

IMPACTO DO ACUMULO DE RODAGEM NA DEGRADAÇÃO DE ÓLEO LUBRIFICANTE PARA MOTOR CICLO DIESEL

Luiz Enrique de Matos Assis¹, L. Lefol Nani Guarieiro^{1,2}

¹Faculdade de Tecnologia Senai Cimatec, 41650-010, Salvador, BA, Brasil

²INCT de Energia e Ambiente, UFBA, 40170-290, Salvador, BA, Brasil.

E-mail: luiz.assis@7lub.net, lilian.guarieiro@fieb.org.br

RESUMO

Os óleos lubrificantes em uso podem ser constantemente avaliados como sistema gerador de informações à manutenção mecânica do motor, principalmente para provisionamento de custos e programação de drenagem do óleo em serviço. Dentro deste contexto, este trabalho teve como objetivo avaliar o impacto do acúmulo de rodagem na degradação de óleo lubrificante para motor ciclo diesel. Foram utilizados dados referentes ao período de utilização dos óleos lubrificantes no acúmulo de diferentes períodos de quilometragem (10.000, 15.000, 20.000, 25.000, 30.000, 35.000 e 40.000 Km) de vinte veículos com motores ciclo diesel. Cinco variáveis foram avaliadas: oxidação, viscosidade e desgaste metálico (teor de ferro, cobre e silício). Análise de Variância (ANOVA) e Análise de Componente Principal (PCA) foram utilizadas para uma melhor mineração dos dados obtidos nos ensaios. Os dados obtidos demonstram que a qualidade do óleo utilizado reflete no acúmulo crescente de quilometragem do veículo e que a degradação do óleo está também relacionada com as condições de rodagem do veículo.

Palavras-chave: *óleos lubrificantes; motor diesel; qualidade; drenagem de óleo lubrificante;*

ABSTRACT

The analysis of lubricating oils for diesel engines are important as information generating system for mechanical maintenance of the engine, especially for provisioning costs and oil drain programming service. However, the reliability of these oils stay in the crankcase can be treated formally through statistical reliability methods. Thus, this study aimed to conduct an assessment of the extent of the drain interval of lubricating oils for diesel engines using statistical tools to estimate the degree of lubricant reliability in different periods of use. Data were used for the period of use of lubricating oils in kilometers twenty diesel engines. Five variables were evaluated: oxidation, viscosity and metal wear with the iron content, copper and silicon. Analysis of Variance (ANOVA) and Principal Component Analysis (PCA) were used for better data mining from tests. The data show that the quality of the oil reflects used

in a reliable extension of the lifetime of the same, but in some cases this factor will depend upon the vehicle driving conditions.

Keywords: *lubricant; diesel engine; quality; lubricant oil drain;*

INTRODUÇÃO

Os motores de combustão interna (MCI), neste caso os de ciclo Diesel, tornaram-se indispensável para vários setores da economia, desde o segmento de transporte de carga a transporte de passageiros. Existem diversos trabalhos relacionados a maneiras para obtenção do máximo rendimento e durabilidade desses motores e, com isso, também diminuir as emissões de gases nocivos ao meio ambiente.

Com o passar do tempo, o óleo aplicado no motor ciclo Diesel perde a suas propriedades. Com isso, a proteção que reveste as partes móveis que ficam em contato no seu interior, como bielas, anéis, cilindros, válvulas, entre outras peças, sofrem excessivo desgaste e consequente diminuição na sua vida útil. Para preservar e conservar o motor ciclo Diesel é muito importante avaliar o período ideal para drenagem do óleo aplicado, ação que representa economia, oferece maior vida útil, além de ajudar a resfriar e limpar o motor.

Em termos de elementos de máquinas, em especial MCI, a área de desenvolvimento de novos lubrificantes que reduzem o atrito tem recebido destaque, com consequente redução do desgaste. Para responder a esta demanda, foi escolhida como área de estudos as perdas mecânicas, mais precisamente aquelas causadas por lubrificação ineficiente que geram um acentuado desgaste e desprendimento de metais dos componentes lubrificados e estudos relacionados a degradação química e física do lubrificante com o decorrer do seu uso no motor, irregularidades estas facilmente identificadas pela análise de óleo.

Sendo assim, a análise do lubrificante consiste em coletar amostras de óleo em um determinado período de funcionamento do motor e, logo após avalia-las para determinar alterações tanto no motor quanto no óleo lubrificante [1].

Através de estudos realizados no perfil das partículas encontradas no filtro de óleo do motor após a drenagem do mesmo, com o objetivo de obtenção de informações sobre o desempenho e monitoramento do motor, pesquisadores [2] concluíram que os filtros possuem informações relevantes sobre as partículas de desgaste e outros contaminantes sólidos, ratificando assim a importância da substituição do filtro de óleo lubrificante no ato de drenagem do mesmo.

Recentemente [3] foi utilizado um procedimento para examinar óleos lubrificantes usados no transporte público, em Teresina-PI. As amostras de óleo usado apresentaram uma tendência de aumento na concentração de todos os metais analisados em relação ao óleo novo, sugerindo ainda que o aumento na concentração, desses metais, está relacionado com a qualidade das peças que constituem os motores e o tipo de percurso realizado pelo veículo. Os resultados expostos permitiram sugerir que a presença de Fe, Cu e Ni em óleos lubrificantes

usados é influenciada pelos fatores: ano de fabricação, distância percorrida e tipo do motor do veículo.

Outro estudo [4] focado nos níveis de desgaste através de análise de óleo lubrificante em motores diesel estacionários, utilizando diferentes misturas de biodiesel concluiu que em relação aos ensaios feitos, as imagens obtidas na ferrografia analítica indicaram que as partículas de desgaste possuem dimensões e morfologias normais para o regime de trabalho adotado, e as dimensões em sua maioria não ultrapassaram 10 μm , tamanhos este considerado como um desgaste normal. Em relação aos valores encontrados através da absorção atômica indicam a presença normal dentre os valores obtidos dos elementos. A avaliação realizada para determinar se os níveis de partículas encontrados estão dentro da normalidade baseou-se no monitoramento contínuo do equipamento, desta forma uma alteração brusca nas quantidades dos elementos presentes no óleo indicaria uma falha ou uma possível interferência externa (desalinhamento, desbalanceamento, sobrecarga) sobre o equipamento. Dessa forma, os autores concluíram que o uso de misturas diesel biodiesel não influenciou significativamente os resultados obtidos.

Existem também estudos em relação a manutenção preditiva de MCI movidos à gasolina [5], através da técnica de análise de lubrificantes, onde ele defende que esta análise permite identificar com clareza os primeiros sintomas de desgaste de um componente e que esta identificação é feita a partir do estudo da quantidade de partículas, tamanho, forma e composição, que fornecem informações sobre as condições das superfícies em movimento sem a necessidade de se desmontar o conjunto a qual estas partes pertencem. Analisando o óleo de dois MCI, à gasolina, um em estado avançado de deterioração e um outro novo, montados em uma bancada dinamométrica e com fornecimento de carga através de um redutor de velocidades, a pesquisa demonstrou que mesmo o motor em estado avançado de deterioração, a geração de partículas nem sempre é grande e que a utilização de apenas uma técnica de análise de lubrificante não é o suficiente para se determinar o estado do motor.

A variação na espessura do filme de óleo lubrificante ao longo de um ciclo é a razão das alterações do regime de atrito dos anéis do pistão, com conseqüente mudança nos regimes de lubrificação [6]. Pode ser estimada uma redução de 10% do atrito de acionamento do automóvel resultaria em até 3% de economia de combustível e uma redução de 18.750 toneladas na emissão de CO_2 .

Através do estudo da degradação do óleo de um MCI (análises de presença de metais e viscosidade) montado sob uma bancada dinamométrica e sua correlação com ensaios em campo, pesquisadores [7] concluíram um comportamento semelhante a uma condição confirmaram que este tipo de ensaio e pode ser utilizado para investigar características dos óleos lubrificantes. Neste sentido, em um estudo [8] realizado em 16 motores de tratores agrícolas estudando 6 diferentes variáveis (viscosidade, ponto de fulgor, diluição por combustível, fuligem, presença de água e desgaste metálico), mostrou que a utilização de ferramentas estatísticas aliada a análise do óleo lubrificante pode contribuir de forma mais assertiva na conclusão dos resultados, além de oferecer maior confiabilidade ao mesmo. Assim, utilizando um modelo do estimador de Kaplan Meier e de Cox [8] foi possível

identificar o comportamento do óleo lubrificante durante o período de uso de todos os motores estudados.

Os óleos lubrificantes desempenham um papel chave no aumento da vida de trabalho das máquinas rotativas. Afim de manter uma lubrificação apropriada, é importante não só utilizar óleos com propriedades adequadas, mas também controlar o seu estado de degradação de uma forma periódica [7]. O intervalo ideal de drenagem de um óleo lubrificante é feito pelos fabricantes de motores e se baseiam em médias obtidas pela observação dos hábitos de uso dos veículos por parte dos usuários [9], ou seja, baseia-se no tipo de serviço/operação em que o motor irá operar. Atualmente, através de uma legislação ambiental, requisitos tecnológicos, e pressão dos consumidores da indústria automotiva, exige-se que os lubrificantes tenham maior intervalo de drenagem e maior desempenho (menor desgaste de componentes e maior economia de combustível) [7]. Neste contexto, análises físico-químicas de óleos lubrificantes para motores de combustão interna são importantes para o controle de sua qualidade e para aumentar a vida útil dos equipamentos em que estes são utilizados. Através das análises dos lubrificantes, obtêm-se preciosas informações acerca do estado de conservação em que se encontram. Assim, as análises de óleo lubrificante são indicadores das condições do mesmo, possibilitando a otimização dos intervalos de troca e tempo de serviço, diminuindo os custos com a lubrificação [10]. Além disso, a avaliação periódica da qualidade do óleo utilizado no motor permite verificar a deterioração precoce do óleo e a procedência dos contaminantes metálicos, como indicado na Tab. 1, evitando danos aos mecanismos lubrificados.

Tabela 1 – Fontes típicas de elementos metálicos presentes no óleo lubrificante [10].

Elemento	Fontes típicas
Alumínio	Pistões e mancais
Cobre	Mancais, buchas e peças de bronze
Ferro	Cilindros, camisas, ferrugem e virabrequim
Silício	Poeiras
Zinco	Mancais e chapas galvanizadas
Chumbo	Mancais, gasolina e tintas

Dentre as metodologias de análise empregadas para avaliar a qualidade dos óleos lubrificantes, pode-se destacar o emprego da análise espectroscópica, que nos fornece meios rápidos para determinação dos elementos inorgânicos presentes nos óleos lubrificantes usados: metais de desgaste, de contaminação externa e de aditivos presentes [9]. Embora esta análise seja recomendada pelos fabricantes de motores, a viabilidade das análises periódicas somente foi reconhecida nas indústrias nacionais nas últimas décadas [11].

A confiabilidade tem sido uma das técnicas estatísticas empregadas com sucesso nas mais diversas áreas, permitindo uma abordagem objetiva dos problemas de funcionamento de produtos e estabelecendo critérios comuns para estudos. Desta maneira, uma análise do tempo de falha pode ser utilizada neste contexto, pois consiste num conjunto de técnicas estatísticas aplicadas à análise de dados de durabilidade, os quais podem ser oriundos de dados de campo [12]. Através da análise de variância pode se estimar as médias das populações sob estudo,

estudando ao longo do período o comportamento da variância calculada usando a média e, posteriormente comparando-a com a variância calculada sem utilizar a média.

A extração de informações dos resultados de um experimento envolve a análise de um grande número de variáveis [13]. Muitas vezes, um pequeno número destas variáveis contém as informações químicas mais relevantes, enquanto que a maioria das variáveis adiciona pouco ou nada à interpretação dos resultados em termos químicos. A decisão sobre quais variáveis são importantes é feita, geralmente, com base na intuição ou na experiência, ou seja, baseado em critérios que são mais subjetivos que objetivos. Isso justifica aplicação de ferramenta estatística para análise multivariada, a análise de componentes principais (PCA) que propõe a redução de variáveis através de critérios objetivos, permitindo a construção de gráficos bidimensionais contendo maior informação estatística.

O objetivo principal da análise de variância (ANOVA) é a comparação de mais do que dois grupos no que diz respeito à localização. Como exemplo podemos utilizar uma situação em que se deseja testar a eficácia de um novo fertilizante no tratamento de determinada praga através da administração de três tratamentos diferentes: o novo fertilizante, outro já existente no mercado para tratar a praga em questão e um placebo. Todos os tratamentos são usados em plantas que sofrem desta praga distribuídos aleatoriamente por três grupos. A análise de variância auxilia justamente na mineração dos resultados obtidos em testes como este, procurando dar respostas através da comparação das localizações dos diferentes grupos, e esta comparação é feita a partir da análise da dispersão presente no conjunto de dados.

A meta da análise de componentes principais é abordar aspectos como a geração, a seleção e a interpretação das componentes investigadas. Ainda pode-se determinar as variáveis de maior influência na formação de cada componente, que serão utilizadas para estudos futuros, tais como de controle de qualidade, estudos ambientais, estudos populacionais entre outros [13].

Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o impacto do acúmulo de rodagem na degradação do óleo lubrificante para motor ciclo diesel através da análise de algumas propriedades físico-químicas de lubrificantes aplicando análise de variância (ANOVA) e análise de componentes principais (PCA) nos resultados obtidos através de ensaios realizados no óleo lubrificante de motor ciclo diesel durante um período de utilização superior (40.000 Km) ao proposto pelo fabricante do motor (30.000Km).

METODOLOGIA

2.1 Veículos utilizados no acúmulo de rodagem

Para avaliar os efeitos dos parâmetros operacionais do sistema motriz sobre a degradação do óleo lubrificante foram coletadas amostras de 20 ônibus da marca Volkswagen, modelo 17230 EOD, ano de fabricação 2010 e 2011, de operação diária estritamente urbana, com quilometragem média diária em torno de 210 Km e equipados com motor MWM 6.12 TCE – Euro 3 com dados técnicos descrito na (Tabela 2).

Tabela 2 – Especificações Técnicas do motor [14].

Especificações	
Nº de cilindros / cilindrada (cm ³)	6 em linha / 7.2
Diâmetro do pistão (mm)	105
Curso do pistão (mm)	137
Relação de compressão	16,9:1
Potência liq.máx – cv(kW)@rpm*	225(165)@2.200
Torque liq.máx – kgfm(Nm)@rpm	84,6(830)@1.200-1.600
Sequência de injeção	1-5-3-6-2-4
Sistema de injeção	Common Rail
Compressor de ar	Knorr – LK 38
Norma de emissões	Conama P5

(*) *Valores conforme ensaio NBR ISSO 1585*

Foram realizados ensaios no óleo lubrificante em diferentes acúmulos de quilometragens (Km): 10.000, 15.000, 20.000, 25.000, 30.000, 35.000 e 40.000, com variação de mais ou menos 1.500 Km. O modelo do motor selecionado para o estudo possui seis cilindros em linha da Cummins introduzido em serviço em 2010 (10 veículos) e em 2011 (10 veículos). Estes são constituídos por três anéis (anel de topo, anel raspador de óleo e anel de controle de óleo). O motor é refrigerado a solução arrefecedora, composta de 50% de água e 50% de fluido de arrefecimento à base de monoetilenoglicol e naturalmente aspirado com injeção indireta.

2.2 Coleta e caracterização físico-química do óleo lubrificante

Na avaliação da degradação de óleo lubrificante com acúmulo de rotação foi realizada utilizando o lubrificante de especificação SAE 15W40, segundo norma ASTM D 445, classificação American Petroleum Institute API CI-4, e com viscosidade de 14,2 cSt à 100°C.

Na coleta do lubrificante foi utilizada uma bomba de vácuo manual, a qual estava fixado o recipiente plástico para armazenamento da amostra. O óleo foi coletado através de uma mangueira direcionada para a tubulação da vareta de medição de nível, a uma altura pré-determinada, o meio do cárter de óleo.

A caracterização físico-química das amostras coletadas foi realizada utilizando as metodologias descritas na Tab. 3. Para avaliação da oxidação foi utilizado o número **6 u.a.** como nível de alerta para oxidação, que corresponde aproximadamente a 20% acima do nível em que o óleo sai de fábrica.

Tabela 3 – Métodos de análise utilizados na avaliação dos óleos lubrificantes.

Tipo de Análise	Método	Equipamento
Viscosidade	ASTM D445	Viscosímetro automático
Oxidação	AMS 1707	Espectrofotômetro

Metais de desgaste (Fe, Cu, Si)	ASTM D5185	Espectrofotômetro
---------------------------------	------------	-------------------

2.3 Avaliação da degradação de óleo lubrificante utilizando ANOVA e PCA

A análise de variância, utilizando o software Excel 2010, foi aplicada aos resultados obtidos através dos ensaios realizados no óleo lubrificante para diferentes acúmulos de quilômetros. Os valores para a variância, estes chamados de “f” encontrados com os dados obtidos, são comparados aos valores da variância “f crítico” calculado no período analisado, sendo que para ANOVA, não existe diferença significativa entre as médias enquanto “f” for menor que “f crítico”.

Os períodos foram analisados separadamente para facilitar a percepção de em que ponto específico temos uma diferença considerável entre as médias da população para todas as variáveis de entrada escolhidas. Assim, este ponto determinará, por uma visão estatística, a perda das propriedades físico-químicas do lubrificante, onde sua permanência no cárter aumenta o risco de falha para o motor.

Em seguida, à todos os resultados obtidos aplicou-se a análise de componentes principais (PCA), para avaliar a influências estatísticas entre as variáveis.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da aplicação do método estatístico ANOVA aos resultados obtidos através dos ensaios em lubrificantes usados, agrupando-os em diferentes períodos de troca, podemos observar que uma variável começa a apresentar diferença significativa entre as médias no início da operação (25.000 Km), como o Silício, outra variável apresenta esta diferença aos 30.000 Km como o Cobre, no entanto as variáveis mais significativas como: Viscosidade, Oxidação e Teor de Ferro apresentaram diferença entre as médias somente aos 35.000 Km de uso, período este já superior ao recomendado pelo fabricante para substituição do óleo, como podemos observar no Figura 1 abaixo:

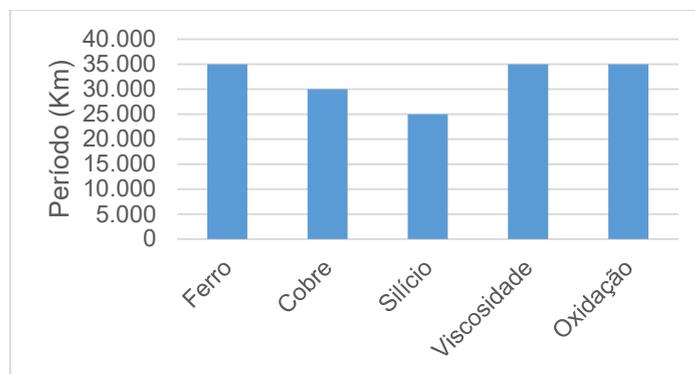


Figura 1 – Aplicação da Análise de Variância às propriedades estudadas

A variável Ferro e Cobre são metais tidos como de desgaste do motor, oriundos de partes móveis, diferente do Silício que é definido como um contaminante externo, o que pode explicar sua reação tão precocemente. O processo de oxidação é catalisado pela alta temperatura de operação do motor, sendo este de regime urbano de uso, opera na maior parte do tempo com alta rotação em marcha reduzida, o que aumenta significativamente a temperatura média do motor.

A ANOVA permitiu avaliar com segurança o impacto do acúmulo de rodagem no tempo de utilização do óleo lubrificante no motor dos veículos analisados, demonstrando que o óleo apresenta bons resultados para viscosidade mesmo em períodos superiores ao proposto pelo manual dos veículos analisados (35.000 Km), que nos leva a crer que a presença de contaminante externo e a oxidação não alteraram substancialmente esta variável.

Através da análise de variância foi observado também que as variáveis viscosidade, oxidação e as de desgaste metálico (Ferro) não tiveram efeito significativo sobre a distância acumulada de 30.000 Km rodados, estabelecido pelo programa de manutenção do motor recomendado pelo manual. Para o acúmulo de rodagem de 40.000 Km, embora o teor de Silício e Cobre tenham contribuído significativamente para diferença entre as médias aos 25.000 Km e 30.000 Km respectivamente, as outras variáveis se mantiveram dentro da confiabilidade e, estes resultados isolados não contribuíram para influir no período em questão.

Abaixo resumo dos resultados que demonstram os valores de “F” e “F Crítico” mensurados através do software Excel 2013 a partir dos resultados encontrados após análise físico-química da carga lubrificante (Tabela 4):

Tabela 4 – Valores de F e F Crítico para as variáveis estudadas.

ANOVA - Oxidação		
Período (Km)	F	F Crítico
10.000-15.000	0,0981	4,0982
10.000-20.000	0,3363	3,1588
10.000-25.000	1,7259	2,7249
10.000-30.000	2,3250	2,4675
10.000-35.000	10,3385	2,2939
10.000-40.000	39,2431	2,1674

ANOVA - Viscosidade		
Período (Km)	F	F Crítico
10.000-15.000	0,4578	4,0982
10.000-20.000	1,7356	3,1588
10.000-25.000	1,1910	2,7249
10.000-30.000	1,8425	2,4675
10.000-35.000	4,4866	2,2939
10.000-40.000	8,5304	2,1674

ANOVA - Cobre		
Período (Km)	F	F Crítico
10.000-15.000	0,3696	4,098172
10.000-20.000	0,2776	3,158843
10.000-25.000	1,0897	2,724944
10.000-30.000	16,825	2,467494
10.000-35.000	26,068	2,293911
10.000-40.000	35,644	2,167423

ANOVA - Ferro		
Período (Km)	F	F Crítico
10.000-15.000	0,0083	4,0982
10.000-20.000	0,0470	3,1588
10.000-25.000	0,5659	2,7249
10.000-30.000	2,1031	2,4675
10.000-35.000	9,6603	2,2939
10.000-40.000	17,7843	2,1674

10 e 11 de setembro de 2015 / Salvador, Bahia, Brasil

ANOVA - Silício		
Período (Km)	F	F Crítico
10.000-15.000	0,7928	4,0982
10.000-20.000	2,5891	3,1588
10.000-25.000	6,3684	2,7249
10.000-30.000	15,8631	2,4675
10.000-35.000	18,6732	2,2939
10.000-40.000	27,5995	2,1674

3.1 Análise de Componentes Principais (PCA)

A análise de componentes principais consistiu essencialmente em reescrever as coordenadas das amostras em outro sistema de eixo mais conveniente para a análise dos dados e avaliar a relação entre as variáveis em estudo. Na Figura 2 estão os resultados obtidos das análises do óleo lubrificante com objetivo de reduzir critérios que são mais subjetivos que objetivos.

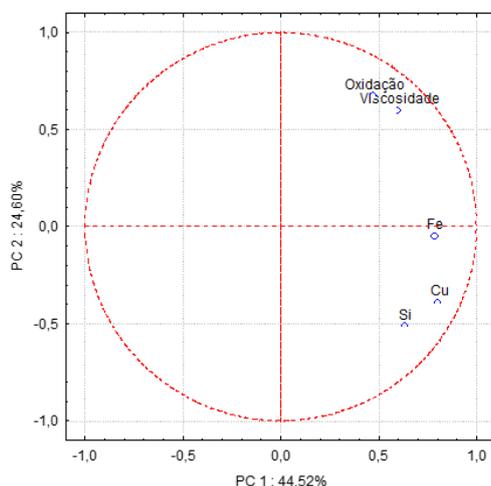


Figura 2 – Aplicação da Análise de Componentes Principais às propriedades estudadas

Analisando os resultados apresentados na Figura 2, podemos observar que as variáveis possuem pouca influência estatística entre si, ou seja, uma alteração na viscosidade, estatisticamente, não tem relação com a diminuição ou aumento no teor de cobre. Esta inferência pode ser observada comparando a distância entre as variáveis em relação ao eixo horizontal, pois quanto maior for a distância relativa entre as variáveis em relação a este eixo maior será a influência da variável que apresentar esta distância sobre as outras.

CONCLUSÃO

Dentro dos objetivos propostos por este trabalho, podemos concluir que a extensão do prazo de uso do óleo lubrificante até 40.000 Km não afetará de forma significativa as propriedades do óleo estudado. Contudo, pôde ser observado estatisticamente o ponto início (Km) onde as variáveis estudadas iniciam seu processo de “perda de características”. Assim, proprietários de veículos que utilizam o lubrificante especificado no presente trabalho e motores dentro dos

padrões estudados, poderão estender o prazo de troca até 40.000 km, desde que sejam realizadas as análises dos óleos lubrificantes dos motores, e isso irá garantir uma economia significativa com trocas evitadas, aumento de disponibilidade de equipamento e recurso humano além de uma redução no descarte de lubrificante usado.

REFERÊNCIAS

- [1] Fygueroa, S. J. *Mantenimiento de motores diesel*. Universidad de los Andes, Escuela de Ingeniería Mecánica, Mérida Venezuela, 1997.
- [2] MOUSA, M., & Gohar, N. S. *Monitoring the wear of internal combustion engines*. El-Minia: Faculty of Engineering, El-Minia University, 2006.
- [3] Silveira, E. L. C., Coelho, R. C., Neto, J. M. M., de Moura, C. V. R., & de Moura, E. M. Determinação de metais em óleos lubrificantes, provenientes de motores de ônibus urbano, utilizando a FAAS. *Quim. Nova*, **2010**, 33, 867.
- [4] Kimura, R. K. *Uso da técnica de análise de óleo lubrificante em motores diesel estacionários, utilizando-se misturas de biodiesel e diferentes níveis de contaminação do lubrificante*, Universidade Estadual Paulista, 2010.
- [5] MALPICA, L. (2007). *Manutenção preditiva de motores de combustão interna, à gasolina, através da técnica de análise de lubrificantes*, Universidade Estadual Paulista, 2007.
- [6] Garcia, M. B., & Schweizer, G. R. S. *Contribuição da Tribologia para a Redução do Consumo de Combustíveis e Emissões de Poluentes*, AEA - Associação Brasileira de Engenharia Automotiva, São Paulo, 2011.
- [7] Lee, P. M., Stark, M. S., Wilkinson, J. J., Priest, M., Smith, J. L., Taylor, R. I., & Chung, S. The degradation of lubricants in gasoline engines: development of a test procedure to evaluate engine oil degradation and its consequences for rheology. *Tribology and Interface Engineering Series*, **2005**, 48, 602.
- [8] Ferreira, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, **2011**, 35, 1042.
- [9] RUNGE, P. R., DUARTE, G., & GEMPERLÉ, R. *Lubrificação automotiva*. Trihoconcept editora técnica, São Paulo, 1994.
- [10] Alves, G. F. *Análise de confiabilidade aplicada aos ensaios de óleos lubrificantes para motores de tratores*, Universidade Estadual Paulista, 2007.
- [11] CARRETEIRO, R. P., & Belmiro, P. N. A. *Lubrificantes e lubrificação industrial*. Interciência: IBP, Rio de Janeiro, 2006.
- [12] Freitas, M. A., & Colosimo, E. A. *Confiabilidade: análise de tempo de falha e testes de vida acelerados*. Escola de Engenharia da UFMG/Fundacao Christiano Ottoni, 1997.
- [13] Neto, J. M. M., & Moita, G. C. Uma introdução à análise exploratória de dados multivariados. *Química Nova*, **1998**, 21, 469.
- [14] Manual Técnico do Volksbus 17230, 2010/2011.