

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

MOHAMMED TIZZO GALÉ

**APLICABILIDADE DE ANÁLISE DE FLUIDOS COMO MANUTENÇÃO
PREDITIVA EM MAQUINÁRIO AGRÍCOLA COM ESTUDO DE CASOS
VISANDO ECONOMIA EM MANUTENÇÃO CORRETIVA**

Uberlândia – MG
2019

MOHAMMED TIZZO GALÉ

**APLICABILIDADE DE ANÁLISE DE FLUIDOS COMO MANUTENÇÃO
PREDITIVA EM MAQUINÁRIO AGRÍCOLA COM ESTUDO DE CASO
VISANDO ECONOMIA EM MANUTENÇÃO CORRETIVA**

Relatório final apresentado à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências para a obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Orientador: Dr. Wisley Falco Sales

Uberlândia – MG
2019

MOHAMMED TIZZO GALÉ

**APLICABILIDADE DE ANÁLISE DE FLUIDOS COMO MANUTENÇÃO
PREDITIVA EM MAQUINÁRIO AGRÍCOLA COM ESTUDO DE CASO
VISANDO ECONOMIA EM MANUTENÇÃO CORRETIVA**

Relatório final apresentado à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências para a obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Orientador: Dr. Wisley Falco Sales

Uberlândia, 03 de outubro de 2019

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Eng. Wisley Falco Sales – UFU - Orientador

Prof. M.Sc. Eng. Leonardo Rosa Ribeiro da Silva - ESAMC

M.Sc. Eng. Gustavo Henrique Nazareno Fernandes

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais Moacir Galé e Maria Madalena Tizzo, pelo suporte ao longo de toda essa jornada.

Aos meus colegas de turma que foram essenciais para minha formação, em especial, Paulo Vitor de Faria, Gabriel Rodrigues Tafelli da Silva e Kauê Oliveria Drigo.

A empresa Maqnelson Agrícola na qual fiz parte durante a construção desse trabalho.

A todo o corpo docente da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia, pelos ensinamentos e pela dedicação.

Ao Prof. Dr. Wisley Falco Sales, pela atenção e pela orientação dada para a elaboração deste trabalho.

GALÉ, M. T. Aplicabilidade de análise de fluidos como manutenção preditiva em maquinário agrícola com estudo de casos visando economia em manutenção corretiva. 2019. Trabalho de Conclusão do Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.

RESUMO

A análise de óleo lubrificante identifica e contabiliza a quantidade de partículas metálicas e de contaminação externa presente no óleo, permitindo, assim, não somente quantificar o desgaste, mas também indicar a provável peça desgastada através da contabilização das partículas de elementos de liga. Foram analisadas amostras do motor de um trator John Deere modelo 5075EF até que seu estado fosse considerado crítico, 5 amostras retiradas a cada 250 horas de trabalho e de uma colhedora John Deere modelo 3520 até que seu estado fosse considerado crítico, 6 amostras retiradas a cada 250 horas de trabalho. A diferença da quantidade de amostras se deu devido ao trator necessitar de manutenção antes da colhedora. Após a inspeção dos compartimentos e a realização da manutenção, foi feita uma comparação do custo de manutenção quando se usa essa técnica e quando não se usa, ou seja, quando há a falha do equipamento, manutenção corretiva. As análises, associadas à inspeção dos compartimentos, proporcionaram a aplicabilidade da técnica, análise de fluido, em maquinário agrícola, se mostrando econômica para o produtor rural.

Palavras-chave: Análise de fluido; Maquinário agrícola; Trator; Colhedora; Desgaste.

GALÉ, M. T. Applicability of fluid analysis as predictive maintenance in agricultural machinery with case studies aiming corrective maintenance's economy. 2019. Trabalho de Conclusão do Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.

ABSTRACT

The lubricating oil check identifies and counts the number of metal particles and external contamination present in the oil, thus allowing not only quantify the wear but also indicates the probably worn part through the particle count of alloying elements. Were checked five samples, withdrawals every 250 worked hours, from a John Deere tractor model 5075EF until his state was critical and six samples, withdrawals every 250 worked hours, from a John Deere harvest machine model 3520 until his state was critical. The difference between sample's quantity is because tractor need intervention before harvest machine. After the compartment's inspection and maintenance achievement were made a comparison between maintenance cost using fluid analysis and corrective maintenance. The analyses, associated with the inspection of the compartment, provide applicability for the technique, fluid analysis, in agricultural machines, showing up as economical to a farmer.

Keywords: Fluid analysis; Agricultural machinery; Tractor; Harvest machine; Wear.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Trator 5075EF.....	16
Figura 2 – Colhedora 3520.....	16
Figura 3 – Kit utilizado para coleta de amostras de óleo lubrificante.....	17
Figura 4 – Impurezas no bocal de entrada de ar do sistema de admissão.....	20
Figura 5 – Entrada de impurezas no sistema de admissão devido ao ressecamento e má colocação.....	22
Figura 6 – Quebra de uma parte do filtro do sistema de admissão.....	22
Figura 7 – Impurezas encontradas no filtro do sistema de admissão.....	23
Figura 8 – Resultado do teste de pressão de cada cilindro do motor.....	24

LISTA DE SÍMBOLOS

C - Carbono

Cr - Cromo

CV - Cavalovapor

Cu - Cobre

Fe - Ferro

Mn - Manganês

Mo - Molibdênio

Ni - Níquel

P - Fósforo

Pb - Chumbo

S - Enxofre

Si - Silício

Sn - Estanho

Ti - Titânio

V - Vanádio

Ag - Alumínio

Na - Sódio

K - Potássio

kW - Quilowatt

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
1.1 Objetivo Geral	9
1.2 Objetivos específicos.....	9
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	10
2.1 Trabalhos relacionados	10
2.2 Tipos de Manutenção	11
2.2.1 Manutenção Corretiva	12
2.2.2 Manutenção Preventiva	13
2.3 Fluido lubrificante	14
3 MATERIAIS E MÉTODOS	15
3.1 Coleta das amostras de óleo	17
3.2 Análise dos óleos	18
4 RESULTADOS EXPERIMENTAIS	18
5 ANÁLISE DOS RESULTADOS	19
5.1 Análise de resultados do trator	19
5.2 Análise de resultados da colhedora.....	21
6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS	25
6.1 Conclusões	25
6.2 Sugestões para trabalhos futuros.....	26
REFERÊNCIAS	26

1 INTRODUÇÃO

Em setores agroindustriais o desgaste é uma das causas responsáveis por parar a produção, reduzindo a produtividade e elevando os custos de manutenção, sendo insuficiente realizar estudos apenas na área de materiais e processos metalúrgicos e mecânicos de fabricação. Tão importante quanto isso é pesquisar, estudar e entender os processos de desgaste que atuam em condições específicas (COZZA, 2006).

Na manutenção, a análise do desgaste é de importante para evitar quebras e paradas não programadas do equipamento. A quebra não prevista se traduz por uma parada brusca, geralmente levando a grandes prejuízos e perda de produtividade (LAGO, 2007). Dos tipos de manutenção existentes, a manutenção preditiva se destaca no entendimento dos processos de desgaste, reduzindo os custos de manutenção e aumentando a produtividade. O objetivo da manutenção preditiva consiste em determinar antecipadamente a necessidade de serviços de manutenção, eliminar desmontagens desnecessárias para inspeção e aumentar o tempo de disponibilidade dos equipamentos.

Além da identificação do processo de desgaste, é necessário determinar a severidade do desgaste, que é obtida por meio da identificação da morfologia, do acabamento superficial dos componentes, da coloração, da natureza, da quantidade e do tamanho das partículas encontradas em amostras de óleo (LAGO, 2007).

1.1 Objetivo Geral

Por meio de comparações de custos, o presente trabalho tem por objetivo geral analisar a aplicabilidade da análise de óleo lubrificante como técnica de manutenção preditiva em maquinários agrícolas, colhedoras e tratores.

1.2 Objetivos específicos

- Identificar a necessidade de intervenção se necessária;

- Fazer uma análise de custos considerando duas técnicas de manutenção: corretiva e preditiva por análise de óleo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Trabalhos relacionados

Os temas atrito, desgaste e lubrificação não são temas contemporâneos. Lago (2007) cita que o uso do lubrificante como forma de diminuir a energia de transporte de objetos pesados é conhecido a mais de 4 000 anos.

Kardec et al. (2001) divide a evolução da manutenção em três gerações. A primeira geração ocorreu antes da Segunda Guerra Mundial, quando a indústria ainda não buscava a produtividade como principal objetivo, não necessitando de uma manutenção sistematizada com análises precisas de falhas. A segunda geração foi até os anos 1960, depois que o período de guerra aumentou a mecanização e a complexidade das instalações, necessitando de melhores estudos das falhas para promover maior tempo de produção. A terceira geração se desenvolveu a partir da década de 1970, havendo um crescimento nos estudos das falhas industriais e a utilização de métodos de monitoramento preditivos, impulsionados pelas grandes mudanças ocorridas nas indústrias, como o sistema *Just-in-time*, a inserção da automatização e a mecanização nas linhas de produção, além da crescente preocupação com a segurança e o meio ambiente.

Green (2003) estudou a integração das técnicas de análise de vibrações e análise de fluido lubrificante ao avaliar os modos de falhas associados a engrenagens de um redutor de velocidades.

Lago (2007) avaliou os mecanismos de desgaste de um conjunto redutor do tipo coroa sem-fim através de análises de vibrações e análises de óleo lubrificante. O autor conclui que a integração dessas técnicas é a alternativa mais eficiente; nesse sentido, deve-se utilizar uma das técnicas e, caso seja detectado alguma falha, deve-se fazer a manutenção correta.

2.2 Tipos de Manutenção

Apesar de existir várias literaturas que abordam o tema, é comum encontrarmos divergências de alguns autores. Kardec (2009), afirma que atualmente existem várias ferramentas disponíveis que levam em sua designação a palavra manutenção. É importante ressaltar, que não são novos tipos de manutenção, mas ferramentas que possibilitam a aplicação dos tipos básicos de manutenção, corretiva e preventiva.

Tradicionalmente a manutenção tem sido classificada como Planejada e não Planejada, ou ainda conforme seus objetivos, entretanto, ambas se estruturam a partir de duas formas básicas de atuação: a manutenção corretiva e a manutenção preventiva.

Quando ocorre a paralisação de um equipamento sem uma decisão gerencial, encontra-se a manutenção não planejada, ou seja, as atividades de manutenção foram ineficazes para antecipar a falha do componente ou sistema. Um trabalho planejado é efetuado de forma organizada com previsão e controle das atividades, sendo executado com uma qualidade superior, rapidez, segurança e um custo menor que um trabalho não planejado (KARDEC, 2009; VIANA, 2009).

Segundo Siqueira (2005), a manutenção preventiva é sempre planejada, enquanto a corretiva pode ser planejada e não planejada, que é chamada de manutenção emergencial.

Quanto aos seus objetivos a manutenção pode ser classificada de acordo com as atitudes dos usuários em relação as falhas (SIQUEIRA, 2005). Todo o trabalho de manutenção realizado em máquinas que estejam em falha, é classificada como manutenção preventiva. Não existe manutenção corretiva para reparar defeitos. Mas existe uma dificuldade muito grande em diferenciar “falha” de “defeito”, e isso estabelece uma área cinzenta entre a definição de manutenção corretiva e a definição de manutenção preventiva (BRANCO FILHO, 2008).

2.2.1 Manutenção Corretiva

Para Neponuceno (1999), a manutenção que visa substituir peças ou componentes que se desgastaram, gerando uma parada, por falha ou pane, é ordinariamente chamada de Manutenção Corretiva. Conseqüentemente, parte substancial do esforço de manutenção em geral é desperdiçada na execução da manutenção corretiva (DHILLON, 2002).

A Manutenção Corretiva é realizada em máquinas para correção de anomalias, classificadas como falhas, panes ou quebras, ou seja, quando o equipamento não desempenha a função para a qual foi projetado (BRANCO FILHO, 2006).

Normalmente, a manutenção corretiva é uma ação não programada, basicamente composta por necessidades de manutenção imprevisíveis que não podem ser planejadas e programadas (DHILLON, 2002).

Se a manutenção deve ser realizada imediatamente, para evitar conseqüências ao sistema produtivo, é chamada de manutenção corretiva emergencial (BRANCO FILHO, 2008; VIANA, 2009). Geralmente este tipo de manutenção implica em altos custos, devido às perdas de produção, qualidade e ainda pode gerar uma extensão de danos ao equipamento (KARDEC, 2009).

Caso a manutenção seja executada a uma data posterior a detecção, será uma manutenção corretiva planejada. Kardec (2009) define a manutenção corretiva planejada como atividades para a correção do desempenho inferior ao esperado ou correção da falha por decisão gerencial.

Se não considerarmos as perdas produtivas, a manutenção corretiva muitas vezes é mais barata (XENOS, 2004). Mas se aplicada em grande quantidade e sem análise, é cara, pois onera a empresa em tempos de parada grande e custosos. Além de fazer com que as máquinas possam falhar no momento mais inoportuno, causando o mau uso dos recursos de produção e de manutenção (BRANCO FILHO, 2008).

Pereira (2009) defende que uma estrutura de gestão organizada pode aplicar a manutenção corretiva, sem comprometer seus resultados. Mas devem ser direcionadas para equipamentos de fácil manutenção, ou seja, reparo rápido, e em ativos que possuem equipamentos reservas.

Mesmo que por decisão gerencial, a manutenção corretiva seja selecionada para algumas partes menos críticas dos equipamentos, é preciso prever os recursos necessários para a redução dos impactos das falhas e ainda identificar suas causas raízes para evitar sua recorrência (XENOS, 2004).

2.2.2 Manutenção Preventiva

A Manutenção Preventiva é a intervenção executada em equipamentos que ainda executam as suas funções, ou seja, em condições operacionais e dentro de suas especificações (BRANCO FILHO, 2006). A manutenção Preventiva pode ser descrita como as atividades de manutenção que tem o objetivo de manter o equipamento e as instalações em um estado satisfatório para a produção (SULLIVAN et al., 2004) e está relacionado com ferramentas estatísticas que consistem em definir um tempo de vida (geralmente em horas) para uma quantidade amostral de peças e fazer a substituição desses componentes com os mesmos ainda executando satisfatoriamente suas funções, porém de forma otimizada.

A manutenção que visa a correção de defeitos, programada e planejada, em uma peça ou componente, que não impossibilite que o equipamento desempenhe a sua função principal e algumas de suas funções secundárias, deve ser enquadrada como preventiva. Quando um equipamento pode ser mantido em serviço, mas não satisfaz a totalidade de suas funções, a definição do tipo de manutenção fica entre corretiva e a preventiva (BRANCO FILHO, 2008).

Para Xenos (2004), a Manutenção Preventiva deve ser executada frequentemente e deve ser a principal atividade de manutenção de qualquer empresa. Ela é mais onerosa, devido a troca de componentes antes do final de sua vida útil. Em contrapartida o número de falhas é reduzido e a produtividade aumentada, representando um custo menor que o da corretiva.

Alguns dos principais objetivos da manutenção preventiva são: melhorar o equipamento em sua vida produtiva, reduzir as quebras de equipamentos críticos, otimização do planejamento e programação de trabalhos de manutenção, minimizar as perdas de produção devido a falhas em equipamento, e promover a saúde e a segurança do pessoal de manutenção (SULLIVAN et al., 2004).

A manutenção preventiva é estruturada em ações sistemáticas, baseadas em um cronograma que detecta, impede ou minimiza a degradação de um componente 30 ou sistema com o objetivo de sustentar ou ampliar sua vida útil (SULLIVAN et al., 2004)

Estas intervenções são programadas em um equipamento ou sistema através da sua criticidade e recomendações definidas pelo fabricante (VIERRI, 2007). O fabricante é o detentor dos conhecimentos e recomendações para garantir o bom funcionamento do equipamento (BRANCO FILHO, 2006). Já Kardec (2009), afirma que os fabricantes nem sempre fornecem com precisão os dados necessários para executar os planos de manutenção preventiva.

Se estas atividades forem executadas pelos operadores, visando reduzir o desgaste e a degradação dos equipamentos também poderão ser consideradas manutenção preventiva (XENOS, 2004).

A seleção da manutenção preventiva será mais conveniente quando a intervenção for mais simples e os custos e as consequências da falha forem maiores. Os inconvenientes da manutenção preventiva é a inclusão de defeitos nos equipamentos em função da intervenção: falha humana, falha nos sobressalentes, contaminações, falhas nos procedimentos e danos durante a partida e paradas (KARDEC, 2009).

Branco Filho, (2008), defende que a maior desvantagem da preventiva é a financeira, pelo uso demasiado de recursos humanos e sobressalentes, mas que pode ser evitada com o apoio de outras técnicas como o *Total Productive Maintenance*(TPM) e Manutenção Centrada em Confiabilidade(MCC).

2.3 Fluido lubrificante

Lubrificação consiste em introduzir, entre duas superfícies com movimento relativo, uma camada de material com tensão cisalhante menor que a das superfícies envolvidas e em contato, reduzindo o atrito e o desgaste, melhorando a troca térmica do sistema e retirando partículas geradas pelo contato (LAGO, 2007). O regime de lubrificação depende das seguintes características: geometria, contato, rugosidade, carregamento, temperatura, velocidade relativa das superfícies de rolamento e escorregamento, condições ambientais, propriedades reológicas do

lubrificante, composição do material e propriedades da camada superficial das peças (LAGO, 2007).

Os lubrificantes são classificados de acordo com seu estado físico – líquido, pastoso, sólido ou gasoso (SENAI, 1997). Os lubrificantes líquidos são os mais empregados na lubrificação, podendo ser subdivididos em óleos minerais puros, óleos graxos, óleos compostos, óleos aditivados e óleos sintéticos (SENAI, 1997). Eles são caracterizados pela viscosidade, mas outras propriedades também são importantes, como carga aditiva e temperatura de fulgor (LAGO, 2007).

Os óleos minerais puros são provenientes da destilação e do refino do petróleo. Os óleos graxos podem ser de origem animal ou vegetal, que foram os primeiros lubrificantes a serem utilizados; no entanto, mais tarde, foram substituídos por óleos minerais. O uso de óleos graxos nas máquinas modernas é raro devido à sua instabilidade química, principalmente em altas temperaturas, o que provoca a formação de ácidos e vernizes (SENAI, 1997).

Os óleos compostos são constituídos de misturas de óleos minerais e graxos. A percentagem de óleo graxo é pequena, variando de acordo com a finalidade do óleo. Os óleos graxos conferem aos óleos minerais propriedades de emulsibilidade, oleosidade e extrema pressão (SENAI, 1997).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta pesquisa, para verificar a eficácia das análises de óleo lubrificante na identificação de desgaste de forma preditiva, foi monitorado o motor de um trator John Deere modelo 5075EF com 75 CV (55,16 kW), com medidor de tempo trabalhado em horas (horímetro) de 1113 a 2113 horas e uma colhedora de cana-de-açúcar John Deere modelo 3520 com 251,5 kW e horímetro de 11995 a 13245 horas, ambas no ano de 2018 na região do Triângulo Mineiro, no estado de Minas Gerais.



Figura 1 – Trator 5075EF

Fonte: autor.



Figura 2 – Colhedora 3520

Fonte: autor.

Esses maquinários pesados são essenciais para a agricultura e um dos seus compartimentos principais é o motor. A escolha desse compartimento se deu devido a criticidade que ele tem se não for feita suas manutenções preventivas de forma correta, além do alto custo de seus componentes. Como ambos não tinham histórico negativo de manutenção preventiva, ou seja, todas suas manutenções foram feitas de forma correta, optou-se por escolhê-los a fim de se desenvolver o estudo.

3.1 Coleta das amostras de óleo

Para a coleta das amostras, foi utilizada uma bomba manual a vácuo com frascos e mangueiras exclusivas para cada amostra com o objetivo de evitar contaminações, conforme apresentado na Figura 1.

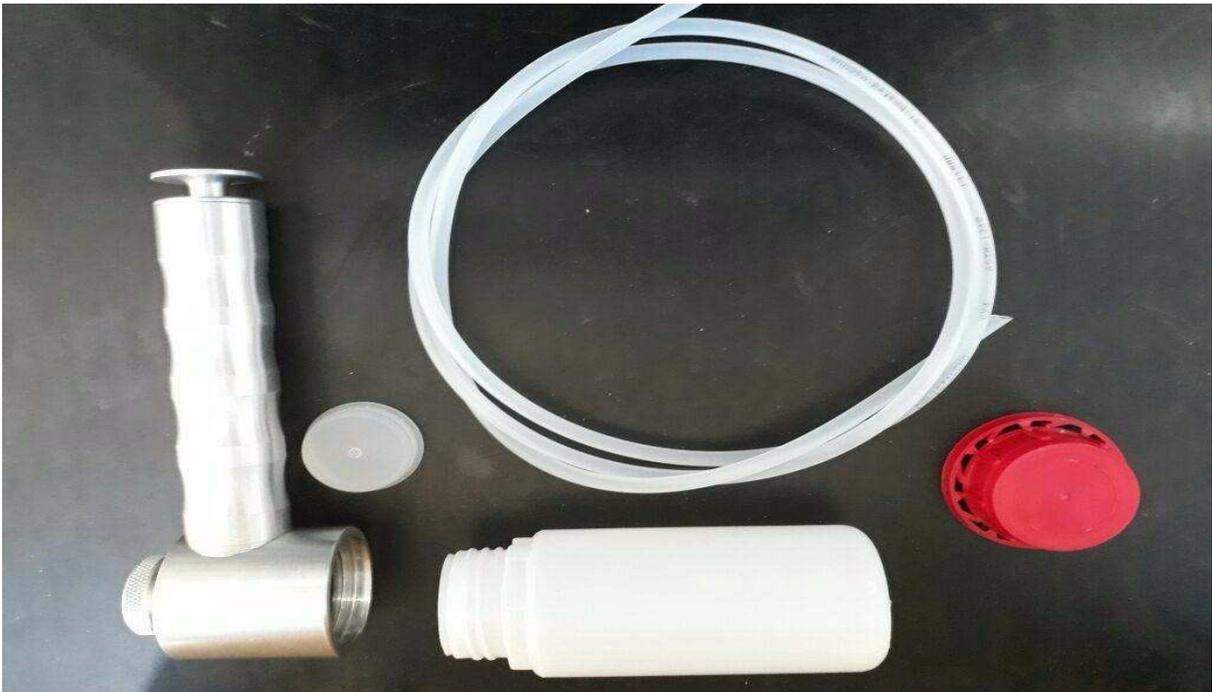


Figura 3 – Kit utilizado para coleta de amostras de óleo lubrificante

Fonte: autor.

Foram coletadas amostras de óleos lubrificantes a cada 250 h de trabalho através do orifício de nível de óleo lubrificante do motor. Para garantir uma amostra representativa, o óleo lubrificante foi homogeneizado, movimentando o equipamento previamente por períodos de 15 a 30 minutos.

Para evitar contaminação das amostras, foram tomadas algumas precauções: o orifício de nível do óleo lubrificante foi previamente limpo; foram utilizados frascos e mangueiras de coleta, exclusivos para cada amostra; a bomba de coleta não teve contato direto com o óleo lubrificante; e, em nenhum momento, a amostra ou os demais itens utilizados foram expostos ao ambiente por períodos maiores que 20 segundos.

3.2 Análise dos óleos

Na análise dos óleos lubrificantes foram utilizados ensaios de espectrometria de emissão óptica e viscosidade cinemática. Ambas análises foram realizadas por um laboratório terceiro.

A análise de espectrometria de emissão óptica foi realizada através de um espectrômetro e em conformidade com a norma ASTM D5185 (ASTM, 2018a). Foi analisada a presença de metais – ferro, cromo, cobre, níquel, manganês, molibdênio, chumbo, vanádio, alumínio, prata e titânio – e de não metais – silício, cálcio, potássio e estanho. Os elementos analisados permitem determinar os principais elementos de liga da peça desgastada e se houve contaminação externa com a presença de silício.

Para a análise de viscosidade cinemática, foi utilizado um viscosímetro, em conformidade com norma ASTM D445 (ASTM, 2018c), definindo a viscosidade cinemática do óleo a 100 °C.

4 RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Os resultados dos ensaios de espectrometria e a viscosidade cinemática das 5 amostras do trator modelo 5075EF são apresentados na Tabela 1, a seguir.

Tabela 1 – Resultados da análise dos óleos lubrificantes para o trator

Nº	Horas [h]	Fe [ppm]	Cu [ppm]	Cr [ppm]	Pb [ppm]	Sn [ppm]	Ni [ppm]	Mo [ppm]	Ti [ppm]	V [ppm]	Mn [ppm]	Ag [ppm]	Si [ppm]	Al [ppm]	Na [ppm]	K [ppm]	AGUA [ppm]	Visco. [cSt à 100 °C]
1	1113	52	0	0	0	0	0	12	20	0	0	0	0	0	0	0	1918	14,92
2	1363	57	0	0	0	0	1	15	26	0	1	0	0	18	0	0	1974	14,99
3	1613	59	2	0	0	0	1	18	31	0	1	0	0	63	2	0	2001	15,03
4	1863	89	3	0	0	0	1	24	39	0	1	0	112	320	2	0	2067	15,12
5	2113	211	3	2	0	0	2	53	41	0	1	0	168	450	4	0	2084	15,26

Fonte: autor.

Os resultados dos ensaios de espectrometria e a viscosidade cinemática das 6 amostras da colhedora modelo 3520 são apresentados na Tabela 2, a seguir.

Tabela 2 – Resultados da análise dos óleos lubrificantes para a colhedora

Nº	Horas [h]	Fe [ppm]	Cu [ppm]	Cr [ppm]	Pb [ppm]	Sn [ppm]	Ni [ppm]	Mo [ppm]	Ti [ppm]	V [ppm]	Mn [ppm]	Ag [ppm]	Si [ppm]	Al [ppm]	Na [ppm]	K [ppm]	AGUA [ppm]	Visco. [cSt à 100 °C]
1	11995	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1815	12,63
2	12245	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1815	12,63
3	12495	22	2	0	0	0	0	13	0	0	1	0	0	0	0	0	1937	12,64
4	12745	49	4	0	0	0	1	22	0	2	1	0	0	0	0	0	2080	12,66
5	12995	83	5	2	1	0	1	39	0	3	1	0	0	0	0	0	2963	12,73
6	13245	126	6	4	1	0	1	51	0	3	1	0	29	12	3	0	3383	12,79

Fonte: autor.

A tomada de decisão só ocorreu assim que o compartimento apresentava um ponto crítico, em vermelho nas tabelas 1 e 2, ou pelo menos 3 pontos a monitorar, em amarelo nas tabelas 1 e 2.

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1 Análise de resultados do trator

Os testes realizados com as amostras de óleo lubrificante, associadas à inspeção do compartimento indicam contaminação externa e desgaste acentuado do motor. Foram encontradas altas concentrações de Ferro, Silício e Alumínio.

A ação tomada foi a parada imediata do equipamento para revisão, tendo como objetivo inspecionar todo o sistema de admissão de ar, como, filtros de ar danificados, assentamento da tampa, aperto das abraçadeiras, o nível de óleo no cárter e a presença de limalhas no filtro de óleo.

Percebeu-se que a vedação do sistema de admissão estava permitindo a entrada de poeira (SiO₂, principalmente) conforme se observa na Figura 2. Tal desvio pode se dar devido a três fatores: quebra da abraçadeira, mal colocação da abraçadeira ou danos na mesma por motivo externo. Foi constatado danos na

abraçadeira devido a uma batida que o trator sofreu, já que a abraçadeira não estava quebrada, somente deformada plasticamente (“amassada”), saindo de seu lugar correto. Foi necessária a limpeza desse sistema além de vedá-lo de forma correta.



Figura 4 – Impurezas no bocal de entrada de ar do sistema de admissão

Fonte: autor.

Pode-se notar que o problema ocorreu entre a 3ª e 4ª análise, onde há a presença de Silício e um grave aumento na quantidade de Alumínio, deixando claro a entrada de poeira e terra no compartimento, desencadeando um desgaste no mesmo, que pode ser confirmado com o aumento do Ferro na 5ª análise.

De forma geral, se não houvesse a parada, o motor poderia chegar a travar, devido a entrada de poeira, desgaste de pistões e cilindros, causando um enorme prejuízo, que pode ser verificado na tabela 3. Os valores estão atualizados de acordo com a concessionária local na data de Jan/2019.

Tabela 3 – Comparativo de custos do trator

	Custo de manutenção preditiva	Estimativa de custo de manutenção corretiva
Descrição do serviço	Limpeza e vedação do sistema de admissão	Troca de filtro do sistema de admissão. Reforma total do motor e sistema de admissão
Tempo de manutenção	1h	18h
Custo de peças	R\$0,00	R\$12.000,00
Custo de serviços	R\$850,00	R\$6.500,00
Custo total	R\$850,00	R\$18.500,00

Fonte: autor.

Observa-se, portanto, uma economia de R\$17.650,00 ou 95,4% com o uso da análise de fluido como manutenção preditiva. Outro ponto a se observar é o tempo parado da máquina, tendo uma diferença de 17 horas em que esse trator podia estar trabalhando, o qual não foi contabilizado esse custo.

5.2 Análise de resultados da colhedora

Os testes realizados com as amostras de óleo lubrificante, associadas à inspeção do compartimento indicam contaminação externa e desgaste acentuado do motor.

A ação tomada foi a parada imediata do equipamento para revisão, tendo como objetivo inspecionar todo o sistema de admissão de ar, como, filtros de ar danificados, assentamento da tampa, aperto das abraçadeiras, danos no trocador de calor, o procedimento de lavagem, o nível de óleo no cárter e a presença de limalhas no filtro de óleo.

Constatou-se que a vedação do sistema de admissão estava fora de conformidade. A tampa que se encaixa no filtro estava ressecada e quebrada, como se mostra na Figura 3, devido a isso houve uma grande entrada de impurezas no motor, além da quebra de uma parte do filtro. Sendo uma máquina que trabalha 3

turnos diários, a exposição ao sol e poeira é intensa em ambiente agressivo, o que causou o ressecamento da tampa e consequentemente sua quebra.



Figura 5 – Entrada de impurezas no sistema de admissão devido ao ressecamento e má colocação

Fonte: autor.



Figura 6 – Quebra de uma parte do filtro do sistema de admissão

Fonte: autor.



Figura 7 – Impurezas encontradas no filtro do sistema de admissão

Fonte: autor.

A entrada dessas impurezas, nesse caso, foi mais grave pois o motor já apresentava um déficit na sua entrega de potência, que foi constatada com o teste de corte de cilindro que pode ser feito acessando o próprio sistema do maquinário. O teste é feito interrompendo o fluxo de combustível em cada cilindro, medindo qual é a real entrega daquele cilindro para o motor. O teste mostrou que dois cilindros, 2 e 6, estavam entregando apenas 79% do que era esperado deles, sendo os mais críticos. Um cilindro, 5 entregando 86% do seu potencial e os outros cilindros foram considerados normais.

A tampa do filtro não é um item trocado nas revisões preventivas e como a colhedora apresenta um elevado número de horas trabalhadas, a quebra da mesma poderia acontecer naturalmente.

Cilindro #	Compressão Relativa
1	100
2	79
3	98
4	98
5	86
6	79

Figura 8 – Resultado do teste de pressão de cada cilindro do motor

Fonte: autor.

Observando os resultados das análises de fluidos, percebe-se que a falha se deu entre a 5ª e a 6ª análise. O maquinário apresentava desempenho satisfatório, porém a entrada de poeira excessiva, danificou o motor internamente.

Foi necessário a abertura total do motor para a troca dos pistões danificados e limpeza total nos demais cilindros, além da limpeza completa do sistema de admissão, troca do filtro e da tampa. A não parada do equipamento poderia causar danos em todos os cilindros e em outras partes do sistema de admissão, até a falha completa do motor. Verifica-se o custo que poderia ser necessário na tabela 4. Os valores estão atualizados de acordo com a concessionária local na data de Jan/2019.

Tabela 4 – Comparativo de custos da colhedora

	Custo de manutenção preditiva	Estimativa de custo de manutenção corretiva
Descrição do serviço	Limpeza e vedação do sistema de admissão, troca do filtro e tampa do filtro da admissão, limpeza nos cilindros afetados, troca dos pistões danificados.	Limpeza e vedação do sistema de admissão, reforma completa dos cilindros do motor, troca do filtro e tampa do filtro da admissão.
Tempo de manutenção	21h	24h

Tabela 4 – Comparativo de custos da colhedora

Custo de peças	R\$67.550,00	R\$120.000,00
Custo de serviços	R\$12.300,00	R\$15.000,00
Custo total	R\$79.850,00	R\$135.000,00

Observa-se, portanto, uma economia de R\$55.150,00 ou 59,1% com o uso da análise de fluido como manutenção preditiva. Observa-se um menor prejuízo no tempo de máquina parada, 3 horas, não contabilizadas nesse trabalho.

Comparando a economia em manutenção com o custo dos equipamentos necessários para fazer as análises, viscosímetro e espectrômetro, se torna viável a compra dos mesmo em pouco tempo, dependendo da quantidade de maquinário. O preço conjunto dos equipamentos é cerca de R\$ 200.000,00, pesquisados com a empresa HITACHI no mês de outubro de 2019.

6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

6.1 Conclusões

A contagem e identificação de partículas é uma técnica que possibilita a identificação de desgaste em compartimentos diferentes no maquinário. Por meio dessa técnica pôde-se realizar a análise do óleo lubrificante e do (s) principal (is) componente (s) desgastado (s), com a identificação dos elementos de liga.

Neste trabalho, foi possível identificar o momento crítico em ambos os equipamentos mostrando ser viável e benéfico a utilização da análise de fluido como uma ferramenta de manutenção preditiva.

Notou-se um ganho de produtividade do maquinário devido ao menor tempo de parada do equipamento e menor custo de manutenção.

Uma vantagem da técnica apresentada é dar ao produtor rural a decisão de poder parar a máquina de forma planejada, não ficando assim, a critério de uma possível quebra indesejada, facilitando sua programação em manutenções e revezamento de maquinário.

Apesar do potencial da análise, ainda há uma resistência dos proprietários dos maquinários agrícolas em optar por esse tipo de manutenção, devido a uma cultura do meio, onde a máquina deve trabalhar o máximo possível para a maior produtividade.

6.2 Sugestões para trabalhos futuros

A partir dos dados apresentados nesse trabalho e das verificações feitas durante as etapas, é sugerido, para trabalhos futuros, o acompanhamento de outros tipos de maquinários agrícolas ou até mesmo de outros compartimentos que sejam considerados críticos, como transmissões e comandos finais.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D5185**: Método de ensaio padrão para Determinação multielementar de óleos lubrificantes usados e não usados e óleos base por espectrometria de emissão atômica por plasma acoplado indutivamente. 2018. Disponível em: <<https://www.astm.org/Standards/D5185-POR.htm>>. Acesso em: 14 abr. 2019.
- BARNES, M. Viscosity-how it is measured and reported. **Practicing Oil Analysis**, Houston, p. 46-50, nov./dec. 2002.
- BRANCO FILHO, Gil. **Indicadores e Índices de Manutenção**. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda., 2006.
- BRANCO FILHO, Gil. **Dicionário de Termos de Manutenção, Confiabilidade e Qualidade**. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda., 2000.
- BRANCO FILHO, Gil. **A Organização, o Planejamento e o Controle da Manutenção**. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda., 2008.
- COZZA, R. C. **Estudo do comportamento do coeficiente de desgaste e dos modos de desgaste abrasivo em ensaios de desgaste micro-abrasivo**. 2006. Tese (Mestrado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- DHILLON B.S. **ENGINEERING MAINTENANCE A Modern Approach**, CRC PRESS Boca Raton. London New York Washington. 2002.
- GREEN, A. **The study of the failure modes of a spur gear using vibration an particle analysis techniques**. Melbornel: James Cook University, School of Engineering, 2003.

JOHN DEERE. Website. 2018. Disponível em: <partscatalog.deere.com>. Acesso em: 14 abr. 2019.

KARDEC, Allan; NASCIF, Júlio. **Manutenção: função estratégica**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

KARDEC, Alan Kardec; RIBEIRO, Haroldo, **Gestão Estratégica e Manutenção Autônoma**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.

KARDEC, Alan Kardec; XAVIER, Júlio Aquino Nascif. **Manutenção: Função Estratégica**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.

KARDEC, Alan Kardec; LAFRAIA, João Ricardo. **Gestão Estratégica e Confiabilidade**. Rio de Janeiro: Qualitymark, ABRAMAN, 2002.

LAGO, Daniel Fabiano. **Manutenção de redutores de velocidade pela integração das técnicas preditivas de análise de vibrações e análise de óleo lubrificante**. 2007. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Mecânica) – Unesp, Ilha Solteira, 2007.

NEPOMUCENO, L. X. **Técnicas de Manutenção Preditiva**. V. 1. São Paulo: Editora Edgar Blücher Ltda, 1999.

SENAI; CST. **Lubrificação Mecânica**. Vitória: SENAI, 1997.

SULLIVAN, G. P. PUGH, R. MELENDEZ, A. P. HUNT, W. D. **Operations & Maintenance Best Practices A Guide to Achieving Operational Efficiency**. Pacific Northwest National Laboratory for the Federal Energy Management Program. 2004.

VIANA, Herbert Ricardo Gracia. **Planejamento e Controle da Manutenção**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.

VIERRI, Luiz Alberto; **Gerenciamento pela Qualidade Total na Manutenção Industrial: Aplicação Prática**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2007.

XENOS, H. G. **Gerenciando a Manutenção Produtiva**. Nova Lima: INDG Tecnologia e Serviços Ltda, 2004.