

ARTIGO ORIGINAL

OTIMIZAÇÃO DO USO DE ÓLEO LUBRIFICANTE EM EQUIPAMENTOS MÓVEIS

ORIGINAL ARTICLE

OPTIMIZATION OF THE USE OF LUBRICATING OIL IN MOBILE EQUIPMENT

Renan Carvalho de Almeida¹

Raphael Pereira²

Faculdade Estácio de Vitória – FESV, Brasil

RESUMO

O presente estudo de caso teve como objetivo aumentar a campanha de troca de óleo de motor diesel com base na análise de degradação através da inspeção preditiva e engenharia da confiabilidade, aplicando a técnica em pás carregadeiras Caterpillar, do modelo 966H. As trocas dos lubrificantes são especificadas pelo fabricante, onde a cada 250 horas de operação o equipamento deve parar para manutenção e realizar a substituição dos mesmos. Porém, surgiu a dúvida e o interesse em saber se essas trocas eram de fato necessárias, pois o próprio fabricante omite em fornecer informações da “vida útil” e qualidade do óleo a 250 horas de operação para seus clientes. Buscou-se com esse estudo investigar informações do óleo seguindo parâmetros e indicações de desgastes aceitáveis como, por exemplo, viscosidade, ponto de fulgor, diluição por combustível, fuligem, presença de água e desgastes metálicos do motor (Fe, Cu, Cr, Pb, Al e Si), informações estas, que foram obtidas através de análises laboratoriais de amostras coletadas do equipamento estudado.

Palavras-chave: Lubrificante. Motor diesel. Confiabilidade.

ABSTRACT

The present case study aimed to increase the diesel engine oil change campaign based on the analysis of degradation through predictive inspection and reliability engineering, applying the technique on Caterpillar loaders, model 966H. Lubricant changes are specified by the manufacturer, where every 250 hours of operation the equipment must stop for maintenance and replace them. However, doubts and interest arose as to whether these changes were really necessary, as the manufacturer itself fails to provide information on the “useful life” and oil quality at 250 hours of operation for its customers. The aim of this study was to investigate oil information following acceptable wear parameters and indications, such as viscosity, flash point, fuel dilution, soot, water and metallic wear of the engine (Fe, Cu, Cr, Pb, Al and Si), information that was obtained through laboratory analysis of samples collected from the studied equipment.

Keywords: Lubricant. Diesel engine. Reliability.

1 INTRODUÇÃO

O termo Equipamentos Móveis é definido como sendo máquinas de operações de escavação, carga, transporte, descarga, compactação, içamento e

¹ Estudante do Curso de Graduação em Engenharia de Produção. E-mail: renan.carvalhodealmeida@gmail.com

² Mestre e professor da FESV. E-mail: raphael.ppereira@estacio.br.

acabamento. Estes são classificados conforme sua finalidade, dentre eles as Unidades Escavo-Carregadoras, as Unidades de Tração ou Tratores, Unidades Escavo Empurradoras, Unidades Aplanadoras, Unidades de Transporte e Unidades Compactadoras (ABNT, 2011).

Dentre os equipamentos que fazem parte das unidades Escavo Carregadoras, tem-se as Pás Carregadeiras, que são tratores de pneus ou esteiras, com caçambas na dianteira que escavam, levantam e descarregam material a uma altura de até 3 m. Há vários tamanhos e modelos de equipamentos, porém, para o estudo de caso, foi adotado como piloto uma Pá Carregadeira sobre rodas da marca CATERPILLAR modelo 966H. Seu motor é de combustão interna com 6 cilindros em série e potência bruta de 209 kW (281 HP) a 1800 rpm. Seu peso bruto é de 23125 kg e sua capacidade de carga da concha varia entre 3,40 a 4,60 m (CATERPILLAR, 2012).

Para garantir que os equipamentos apresentem performance conforme foram projetados e com custo baixo, há necessidade de mantê-los. Manutenção é uma palavra derivada, no latim “*manus tenere*” que significa manter o que se tem. Com a revolução industrial, nos meados do século XVIII, a sociedade começou a produzir muito mais os chamados bens de consumo. E daí em diante não parou, cada vez mais foram os avanços, as novidades nas áreas tecnológicas e no volume de produção. Existem três abordagens básicas para manutenção: Manutenção Corretiva, Preventiva e Preditiva.

A lubrificação surgiu da necessidade de minimizar o atrito, e da mesma maneira que existem diferentes tipos de atrito, existem diferentes tipos de lubrificantes. Os diferentes tipos de atrito são encontrados em qualquer tipo de movimentos entre sólidos, líquidos ou gases. No caso de sólidos, o atrito pode ser definido como a resistência que se manifesta ao se movimentar um corpo sobre o outro.

A função do óleo lubrificante é de sacrifício, pois ele deve arrastar todas as impurezas e desgastes, evitando que as mesmas se depositem no motor. O lubrificante ao mesmo tempo em que lubrifica ele refrigera, e também age como

agente de vedação contra combustão e a entrada de contaminantes externos ao compartimento (CASTROL, 2004).

Um das classificações dos óleos é quanto sua origem e pertencem a quatro categorias: óleos minerais, óleos vegetais, óleos animais e óleos sintéticos. Os óleos também são classificados quanto a sua viscosidade e teor de enxofre. A viscosidade indica a resistência ao escoamento do óleo lubrificante e o índice de viscosidade é a propriedade que mede a variação de viscosidade de um óleo de acordo com a variação da temperatura (ZAMBONI, 2008)

A viscosidade é a principal propriedade física de um óleo lubrificante e um dos fatores na seleção do lubrificante e influência em diversas condições como, velocidade, pressão, temperatura, folgas, acabamento, etc. Outras propriedades físico-químicas são a estabilidade dos lubrificantes quanto a oxidação, demulsibilidade, índice de acidez, índice de basicidade, diluição dentre outras.

O equipamento estudado nesse projeto tem alto valor agregado e grande importância na sua área de atuação, por isso é necessário garantir maior tempo de operação, confiabilidade e qualidade.

A lubrificação é uma ferramenta muito importante na gestão da manutenção, na redução de custos e maximização da produção por meio da redução de falhas nos equipamentos e é essencial para a plena utilização da vida útil do equipamento e, conseqüentemente, a melhoria financeira da empresa. Pinto e Nascif (2009) ressaltam que a lubrificação deve ser realizada para melhorar o desempenho operacional, obedecendo primordialmente a um plano previamente elaborado, baseado em intervalos definidos de tempo.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 O USO DE ÓLEO LUBRIFICANTES EM EQUIPAMENTOS

O uso de lubrificantes tem como principal função minimizar o contato entre as peças móveis, evitando, assim, maiores desgastes (redução de atrito) e geração de

calor (resfriamento do motor) e, além destes benefícios, proporciona limpar o motor e mantê-lo limpo, proteção contra corrosão e formação de ácidos em seu interior, redução de ruídos, auxilia na vedação da câmara de combustão e contribui para diminuição de consumo de combustível (SANTOS, 2015).

A lubrificação surgiu da necessidade de minimizar o atrito, e da mesma maneira que existem diferentes tipos de atrito, existem diferentes tipos de lubrificantes. Os diferentes tipos de atrito são encontrados em qualquer tipo de movimentos entre sólidos, líquidos ou gases. No caso de sólidos, o atrito pode ser definido como a resistência que se manifesta ao se movimentar um corpo sobre o outro.

Belmiro et al. (2006) destacam que este conceito de lubrificação surgiu como forma de controle da fricção e redução no desgaste de peças, pois consiste na interposição de uma substância fluida entre duas superfícies, evitando, assim, o contato sólido com sólido, produzindo o atrito fluido. Já Runge (1990) diz que a lubrificação se torna simplesmente a aplicação de um filme chamado lubrificante para melhorar a suavidade do movimento de uma superfície sobre a outra, representado por óleos, graxas e outros materiais que evitam atrito.

2.2 OTIMIZAÇÃO DO ÓLEO LUBRIFICANTE

As técnicas de otimização e de confiabilidade utilizadas para a determinação dos intervalos ótimos de manutenção preditiva são baseadas nas análises de degradação de diversos parâmetros de uma análise preditiva e do estudo dos tempos ótimos que minimizam parâmetros globais de um ativo. Para o caso da análise de óleo lubrificante, os parâmetros utilizados são provenientes das análises físico-químicas (água, TAN, TBN, viscosidade, contagem de partículas etc), análises espectrométricas para desgastes de metais (Ferro, Cobre, Cromo, Alumínio etc), análises espectrométricas para aditivos (Molibdênio, Magnésio, Cálcio etc) e análises espectrométricas para contaminantes (Sódio, Silício, Potássio etc) (MOBLEY, 2002).

A otimização do óleo lubrificante consiste em aumentar sua vida útil em atuação nos equipamentos, utiliza-se técnicas de manutenção preditiva. A técnica

preditiva de análise de óleo lubrificante fornece diversos parâmetros físico-químicos e espectrométricos que podem ser utilizados na análise de degradação e por conseguinte na determinação dos intervalos ótimos de manutenção preditiva (MOBLEY, 2002).

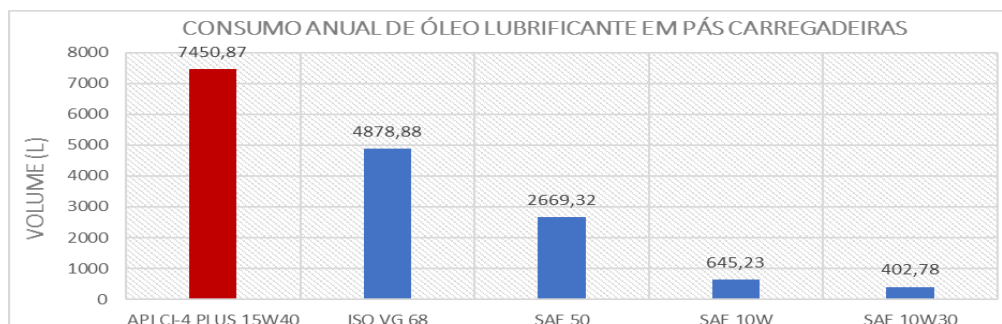
A análise de degradação é uma técnica muito aplicada na área de engenharia da confiabilidade para obtenção de modelos estatísticos baseados no comportamento degradativo de um dado mecanismo de falha. Esta técnica baseia-se nas medições, ao longo do tempo, de um parâmetro de degradação, permitindo a extrapolação dos dados até o ponto da falha e desta forma obter o modelo estatístico do modo de falha de um ativo.

3 MÉTODO

O presente trabalho teve por objetivo investigar a qualidade do óleo utilizado em pás carregadeiras, de modo a verificar a possibilidade de aumento do tempo de campanha de troca de óleo, com a finalidade de diminuir custos e fazer um melhor aproveitamento deste óleo. Buscou-se no sistema SAP de manutenção, o consumo anual dos óleos lubrificantes aplicados na frota de Pás Carregadeiras, conforme mostrado no gráfico 1.

Este levantamento foi feito considerando um total de 26 equipamentos do modelo 966H CAT com regime de operação de 24 horas e manutenções sendo realizadas a cada 250 horas, conforme especificado pelo fabricante.

Gráfico 1 - Consumo anual de óleo lubrificante



Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

Notou-se que o óleo de motor API CI-4 PLUS 15W40, obteve o maior volume de utilização, e com isso aumenta-se o custo com a manutenção do ativo e também o número de resíduos oleosos para o descarte, algo que preocupa, pois se não bem segregado pode causar danos irreversíveis ao meio ambiente e multas para a empresa. No quadro 1 observa-se o volume de utilização e os gastos financeiros obtidos com as manutenções preventivas dos equipamentos, proveniente somente das trocas de óleo em um determinado ano. Este volume teve como referência a troca do lubrificante a cada 250 horas trabalhadas, conforme solicitado pelo fabricante.

Quadro 1 - Consumo médio de óleo Lubrificante 250 horas

CONSUMO MÉDIO DE ÓLEO LUBRIFICANTE - 15W40					
Classe	Mensal (L)	Anual (L)	Valor Unitário	Valor Mensal	Valor Anual
API CI-4 PLUS 15W40 (250H)	620,91	7450,87	R\$ 4,48	R\$ 2.781,66	R\$ 33.379,90

Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

Toda empresa visa produção seguida de lucro, sendo assim, quando algum custo está acima do esperado, projetos e estudos são realizados para que de alguma forma os gastos sejam diminuídos. Após estes levantamentos, iniciou-se as análises buscando de que forma poderia se diminuir o consumo de óleo lubrificante do motor.

3.1 PROCEDIMENTOS DE COLETAS E ENSAIO

O estudo se iniciou com a coleta de amostras do lubrificante 15W40 em períodos determinados pelo fabricante que são de 250 horas. A partir desta primeira coleta é necessário um monitoramento da qualidade do óleo, e foram atribuídas paradas a cada 100 horas trabalhadas para retirada de amostras, a fim de descobrir o ponto crítico em horas ideal para troca do óleo.

A coleta é feita enquanto o óleo ainda estiver quente, logo após o motor ser desligado, para que todas as partículas estejam misturadas de forma homogênea com o óleo. Uma mangueira plástica nova, e isenta de sujeira, foi utilizada conjuntamente à bomba de sucção manual para a captura do fluido pelo orifício do

tubo da vareta de medição de nível do óleo. A amostra foi armazenada em um frasco e embalada em um saco plástico contendo todas informações pertinentes do equipamento, especificação e horas trabalhadas do óleo.

A amostra foi enviada ao laboratório para avaliação do estado de degradação do óleo lubrificante, o qual permitiu verificar as condições de degradação e desgaste dos componentes internos do motor. O óleo foi submetido a testes de viscosidade, ponto de fulgor, diluição por combustível, fuligem, presença de água e desgastes metálicos do motor (Fe, Cu, Cr, Pb, Al e Si).

O método mais comum e utilizado são os viscosímetros capilares usados para a determinação da viscosidade cinemática dos lubrificantes automotivos e industriais. O princípio de funcionamento destes viscosímetros baseia-se na medição do tempo necessário para que um volume padrão do fluido escoe através do capilar. A partir do conhecimento deste tempo pode-se obter a viscosidade cinemática do fluido, uma vez que a constante de capilaridade do tubo é conhecida. As viscosidades cinemáticas são frequentemente medidas nas temperaturas de 40°C e 100°C (MENEZES et al., 2013; TORBACKE et al., 2014).


4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O estudo e monitoramento da degradação do óleo API CI-4 PLUS 15W40 nos equipamentos durou cerca de 1 ano, e durante esse período as amostras foram retiradas e enviadas para testes laboratoriais. Usou-se como pilotos os equipamentos com os referentes TAGs: PCP16, PCP22 e PCP 19, onde as letras indicam sua frota: Pá Carregadeiras de Pneus, e o número representa a sequência de aquisição do equipamento. Segue abaixo resultados de algumas amostras, informando as horas do momento da coleta, níveis de desgastes dos metais do motor em ppm, e a viscosidade a 100°C (V100°C).

Conforme resultado das análises do equipamento PCP16, em que o óleo API CI-4 PLUS 15W40 foi extraído a 388 horas e o outro a 552 horas, foram submetidos a testes de viscosidade cinemática a 100°C, onde obteve-se um resultado de 13,3 cSt e 13,4 cSt respectivamente. Estes resultados se enquadram dentro do limite

tolerável para a utilização do óleo que é de $12,5 < 16,3$ cSt conforme descrito na tabela 6. Percebeu-se também que a variação da viscosidade foi de 0,1 cSt em um intervalo de 164 horas de uma análise para outra, ou seja, uma variação muito pequena para um grande tempo de utilização do óleo. Com relação aos índices de desgastes internos do motor, obteve-se os resultados mostrados no quadro 2, os quais se enquadram dentro dos limites aceitáveis conforme descrito na tabela 1.

Tabela 1 - Resultado das amostras de óleo PCP16 – Grau de viscosidade

2_VALE PORTO TUBARAO AILTON ALVES		NOME DA EMPRESA : 2_VALE PORTO TUBARAO NÚMERO DE FROTA : CARREGADEIRA COMPARTIMENTO : MOTOR NÚMERO DE SÉRIE : 10PH_VALE FABRICANTE : VOLVO MODELO : VOLVO_OTHER LOCAL DE OPERAÇÃO : 2_PELOTIZACAO / VALE NÚMERO : PROTEÇÃO EPP :		ORDEM SE SERVIÇO : SÉRIE COMPARTIMENTO : MODELO DO COMPARTIMENTO : FABRICANTE DO COMP : NÚMERO DA ETIQUETA : FABRICANTE TIPO DE FLUIDO : LUBRAX15W-40 TIPO DE FLUIDO : DATA VENCIMENTO : PROTEÇÃO EPP :		 Laboratório SOS - Análise Proativa de Fluidos Via Gastao Camargos, 850 Perobas Contagem, MG 32371630 (31) 3359-6666 www.sotreq.com.br				
FAX : TELEFONE : TIPO DE AMOSTRA : OIL										
Nº CONTROLE LABORATÓRIO	DATA COLETA	DATA PROCESSO	HRS/KM EQUIP	HRS/KM ÓLEO	ÓLEO TROCADO*	FLUIDO ADICIONADO	UNIDADES DO FLUIDO ADICIONADO	TIPO DE FLUIDO		
U060-45343-1586	18-Nov-2015	09-Dec-2015	13990 HR	388 HR	Sim					
Normal Nível normal de desgaste. Monitorar nos intervalos regulares. Foi trocado o óleo.										
U060-45229-0032	27-Jul-2015	17-Aug-2015	13053 HR	552 HR	Desconhecido					
Normal Nível normal de desgaste. Óleo em condição de uso. Monitorar nos intervalos regulares. Acompanhar presença de limalhas no filtro de óleo e ruídos anormais. Informar se houve a troca do óleo no período. Primeira amostra do componente. São necessárias mais amostras para acompanhamento da tendência de desgaste.										
Condições do óleo / Contagem de Partículas		ST	OXI	NIT	SUL	W	A	F	V100	Debris
U060-45343-1586		21	12	8	20	N	N	N	13.3	N
U060-45229-0032		8	10	6	19	N	N	N	13.4	N

Fonte: Laboratório de análise proativa de fluidos-CAT

Quadro 2 - Resultado das amostras de óleo PCP16 – Elementos de desgaste


Elementos de desgaste (ppm)	Cu	Fe	Cr	Al	Pb	Sn	Si	Na	K	B	Mo	Ni	Ag	Ca	Mg	Zn	P	Ba
	4	26	2	1	1	0	3	28	0	10	47	1	0	1450	1204	1535	871	0
	7	25	4	5	2	3	9	4	2	87	47	1	0	3157	212	1401	1105	0

Fonte: Laboratório de análise proativa de fluidos-CAT.

Observou-se perante os resultados laboratoriais citados acima, que o óleo lubrificante API CI-4 PLUS 15W40, resiste a maior tempo de trabalho do que o indicado pelo fabricante (troca a cada 250 horas trabalhadas), porém, através de acompanhamento pode-se chegar a 552 horas trabalhadas sem afetar a integridade do motor e sem que se perca as propriedades físico-químicas do óleo.

Através do acompanhamento das análises laboratoriais em intervalos de 100 horas trabalhadas, realizou-se o estudo em outro equipamento piloto, sendo este submetido a trabalhos em turnos de 24 horas e sua troca de óleo realizada somente por condição, que significa que o óleo de motor API CI-4 PLUS 15W40, deve ser substituído somente quando chegar em seu fim de vida útil, porém sem perder as especificações e as propriedades que possam comprometer o motor do equipamento. Conseguiu-se chegar a uma marca de 638 horas de trabalho com o mesmo óleo, conforme a tabela 2, a qual mostra os resultados obtidos na análise do óleo da Pá Carregadeira PCP 19. Nesta análise observou-se que o valor de grau de viscosidade obtido, de 12,2 cSt, estava abaixo dos valores de referência $12,5 < 16,3$ cSt conforme tabela 2, indicando a necessidade de substituição do óleo lubrificante.

Tabela 2 - Resultado das amostras de óleo PCP 19

2_VALE PORTO TUBARAO AILTON ALVES		NOME DA EMPRESA : 2_VALE PORTO TUBARAO	ORDEM SE SERVIÇO :	 Laboratório SOS - Análise Proativa de Fluidos Via Gastao Camargos, 850 Perobas Contagem, MG 32371630 (31) 3359-6666 www.sotreq.com.br
FAX:	TELEFONE:	NÚMERO DE FROTA : 19PH	SÉRIE COMPARTIMENTO :	
		COMPARTIMENTO : MOTOR	MODELO DO COMPARTIMENTO :	
		NÚMERO DE SÉRIE : M3G00669	FABRICANTE DO COMP :	
		FABRICANTE : CATERPILLAR	NÚMERO DA ETIQUETA :	
		MODELO : 96#H	FABRICANTE/TIPO DE FLUIDO : CAT15W-40	
TIPO DE AMOSTRA: OIL		LOCAL DE OPERAÇÃO : 2_PELOTIZACAO / VALE	TIPO DE FLUIDO :	
		NÚMERO :	DATA VENCIMENTO :	
		PROTEÇÃO EPP :	PROTEÇÃO EPP :	

Nº CONTROLE LABORATORIO	DATA COLETA	DATA PROCESSO	HRS/KM EQUIP	HRS/KM ÓLEO	ÓLEO TROCADO*	FLUIDO ADICIONADO	UNIDADES DO FLUIDO ADICIONADO	TIPO DE FLUIDO
U060-45229-0035	29-Jul-2015	17-Aug-2015	5109 HR	638 HR	Sim			
Normal Nível normal de desgaste. Monitorar nos intervalos regulares. Foi trocado o óleo. Acompanhar presença de limpas no filtro de óleo e ruídos anormais.								

Elementos de desgaste (ppm)	Cu	Fe	Cr	Al	Pb	Sn	Si	Na	K	B	Mo	Ni	Ag	Ca	Mg	Zn	P	Ba
U060-45229-0035	4	24	3	4	4	1	3	4	0	19	59	1	0	1812	1074	1660	1318	1

Condições do óleo / Contagem de Partículas	ST	OXI	NIT	SUL	W	A	F	PFC	V100	Debris
U060-45229-0035	34	14	10	23	N	N	N	2.79	12.2	N

Fonte: Laboratório de análise proativa de fluidos-CAT.

A tabela 3 mostra os limites toleráveis de concentração de metais para os motores.

Tabela 3 - Tabela dos limites toleráveis de concentração de metais para motores

Parâmetro	Indicação de Desgaste (Possível origem ou causa) ²	Nível típico (ppm) ³	Nível crítico (ppm) ³	Limite (ppm) ⁴	Parâmetro	Indicação de Desgaste (Possível origem ou causa) ²	Nível típico (ppm) ³	Nível crítico (ppm) ³	Limite (ppm) ⁴
Estanho (Sn)	As superfícies de rolamentos e os revestimentos das bielas.	2 – 10	20	20					
Cromo (Cr)	Desgaste de anéis, vazamento do sistema de Refrigeração, hastas das válvulas, camisas de cilindro, anéis de vedação.	2 – 10	20	40	Ferro (Fe)	Desgaste do bloco do motor, cilindros, engrenagens, camisas de cilindro, guias de válvulas, pinos da biela, anéis, árvore de comando de válvulas (árvore de cames), bomba de óleo, virabrequim (árvore de manivelas), rolamento de roletes e de esferas, ferrugem.	30 – 70	100	100 – 120
Alumínio (Al)	Desgaste de pistão e mancais do motor, bielas, intercooler, sujeira.	10 – 20	25	40	Chumbo (Pb)	Rolamentos, rolamentos axiais, mancais principais, Retentores de rolamentos.	20 – 40	50	100
Silício (Si)	Invasão de sujeira do filtro de ar e materiais de vedação.	10 – 20	25	20 – 30	Cobre (Cu)	Desgaste em buchas, tubos de refrigeração do óleo, arruelas de pressão (anéis de pressão), guias de válvulas, bielas, anéis de pistão, rolamentos, luvas, mancais principais.	15 – 25	50	40
Níquel (Ni)	Rolamentos deslizantes, válvulas, buchas dos balancins.	NA	NA	NA	Vanádio (V)	Os revestimentos superficiais dos anéis de pistão.	NA	NA	NA
Molibdênio (Mo)	Desgaste em ligas de rolamentos, resfriadores do óleo e anéis de pistão.	NA	NA	NA					
Antimônio (Sb)	Mancais da árvore de manivelas e da árvore comando de válvulas.	NA	NA	NA					
Bário (Ba)	Aditivo detergente e de graxa.	NA	NA	NA					
Cádmio (Cd)	Rolamentos de mancais.	NA	NA	NA					
Sódio (Na), Potássio (K) ou Boro (B)	Altas concentrações de sódio (Na), potássio (K) e/ou boro (B) podem indicar um vazamento de líquido de arrefecimento. Intercooler.	5 – 10 (B)	25 (B)	50 (Na)					

² Para Nadkarni (2011) a indicação do original trata-se de elementos de motores a diesel ferroviários, caminhões pesados, locomotivas e motores de frota de ônibus ou aviões. Os itens específicos de locomotivas e de aviões não estão aqui apresentados.

³ Análises de vestígios metálicos em óleos usados para médios e grandes motores a diesel (CAINES; HAYCOCK, 2004).

⁴ Holmes (1993) considerou limites de concentração para motores.

Fonte: Caines e Haycock (2004).

Tabela 4 - Tabela de viscosidade cinemática em função da temperatura e tipo de óleo

SAE	Viscosidade a baixa temperatura		Viscosidade a alta temperatura		
	Simulador de partida a frio (cP) temperatura máx. em °C	Bombeabilidade (cP) temperatura máx. em °C	Viscosidade cinemática (cSt) a 100°C		Alto cisalhamento (10 ⁶ s ⁻¹) (cP) a 150°
Grau de viscosidade			mín.	máx.	mín.
0W	6200 a -35	60000 a -40	3,8	-	-
5W	6600 a -30	60000 a -35	3,8	-	-
10W	7000 a -25	60000 a -30	4,1	-	-
15W	7000 a -20	60000 a -25	5,6	-	-
20W	9500 a -15	60000 a -20	5,6	-	-
25W	13000 a -10	60000 a -15	9,3	-	-
8 ^a	-	-	4,0	< 6,1	1,7
12 ^a	-	-	5,0	< 7,1	2,0
16	-	-	6,1	< 8,2	2,3
20	-	-	6,9	< 9,3	2,6
30	-	-	9,3	< 12,5	2,9
40	-	-	12,5	< 16,3	3,5 (0W-40, 5W-40 e 10W-40)
40	-	-	12,5	< 16,3	3,7 (15W-40, 20W-40, 25W-40 e 40)
50	-	-	16,3	< 21,9	3,7
60	-	-	21,9	< 26,1	3,7

Adaptado de SAE (2014).

^a Linhas inseridas para valores de graus de viscosidade para altas temperaturas SAE-8 e SAE-12, conforme OEM/Lube News, 2015 (OEM/Lube News, 2015).

Fonte: OEM/Lube News (2015).

Durante o período de um ano recolhendo informações e realizando ensaios, conseguiu-se um acervo técnico suficiente para tomar a decisão de aumentar a campanha de troca de óleo lubrificante do motor API CI-4 PLUS 15W40, que era feita a cada 250 horas trabalhadas. Conforme mostrado na análise de óleo da Pá Carregadeira PCP19, tabela 4, o lubrificante resiste até 638 horas de trabalho, porém adotando uma margem de segurança de aproximadamente 20%, decidiu-se aumentar a campanha de troca de óleo para 500 horas.

4.1. GANHOS DO PROJETO

No estudo realizado, obteve-se uma redução no custo com óleo API CI-4 PLUS 15W40 em aproximadamente R\$ 16.689,95/ano, conforme mostrado na tabela 5, que compara o volume e gastos com as trocas a 250 horas e 500 horas. Ao se trocar o óleo com 250 horas trabalhadas, gastava-se em média 7450 litros do lubrificante que dava em média R\$ 33.379,90 de custo somente com as manutenções preventivas da frota de pá carregadeiras do modelo 966H. Como aumentou-se a campanha de troca de óleo, automaticamente houve a redução de resíduos oleosos e recipientes, diminuiu-se a geração de material a ser descartado e diminuiu os riscos de contaminações ao meio ambiente.

Tabela 5 - Comparação do aumento da campanha de troca de óleo

CONSUMO MÉDIO DE ÓLEO LUBRIFICANTE - 15W40					
Classe	Mensal (L)	Anual (L)	Valor Unitário	Valor Mensal	Valor Anual
API CI-4 PLUS 15W40 (250H)	620,91	7450,87	R\$ 4,48	R\$ 2.781,66	R\$ 33.379,90
API CI-4 PLUS 15W40 (500H)	310,45	3725,44	R\$ 4,48	R\$ 1.390,82	R\$ 16.689,97
Economia	310,45	3725,44		R\$ 1.390,82	R\$ 16.689,97

Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

5 CONCLUSÃO

Após o acompanhamento num período de um ano da frota de pás carregadeiras do modelo 966H, pode-se dizer, através da realização de ensaios laboratoriais do óleo lubrificante do motor, que não há a necessidade de troca do

mesmo com 250 horas trabalhadas conforme recomendado pelo fabricante, e esta campanha pode ser aumentada para 500 horas trabalhadas sem afetar os componentes internos do motor, pois os resultados das análises mostraram que no período de 500 horas todos os parâmetros de controle para utilização do óleo estavam dentro dos limites aceitáveis reportados na literatura.

Com o estudo pode-se afirmar, que os planos de manutenções que contemplavam as trocas do óleo lubrificante API CI-4 PLUS 15W40, saíram de 250 horas trabalhadas para 500 horas trabalhadas, otimizando, assim, o uso do óleo.

REFERÊNCIAS

ANDERSON; SWEENEY, A.; G, A.; Williams. **Quantitative Approaches to Decision Making**: South Western College Publishing. 9. ed. [S.l.: s.n.], 1999. p. 666-671.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 14396:2011**. Disponível em: <http://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=089380>. Acesso em: 12 fev. 2020.

BARRACLOUGH *et al.* **Generic-based Wear Debris Identification –on the first step towards morphological classification**: In Proceeding of the International Conference on Condition Monitoring, Swansea. 1. ed. Oxford: Coxmore Publishing, 1999. p. 525-538.

BELMIRO *et al.* Lubrificantes e Lubrificação Industrial. **Lubrificantes e Lubrificação Industrial**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 1, p. 4-10, set. /2006.

BRANCO; GIL. A Organização, o Planejamento e o Controle da Manutenção. **Ciência moderna**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 1, p. 1-1, set. /2008.

CAINES; HAYCOCK, A. J.; F, R. Automotive Lubricants. **SAE International**, EUA, v. 1, n. 2, p. 1-15, abr./2004.

CASTROL. **Curso Básico de Lubrificação**. Disponível em: http://laves.com.br/lermais_news_centro.php?cd_news=31. Acesso em: 13 fev. 2020.

CATERPILLAR. **Manuais de Especificações Técnicas de Equipamentos, América Latina**. Disponível em: https://www.cat.com/pt_BR/products/new/equipment/wheel-loaders/medium-wheel-loaders/1000023498.html. Acesso em: 19 fev. 2020.

CORP, Reliasoft. Life Data Analysis Reference. **ReliaSoft Publishing**, EUA, v. 1, n. 1, p. 55-67, abr./2003.

MENEZES *et al.* Tribology for Scientists and Engineers: From basics to advanced concepts. **Tribology for Scientists and Engineers**, Nova York, v. 1, n. 1, p. 20-35, jan. /2013.

MOBLEY; K, R... An Introduction to Predictive Maintenance. **An Introduction to Predictive Maintenance**, Butterworth-Heinemann, v. 1, n. 2, p. 10-12, mar. /2002.

NADKARNI; K, R. A. Spectroscopic Analysis of Petroleum Products and Lubricants. **Spectroscopic Analysis of Petroleum Products and Lubricants**, ASTM In, v. 1, n. 1, p. 2-8, abr./2011.

NETO; BORGES, Waldomiro. Parâmetros de qualidade de lubrificantes e óleo de oliva através de espectroscopia vibracional, calibração multivariada e seleção de variáveis. **Unicamp**, Campinas, v. 1, n. 1, p. 1-4, out. /2005.

PINTO; NASCIF, Alan Kardec; JULIO. Manutenção: Função Estratégica. **Manutenção: Função Estratégica**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 3, p. 22-30, nov. /2009.

PUBLISHING, Reliasoft. Life Data Analysis Reference. **ReliaSoft Publishing**, Az, EUA, v. 1, n. 1, p. 1-10, jun./2003.

RUNGE; F, Peter R. Lubrificantes nas Indústrias. **Lubrificantes nas Indústrias**, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 23-27, mai. /1990.

SAE INTERNATIONAL. **OEM/Lube News. 2015**. Disponível em: http://www.imakenews.com/lubritec/e_article003122202.cfm?x=b11,0,w. Acesso em: 18 fev. 2020.

SANTOS; A, E. Uso correto dos óleos lubrificantes para máquinas. **Revista Cultivar**, São Paulo, v. 1, n. 143, p. 45-46, ago. /2014. Disponível em: <https://www.grupocultivar.com.br/artigos/uso-correto>. Acesso em: 21 mai. 2020.

SLACK *et al.* Administração da Produção. **Administração da Produção**, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 5-5, set. /2002.

SOHN; H. Gerenciamento de Óleos Lubrificantes Usados ou Contaminados. **GMP/SENAI**, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 1-10, jul. /2011.

TORBACKE *et al.* Lubricants: Introduction To Properties And Performance. **Lubricants: Introduction To Properties And Performance**, Vew Delhi, India, v. 1, n. 2, p. 2-3, mai. /2014.

ZAMBONI; E., G. Óleos Básicos. **Lubes em foco**, Rio de Janeiro, v. 3, n. 5, p. 5-9, mai. /2008. Disponível em: <http://www.lubes.com.br/revista/ed05n03.html>. Acesso em: 18 fev. 2020.