabela 2.1 é possível observar o critério utilizado para classificar o índice da severidade da falha, em cinco quesitos que caracterizam a criticidade das inconformidades. Assim, para cada atributo tem-se um índice seguindo o critério de uma sequência numeral de 1 a 10, que é diretamente proporcional a severidade da falha. Conforme análise, índices com valores acima de 5 são críticos para o conjunto motor, pois param toda a produtividade de um caminhão por tempo indeterminado. O fator definido como “O (ocorrência da falha)” será analisado a partir da Tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Ocorrência da falha

O: Ocorrência da falha		
10	Altíssima Frequência	Falha quase inevitável
9		
8		
7	Muita frequência	Falhas repetitivas
6		
5		
4	Frequência Moderada	Falhas ocasionais
3		
2	Frequência Baixa	Relativamente poucas falhas
1	Frequência Muito Baixa	A falha é improvável

Fonte: Pesquisa direta (2018)

Na Tabela 2.2 observa-se o critério para classificar as ocorrências da falha, em cinco fatores que vão caracterizar a frequência delas. Para cada tipo de frequência temos um índice seguindo o critério sequencial numeral de 1 a 10. No caso, temos que

valores acima de 3 já trazem problemas aos caminhões por determinarem falhas repetitivas e influenciarem diretamente nos indicadores de desempenho. Por último tem-se o fator D (detecção da ocorrência da falha, que é possível ser identificado através da manutenção preventiva) que é definido quanto à facilidade de detecção da falha, conforme a tabela 2.3.

Tabela 2.3 - Detecção da ocorrência de falha

D: Detecção da ocorrência da falha	
1	Muito Alta: A falha será certamente detectada durante o processo de projeto/ fabricação/ montagem/ operação.
2	
3	
4	Boa chance de determinar a falha.
5	Detecção moderada.
6	
7	Não é provável que a falha seja detectável.
8	
9	Muito difícil de detectar.
10	

Fonte: Pesquisa direta (2018)

A Tabela 2.3 caracteriza-se por classificar os diferentes graus de detecção de cada uma das falhas, em cinco diferentes potenciais, que caracterizam a dificuldade de detecção dos defeitos. Para cada tipo de detecção temos um índice que segue o critério de uma sequência numeral de 1 a 10, diretamente proporcional a respectiva dificuldade de detectar a falha. Nos caminhões é crítico se não for detectada a contaminação do óleo cedo o suficiente. As consequências para um grau elevado de desgaste já foram citadas ao começo deste capítulo.

Após a análise de cada índice e feita a avaliação de cada um dos itens propostos, pontuados de 1 a 10, faz-se a seguir a quantificação de cada fator e através do NPR e a verificação da medida de risco com a seguinte multiplicação dos índices:  $NPR = O \times S \times D$ . O resultado final desta multiplicação, como mostra a Tabela 2.4, é analisada de acordo com a escala adotada para este processo.

Tabela 2.4 - Número de Prioridade de Risco

NPR (Número de Prioridade de Risco)	Índice de Risco
500 a 1000	Crítico, obrigatório abrir ações para diminuir risco.
126 a 499	Moderado, analisar necessidade de abrir ação.
1 a 125	Baixo Risco, não há necessidade de abrir ação.

Fonte: Pesquisa direta (2018)

A partir desta etapa tem-se como resultado a elaboração do relatório – FMEA para auxiliar a tomada de decisão e sejam elaboradas as ações corretivas ou medidas de prevenção. O relatório terá como base o mecanismo de controle e de

resumos das informações que estão relacionadas de acordo com a execução dessas ações corretivas ou das medidas de prevenção.

Assim, a pesquisa utiliza-se do FMEA como método prioritário considerando a importância de se classificar as falhas que afetam o desempenho dos caminhões. Os materiais utilizados abrangem os dados operacionais dos caminhões fora de estrada, manuais e entrevistas em campo.

Após o desmonte na mina, o minério necessita ser transportado até as usinas de beneficiamento. Um dos equipamentos que é utilizado para tal fim é o caminhão fora de estrada Caterpillar, cuja função é fazer a locomoção do minério dentro do complexo da mina. Este é um equipamento de grande porte, altamente robusto, com capacidade de operar em condições adversas, assim como as encontradas na mineração, onde os turnos duram praticamente 24 horas por dia.

O veículo é encontrado em diversos modelos, com diversos tipos de capacidade de carga, motorização, freios, suspensões, transmissão, etc. São veículos com dimensões grandes, tanto na altura quanto na largura e comprimento. É provido de enormes caçambas, onde é depositado o minério, com variações de capacidade de 90 a 200 toneladas dependendo do modelo (no caso dos Caterpillar).



Os motores utilizados nesses caminhões como o da Figura 2.1, são motores diesel, com grandes potências e de grandes dimensões e peso, além de uma alta complexidade. Como exemplo pode-se citar o maior destes caminhões que opera na mina, o CAT789D, que possui um motor diesel marítimo com 16 cilindros e peso seco de aproximadamente 8 toneladas.

Os motores diesel são mais agressivos em relação aos lubrificantes que os a gasolina, visto que o óleo diesel é menos volátil que a gasolina e possui tendência a formar maior quantidade de carbono proveniente da combustão, a pressão de combustão é maior, entre outras razões oriundas das diferenças dos ciclos de operação. A maioria dos motores a diesel de alta rotação é superalimentada, Figura 1.1 - CAT 789D

Fonte: Manual Caterpillar (2018)

...o-compressor, ...engrenagens ...carga em diversas faixas, dependendo da aplicação de óleo lubrificante, também

tem que prover uma proteção contra a oxidação, degradação térmica, corrosão e espuma. Essas engrenagens são normalmente lubrificadas pelo mesmo tipo de óleo que o motor. A viscosidade do óleo deve ser adequada tanto às altas como às baixas temperaturas no qual o equipamento vai operar. Os modelos CAT 789D utilizam óleo Caterpillar Diesel *Engine Oil* 10W30 ou 15W40, outros podem apresentar outras variações de óleo. Geralmente a lubrificação é realizada por meio de sistemas centralizados de lubrificação.

A classificação dos modos de falhas e o cálculo dos riscos, dos modos de falha que acometem o conjunto do motor e lubrificantes, foi realizada por meio de uma tabela orientada pelo método FMEA, conforme a Tabela 2.5, a seguir:

## ANÁLISE DOS MODOS E EFEITOS DE FALHAS DOS CONJUNTOS DO SISTEMA DE MOTOR DO CAMINHÃO FORA DE ESTRADA

Componente	Modo de falha	Efeitos potenciais	S	CAUSAS POTENCIAIS	O	PREVENÇÃO ATUAL	DETECÇÃO	D	NPR
Cilindros/camisas	Desgaste	Consumo excessivo de óleo.	10	Contaminação no óleo lubrificante; baixo nível de lubrificação.	4	Análise preditiva do lubrificante.	Nível de óleo; análise do lubrificante; ruídos.	5	200
Pistões e anéis	Desgaste	Consumo excessivo de óleo; perda de potência.	10	Contaminação no óleo lubrificante; baixo nível de lubrificação.	4	Análise preditiva do lubrificante.	Nível de óleo; análise do lubrificante; vibração; ruídos.	5	200
Mancais	Desgaste	Vibração; ruído; perda de potência.	10	Contaminação no óleo lubrificante; baixo nível de lubrificação.	4	Análise preditiva do lubrificante.	Nível de óleo; análise do lubrificante; vibração; ruídos.	4	160
Lubrificante	Contaminação	Perda da função lubrificante.	7	Infiltração de contaminantes durante operação; contaminação durante o complemento/ troca de óleo.	8	Troca de óleo.	Análise preditiva do lubrificante.	5	280
<b>Processo</b>	<b>Modo de falha</b>	<b>Efeitos potenciais</b>	<b>S</b>	<b>Causas potenciais</b>	<b>O</b>	<b>Prevenção atual</b>	<b>Detecção</b>		<b>PR</b>
Lubrificação	Contaminação	Desgaste		Falha na lubrificação		Não existe.	Visual		41

Tabela 2.5 – Análise dos Modos e Efeitos das Falhas dos componentes do motor do caminhão fora de estrada da operação de mineração

Fonte: Pesquisa direta (2018)

A Tabela 2.5 apresenta a classificação de risco dos componentes do motor do caminhão fora de estrada que opera na mineração. Apesar de todas as causas estarem interligadas pelo mesmo fator, a contaminação dos lubrificantes submetidos ao ambiente agressivo de uma mina de extração de minério de ferro, é necessário que a empresa se preocupe mais com a lubrificação do componente, fazendo treinamento de seus trabalhadores e principalmente tomar muito cuidado com a manutenção dos equipamentos instalados e que operam na mina.

É possível observar na análise dos lubrificantes e componentes que a contaminação por minério em suspensão é muito comum. Principalmente no processo de lubrificação e especialmente a lubrificação realizada na mina por meio de comboios; pode ser considerada uma falha crítica. A severidade foi considerada crítica por atingir todos os componentes dos motores que podem definitivamente parar o equipamento por tempo indeterminado e, como consequência, para a produção. A ocorrência de falha também foi considerada crítica por acontecer antes mesmo da quilometragem do lubrificante atingir seu limite, e de várias vezes ocorrer após um complemento de óleo ou uma troca de óleo. Por último, a detecção foi considerada como não provável de ser detectada por esta ser possível apenas após análise específica do lubrificante. Alguns pontos devem ser notados a partir da análise estatística feita em relação às horas trabalhadas dos óleos lubrificantes figura 2.2.

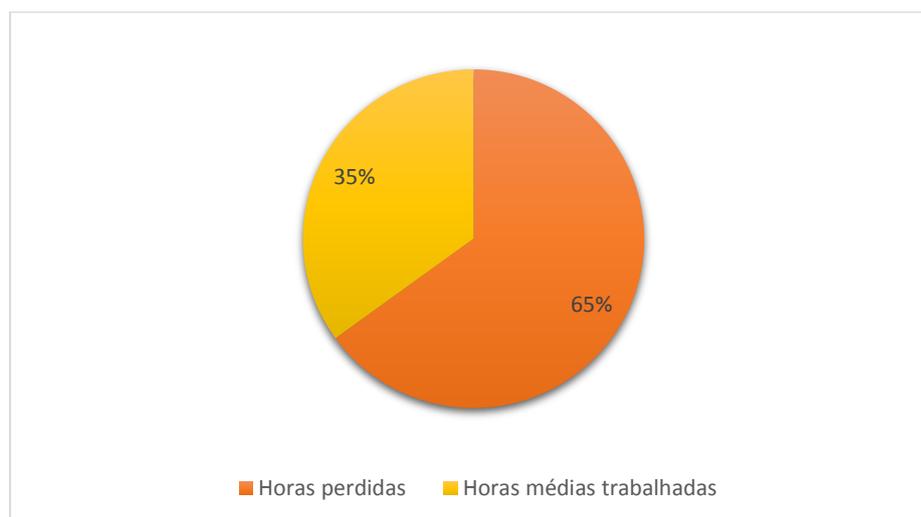


Figura 2.2 – Desempenho do óleo lubrificante  
Fonte: Pesquisa direta

É possível observar o impacto causado pelos contaminantes no gráfico, figura 2.2. São perdidos em média 65% nas horas previstas para o óleo e apenas 35% refere-se a horas médias trabalhadas. A relação para isto é de que a vida útil proposta pelas especificações do óleo, em condições normais de operação, são de duas mil horas trabalhadas. Os óleos afetados por contaminantes estavam sendo trocados em média a cada 700 horas. Um impacto como este afeta diretamente os indicadores de desempenho, como a disponibilidade física.

### 3 CONCLUSÃO

é possível concluir que a perda de desempenho nos caminhões fora de estrada ocorre por contaminação por minério de ferro e sílica em suspensão na área, e ainda mais importante, contaminação causada pelo próprio abastecimento e/ou troca de óleo de motor destes caminhões; que tendem a vencer as vedações e filtros do sistema motor e chega a contaminar o lubrificante do sistema causando o desgaste do mesmo. É observado o aumento do atrito nas interfaces dos componentes em movimento relativo com seu ápice quando existe a contaminação por minério de ferro e/ou sílica, e a lubrificação perde sua eficiência ao se misturar com os agentes externos. Por meio da análise preditiva de lubrificantes observa-se desgaste causado pela perda da função do lubrificante.

Considerando que a gestão da lubrificação é um serviço que demanda qualificação profissional um enfoque em treinamentos dos procedimentos operacionais é necessário, para que se façam de uma forma limpa e correta, juntamente com um banco de dados para cuidar mais dos motores, prevenindo paradas na produção, perda dos componentes dos motores e perdas de desempenho.

## REFERÊNCIAS

- 1 ALMEIDA, M. T. **Manutenção Preditiva: Confiabilidade e Qualidade**. 2000. Disponível em: <<http://www.mtaev.com.br/download/mnt1.pdf>>. Acesso em 14 ago. 2017.
- 2 ANDERSON, A.; SWEENEY, A.; WILLIAMS G., “**Quantitative Approaches to Decision Making**”. South Western College Publishing, 1999, 9th Edition, p.666-671.
- 3 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Norma Brasileira Regulamentadora – NBR5462: Confiabilidade e Manutenabilidade. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.
- 4 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 5462. Rio de Janeiro, 1994.
- 5 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Sistemas de gestão da qualidade - Requisitos: NBR ISO 9001*. Rio de Janeiro, 2000.
- 6 ASTM D2270–10<sup>e1</sup>. “Standard Practice for Calculating Viscosity Index from Kinematic Viscosity at 40 and 100 °C”.
- 7 BARNES, M. Viscosity-how it is measured and reported. **Practicing Oil Analysis**, p. 46-50, 2002.
- 8 BARRACLOUGH, T. G.; SPERRING. T. P.; ROYLANCE, B. J.; NOWELL, T., “**Generic-based Wear Debris Identification –on the first step towards morphological classification**”. In Proceeding of the International Conference on Condition Monitoring, Swansea, 1999, p.525-538, Coxmore Publishing, Oxford.
- 9 CAMPOS JÚNIOR, E. E. **Reestruturação da área de planejamento, programação e controle na Gerência de manutenção Portuária – CVRD**. 2006. 74f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica). Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 2006. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/50480408/3/HISTORICO-DA-MANUTENCAO>>. Acesso em: 14 ago. 2017.
- 10 FERREIRA, L. L.. Implementação da Central de Ativos para melhor desempenho do setor de manutenção: um estudo de caso Votorantim Metais. 2009. 60f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2009.
- 11 FILHO, R. A. Introdução à Manutenção Centrada na Confiabilidade – MCC. Programa de Atualização Técnica 2008 – Sistema FIRJAN - SESI/SENAI – Rio de Janeiro.
- 12 FOGLIATTO, F. S.; RIBEIRO, J. L. D. Confiabilidade e Manutenção Indústria. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.
- 13 GIANESE, I. G. N.; CORRÊA, H. L. Administração Estratégia de Serviços. São Paulo: Atlas, 2010.
- 14 IQA – INSTITUTO DA QUALIDADE AUTOMOTIVA. Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial – Manual de Referência. Automotive Industry Action Group, 4ª Edição, 2008.
- 15 KARDEC, A.; NASCIF J. Manutenção: função estratégica. 3ª edição. Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobrás, 2009. 384 p.
- 16 KIMURA, R. Uso da Técnica de Análise de Óleo Lubrificante em Motores Diesel Estacionários, Utilizando-se Misturas de Biodiesel e Diferentes Níveis de Contaminação do Lubrificante. 2010. 128 f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia, UNESP, São Paulo, 2010
- 17 MOUBRAY, J. Introdução à Manutenção Centrada na Confiabilidade. São Paulo: Aladon, 1996.
- 18 MOURA, C. R.; CARRETEIRO, R. P. Lubrificantes e lubrificação. Rio de Janeiro: Livros técnicos e Científicos, 1978. v.1.

- 19 NETTO, W. A. C. A Importância e a Aplicabilidade da Manutenção Produtiva Total (TPM) nas Indústrias. 2008. 53f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2008.