



UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE ENGENHARIA
ENGENHARIA MECÂNICA

TÂMARA MILENA VICENTE WINCKLER

**MANUTENÇÃO PREDITIVA ATRAVÉS DA ANÁLISE DE FLUIDOS COMO
FERRAMENTA PARA REDUÇÃO DE CUSTOS DE MANUTENÇÃO EM
COLHEDORAS DE CANA**

DOURADOS

2022

TÂMARA MILENA VICENTE WINCKLER

**MANUTENÇÃO PREDITIVA ATRAVÉS DA ANÁLISE DE FLUIDOS COMO
FERRAMENTA PARA REDUÇÃO DE CUSTOS DE MANUTENÇÃO EM
COLHEDORAS DE CANA**

Trabalho de Conclusão de Curso de
graduação, apresentado para obtenção do
título de bacharel em Engenharia de
Mecânica. Faculdade de Engenharia.
Universidade Federal da Grande
Dourados.

Orientador: Prof.º Bruno Arantes Moreira
Área: Mecânica dos Fluidos

DOURADOS

2022



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

ANEXO D - AVALIAÇÃO FINAL DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aluno TÂMARA MILENA VICENTE WINCKLER

Título do trabalho e subtítulo: Manutenção Preditiva Através da Análise de Fluidos Como Ferramenta

Para Redução de Custos de Manutenção em Colhedoras

BANCA EXAMINADORA

1. Presidente (orientador):

Prof. Dr. Bruno Arantes Moretra • -FAEN/UFGD

2. Membro:

Prof. Dr. Augusto Salomão Bornschlegell — FAEN/UFGD.

3. Membro:

Prof. Dr. Rodrigo Borges Santos — FAEN/UFGD

De acordo com o grau final obtido pelo aluno, nós da banca examinadora, declaramos Aprovado (Aprovado/Reprovado) o (a) aluno (a) acima identificado (a), na componente curricular Trabalho de Conclusão de Curso (TCC-II) de Graduação no Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal da Grande Dourados.

Local

Data

Dourados, 24 de junho de
2022

Franco Amador Herrera

Presidente

Augusto Selouza Borschlegel

Membro

Rodrigo Borges Santos

Membro

RESUMO

O agronegócio está em constante evolução, buscando sempre otimizar a produção e os lucros. Para isso, são realizados grandes investimentos no aprimoramento e desenvolvimento de formas de cultura, bem como, em novos meios de colheita para acompanhar o mercado e reduzir custos. Além disso, formas e planos de manutenção são desenvolvidos e aprimorados. Com isso, criar estratégias para potencializar e aumentar a vida útil dos maquinários agrícolas tornou-se essencial para a economia a curto e longo prazo, tornando necessário agir antes do problema se tornar crítico. Sendo assim, este trabalho visa evidenciar a importância da manutenção preditiva através da análise de fluidos lubrificantes do motor como meio de reduzir custos de manutenção. Para isso, foram conduzidas investigações em três máquinas agrícolas operantes, de forma a apontar falhas comuns ao equipamento, assim como o prejuízo eminente ao não ter o controle da saúde do seu maquinário e de seus componentes. Os resultados mostraram que a manutenção preditiva permitiu reduzir substancialmente os custos associados aos gastos de peças, quando comparado com a realização da manutenção corretiva após a falha do equipamento.

Palavras-chave: Colhedora, análise de fluidos, motor a diesel, desgaste, contaminação.

ABSTRACT

Agribusiness is in constant evolution, always searching to optimize production and profits. For this, large investments are made in improving and developing cultivation methods and new harvesting methods to keep up with the market and reduce costs. In addition, maintenance forms and plans are being developed and improved. With this, creating strategies to enhance and increase the life span of agricultural machinery has become essential for the economy in the short and long term, making it necessary to act before the problem becomes critical. Thus, this work aims to highlight the importance of predictive maintenance by analyzing lubricant fluids to reduce maintenance costs. Therefore, investigations were conducted on three operating agricultural machines, to point out common equipment failures, as well as the imminent loss of not having control of the health of its machine, and its components. The results showed that predictive maintenance allowed for a substantial reduction in costs associated with parts expenses compared to corrective maintenance.

Keywords: Harvester, fluid analysis, diesel engine, wear, contamination.

1. INTRODUÇÃO

Conforme a EMBRAPA (2020), entre 1950 e 1960, menos de 2% das propriedades rurais possuíam máquinas agrícolas. Por este motivo, a força de trabalho no campo era composta principalmente por meio do trabalho braçal, com a escassa tecnologia voltada para a produção tropical. Com o início da migração do campo para cidade, houve o aumento da necessidade de aprimorar os sistemas de produção agrícola para alimentar a população. A partir disto, foi necessária a instituição de políticas visando o aumento da produção e produtividade agrícola, dessa forma garantindo a segurança alimentar à população (crescentemente urbana) e reduzindo os preços dos alimentos, através de investimentos públicos em pesquisa e desenvolvimento (P&D), extensão rural e crédito rural subsidiado (CHADDAD, 2016).

O aumento progressivo da demanda por alimentos e matéria-prima agrícola exige que os produtores tenham maior eficiência e alcance melhores índices de rendimento, buscando otimizar ao máximo o terreno cultivado e sempre buscando a redução de custos. A agricultura tornou-se uma atividade geradora de riqueza, atraindo cada vez mais agentes especializados, caracterizada pela presença crescente de estabelecimentos mais modernizados e, com frequência, de média e larga escala de produção (NAVARRO E CAMPOS, 2013).

Segundo WILDE (2016), o desenvolvimento de novos materiais constitui a chave para a consolidação de produtos e processos inovadores em todas as áreas de produção tecnológica e de serviços a elas atrelados, incluindo-se o agronegócio. Com isso, a mecanização da agricultura tornou-se indispensável para a otimização de toda a safra, e, para manter o desempenho destas máquinas e reduzir custos é necessário a realização de revisões preventivas periódicas.

A importância da manutenção é determinada pelas razões de obter-se o máximo desempenho em operação, aumento da vida útil de máquinas e equipamentos, e evitar paradas indesejáveis que afetam a produção. Para alcançar esses objetivos da manutenção é necessário o uso do método que melhor faz a intervenção nos instrumentos de produção, sendo assim recomendado o uso da Manutenção Preditiva (VIANA, 2002).

O uso da análise de fluidos como ferramenta de manutenção preditiva é o método com menor investimento e maior confiabilidade. Com base na interpretação dos resultados obtidos com as análises poderão ser tomadas as decisões para a realização da manutenção. Quando se realiza a coleta de fluidos de maneira correta, com envio imediato para análise, os resultados são o mais próximo da realidade, tornando possível identificar os modos de falhas, além de

prevenir as possíveis consequências das falhas. Com o resultado, obtém-se a facilidade na tomada de decisões para o planejamento e realização de uma manutenção rápida e eficaz, ou seja, evita paradas indesejadas resultando em perda de tempo e reduz drasticamente os custos de manutenção. (ALMEIDA, 2000)

2. OBJETIVOS

No contexto apresentado, este trabalho tem os seguintes objetivos:

- Coletar amostras de óleo lubrificante do motor de três colhedoras de cana, sendo duas máquinas do modelo CH570 John Deere e uma máquina modelo 3520 John Deere.
- Realizar análises químicas nas amostras coletadas, de forma a identificar a saúde da máquina e a partir dos resultados, identificar a origem da contaminação do lubrificante recolhida na amostra.
- Elaborar um plano de ação para solucionar o problema e evitar falha, e, conseqüentemente, reduzir o tempo de máquina parada.
- Por último realizar análise de custos e economia que o proprietário teve ao realizar a manutenção preditiva.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A palavra manutenção sem sua origem do latim *manus tenere*, significando “manter o que se tem”, desta forma pode-se entender como um conjunto de cuidados e procedimentos técnicos, os quais serão essenciais para manter a saúde e qualidade das máquinas, equipamentos, peças, moldes e ferramentas, assim como seu funcionamento e reparo adequado. Pode ser definida de diferentes maneiras por muitos órgãos certificadores e normalizadores, porém, sempre enfatizando a preocupação com o bom funcionamento das máquinas e dos equipamentos, principalmente no sistema produtivo (ALMEIDA, 2017).

De acordo com MOTTER (1992), quando o homem começou a manusear instrumentos e desenvolver máquinas para a produção de bens de consumo, surgiram mudanças no perfil de mercado, possibilitando a inovação da mecanização das indústrias e tornando necessária a criação dos primeiros reparos. Atualmente existem máquinas agrícolas com tecnologias extremamente avançadas, inclusive, ligadas a indústria 4.0 (Figura 1).

Figura 1 de cana CH570 (Fonte: JOHN DEERE, 2020)



3.1 Categorias de Manutenção

Segundo VIANA (2002) as categorias de manutenção, nada mais são do que as formas como são encaminhadas as intervenções nos instrumentos de produção, ou seja, nos equipamentos que compõem uma determinada planta.

3.1.1 Manutenção preditiva

Segundo (ALMEIDA,2017), a manutenção preditiva é o primeiro passo para uma manutenção assertiva, pois esta baseia-se em inspeções periódicas, em que fenômenos como temperatura, vibrações, ruídos fora do padrão e fluidos lubrificantes com anomalias, são observados através de instrumentos específicos ou métodos de análise e estudo. É possível observar as condições reais do equipamento no momento da coleta da informação, assim como realizar o acompanhamento ao longo de um período da evolução de uma falha, de forma a poder realizar um planejamento e programação para realizar a manutenção das peças, compartimentos ou sistemas onde está ocorrendo a falha, ou apresentando anormalidade em seu funcionamento.

A manutenção preditiva tem como objetivos: prever a ocorrência de uma falha ou degradação; determinar, antecipadamente, a necessidade de correção em uma peça; eliminar as desmontagens desnecessárias para inspeção; aumentar o tempo de disponibilidade dos

equipamentos para operação; reduzir o trabalho de urgência e emergência não planejada; impedir a ocorrência de falhas e o aumento dos danos; aproveitar a vida útil total de cada componente e de um equipamento; aumentar o grau de confiança no desempenho de um equipamento e de seus componentes; redução de custos de manutenção e; aumento da produtividade. (Almeida, 2000).

3.1.2 Manutenção preventiva

A manutenção preventiva é voltada para evitar que a falha ocorra, sendo baseada em uma manutenção planejada, programada e controlada, visando reduzir e eliminar probabilidades de falhas, mantendo o equipamento em sua perfeito funcionamento e conservação, através da limpeza, lubrificação, substituição e apertos de peças. A manutenção corretiva ocorre em intervalos de tempo planejados, seguindo planos de manutenção pré-definidos. (ALMEIDA, 2011)

Esta categoria de manutenção apresenta algumas vantagens, como a continuidade do funcionamento do equipamento, só parando para consertos em horas programadas, a continuidade da produção, dado que seus equipamentos estabelecem um de prazo de entrega e na qualidade necessária. (ZAIONS 2003).

3.1.3 Manutenção Corretiva

Para melhor definição temos que a manutenção corretiva ocorre quando há um desempenho menor do que o esperado ou para corrigir uma falha, de forma a corrigir ou restaurar o funcionamento padrão do equipamento, máquina ou sistema. (GURSKI, 2008).

Desta forma a manutenção corretiva ocorre em duas situações específicas: quando o equipamento apresenta um desempenho abaixo do esperado, apontado pelo monitoramento do equipamento; ou quando ocorre a falha da máquina. (PINTO E XAVIER 1998).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho, foram realizadas análises do fluido lubrificante do motor de três máquinas agrícolas operantes. As máquinas eram do tipo colhedoras de cana, sendo duas

máquinas do modelo CH570 John Deere novas e uma máquina modelo 3520 John Deere com mais de duas safras.

As análises foram realizadas no laboratório da ALS Global. Segundo informações no site da empresa, a mesma possui o maior laboratório de análise de óleo do mundo. Com base nas análises foi possível elaborar um plano de ação para solucionar o (s) problema (s) existente (es) nas colhedoras de forma a evitar falhas, e, conseqüentemente, maior tempo de máquina parada.

4.1 Materiais

A primeira etapa para a análise dos fluidos foi coletar óleo lubrificante 10W40 Plus-50 II- John Deere das máquinas, conforme mostrado na seqüência.

Para realizar a coleta do fluido lubrificante em cada máquina foi necessário um kit de coleta composto por um recipiente para armazenamento do lubrificante recolhido e uma mangueira fina para realizar a coleta (Figura 2). Luvas para manusear o kit de coleta para evitar contaminação da amostra e acidentes caso a amostra esteja quente.

Figura 2: Bomba e Kit para coleta de fluidos lubrificante



4.2 Métodos

4.2.1 A máquina

Como procedimento operacional, a coleta de fluido lubrificante foi realizada logo após a máquina ser desligada, tendo em vista que a colhedora não deveria estar por mais de trinta minutos em repouso, pois isto poderia ocasionar a deposição dos elementos contaminantes no fundo do local onde está armazenado ou ainda, tais elementos poderiam permanecer em suspensão. Caso isso aconteça, deve-se acionar a máquina e movimentá-la para que os elementos contaminantes se misturem novamente a todo o lubrificante.

O local onde a amostra foi coletada foi devidamente limpo e livre de contaminantes, e quando possível a máquina era lavada por inteira para remoção de resíduos acumulado após o uso (Figura 3).

Figura 3 — Colhedora 3520 John Deere após lavagem para manutenção



4.2.2 Preparo da coleta

Para o preparo da coleta dos fluidos lubrificantes era essencial que vários protocolos fossem seguidos, conforme treinamento fornecido pela ALS Global, para não haver contaminação da amostra e evitar resultados falsos ou dificultar encontrar a raiz da contaminação.

Primeiramente foi cortada a mangueira com 100 milímetros a mais do que a vareta de nível ou, no caso do bocal de enchimento, um tamanho suficiente para atingir, no máximo, 50 mm do nível do óleo do reservatório.

Apertou-se a porca para que a mangueira estabilize, e, tornasse possível prender a mangueira na bomba de modo que a ponta não introduzisse no frasco de coleta. O manuseio deve ser realizado, com cuidado, para que a mangueira não toque em nenhum lugar e não se contamine.

Posteriormente o frasco de coleta foi destampado. A tampa foi guardada em um saco e o frasco foi preso na bomba. A bomba é de vácuo, por isso, não deve ter contato com o fluido. Para garantir, foi mantido sempre na posição vertical.

Após o frasco cheio, é solta a porca da bomba para que o ar entre e o fluido pare de ser puxado. Foi retirada a mangueira com cuidado, para não pingar fluido no chão. Por último, retirou-se o frasco e tampou-se, imediatamente, para evitar contaminações. A mangueira nunca deve ser reutilizada e, também, deve ser descartada em lugar apropriado.

4.2.3 Análise dos fluidos

Para cada uma das três máquinas avaliadas, foram realizadas três coletas dos fluidos, conforme mostra a Tabela 4.1.

Tabela 4.1 — Informações sobre as coletas

Máquina	Data da coleta	Código da amostra coletada
3520 John Deere	Coleta 1: 02/07/2021	1.1
	Coleta 2: 19/08/2021	1.2
	Coleta 3: 15/09/2021	1.3
CH570 John Deere I	Coleta 1: 24/07/2021	2.1
	Coleta 2: 19/08/2021	2.2
	Coleta 3: 04/09/2021	2.3
CH570 John Deere II	Coleta 1: 23/07/2021	3.1
	Coleta 2: 19/08/2021	3.2
	Coleta 3: 04/09/2021	3.3

As três coletas em diferentes datas, conforme parada para manutenção preventiva programada pelo setor, eram importantes para acompanhar o desempenho das máquinas após a primeira manutenção programada. As seguintes análises foram realizadas em cada coleta do fluido lubrificante, como pode ser constatado na Tabela 4.2:

Tabela 4.2 — Elementos de desgaste e contaminação

	Análises de elementos químicos realizadas.
Desgaste das peças	Fe, Cu, Cr, Pb, Sn, Ni, Mo, Ti, V, Mn Ag, PQI
Contaminação	Si, Al, Na, K, Diesel, Água

Na Tabela 4.2 tem-se o grupo de análises classificado como “Desgaste das peças”. Para este grupo, tem-se que, as análises do fluido foram realizadas para avaliarem o desgaste da colhedora em virtude de sua operação. No grupo “Contaminação” as análises foram realizadas para avaliarem a contaminação externa que pode invadir o compartimento do motor.

A partir da contagem de partículas dos elementos mostrados na Tabela 4.2 foi possível definir os níveis de contaminação e desgaste das colhedoras. A identificação das peças que estavam sofrendo desgaste foi determinada com o auxílio do limite superior (em ppm – partes por milhão) aceitável para cada elemento químico, como mostrado na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 — Parâmetros de desgaste e contaminação (elaborado por Roylance & Hunt (1999)).

Elemento	Limite de partículas em ppm	Indicação de desgaste (possível origem ou causa)
Ferro (Fe)	40	Bloco do motor, cilindros, engrenagens, camisas de cilindro, guias de válvulas, pinos da biela, anéis, árvore de comando de válvulas, bomba de óleo, virabrequim, rolamento de roletes e de esferas, ferrugem.

Cobre (Cu)	30	Buchas, tubos de refrigeração do óleo, arruelas de pressão, guias de válvulas, bielas, anéis de pistão, rolamentos, luvas, mancais principais.
Cromo (Cr)	5	Anéis, vazamento do sistema de Refrigeração, hastes das válvulas, camisas de cilindro, anéis de vedação.
Chumbo (Pb)	10	Rolamentos, rolamentos axiais, mancais principais, retentores de rolamentos.
Estanho (Sn)	5	Superfícies de rolamentos e os revestimentos das bielas.
Níquel (Ni)	5	Rolamentos deslizantes, válvulas, buchas dos balancins
Molibdênio (Mo)	1000	Ligas de rolamentos, resfriadores do óleo e anéis de pistão.
Titânio (Ti)	5	Silencioso, válvula de exaustão
Vanádio (V)	NA	Revestimentos superficiais dos anéis de pistão.
Manganês (Mn)	5	Válvulas, bombas, sistemas de exaustão.
Prata (Ag)	5	Bomba hidráulica, arruelas
PQI (partículas)	30	Detecta partículas ferrosas muito maiores que podem não ser detectadas ou são apenas parcialmente detectadas nos estágios iniciais de um desgaste severo antes que partículas de pequeno porte surjam em quantidade suficiente para ficarem suspensas no óleo.
Silício (Si)	10	Invasão de sujeira do filtro de ar e materiais de vedação.
Alumínio (Al)	10	Desgaste de pistão e mancais do motor, bielas, intercooler, sujeira.
Sódio (Na)	20	Indica vazamento de líquido de arrefecimento, intercooler.
Potássio (K)	20	Indica vazamento de líquido de arrefecimento, intercooler.
Diesel	<1	Contaminação e risco de oxidação. Perda das propriedades do lubrificante.
Água	<3000	Oxidação do compartimento.

Outro parâmetro importante avaliado dos óleos lubrificantes foi o Número de Basicidade Total, expresso em miligrama de hidróxido de potássio por grama de óleo (mg KOH/g). O Número de Basicidade Total (TBN) pode ser entendido como a capacidade do óleo lubrificante em neutralizar subprodutos da combustão, sendo que, quanto maior for o valor deste parâmetro, maior é a capacidade de neutralização de subprodutos da combustão que se formam durante a operação do equipamento. Para óleo Plus 50 II usado, o TBN é medido pelo método ASTM D 4739 e possui como limite mínimo e seguro o valor de 4,0 mg KOH/g. Desta forma, quanto mais o fluido lubrificante é utilizado na operação do motor, mais ele se contamina com subprodutos da combustão. Com isso, os valores de TBN diminuem, sendo possível, através da análise do óleo, acompanhar tal redução de forma a monitorar a vida útil do óleo.

Por fim foi realizada a análise de custos e economia que o proprietário teve ao realizar a manutenção corretiva programada, em comparação aos custos com a manutenção corretiva sem programação, ou seja, sem a análise de fluidos.

4.4 Intervenções

Conforme os resultados das análises do óleo lubrificante realizadas no laboratório (ALS Global), a amostra pode receber as seguintes classificações:

- 1) **Normal:** O lubrificante está em condições de trabalho ideais. Considera-se que o compartimento do motor está operando com desempenho satisfatório.
- 2) **Atenção ou Anormalidade:** O lubrificante apresenta contaminação, porém de forma pouco expressiva. O compartimento do motor está com o desempenho sob suspeita, com risco potencial em evoluir para desempenho insatisfatório.
- 3) **Crítico:** O lubrificante apresenta contaminação excessiva. O compartimento do motor pode estar operando com desempenho insatisfatório, cuja falha pode trazer impactos para o compartimento.

As classificações serviram de base para a tomada de decisão mediante os resultados verificados das análises dos fluidos lubrificantes, seguindo as recomendações da ALS Global conforme mostrado na Tabela 4.4

Tabela 4.4 — Tomada de decisão em relação à análise do fluido lubrificante

Análise do laudo	Manutenção preventiva ou corretiva
Normal	- Realização de uma nova coleta/análise do óleo lubrificante após 500 horas de operação da máquina.
Atenção ou Anormalidade	<ul style="list-style-type: none"> - Inspeção visual do compartimento do motor de modo a identificar possíveis desgastes; - Verificação da presença de partículas de desgaste no filtro; - Observar se não estava ocorrendo aumento de temperatura do compartimento do motor; - Observar se não estava ocorrendo perda de potência do equipamento; - Realização da troca do filtro e óleo, realizando uma nova análise após 500 horas de operação da máquina. - Repetir as análises mais duas vezes no tempo indicado para certificar que a coleta não foi contaminada durante o procedimento ou por remonta de óleo. Apenas após o terceiro resultado indicando anormalidade deve ser realizada intervenção para manutenção.
Crítico	<ul style="list-style-type: none"> - Realizar os mesmos procedimentos que para estado de atenção, apenas reduzindo para 250 horas o intervalo para a coleta da nova análise. - Parar o equipamento para manutenção corretiva após a segunda amostra com índices fora do padrão.

4.5 Custo de manutenção

O comparativo de custo entre a manutenção corretiva programada a partir do resultado da análise de fluidos e a manutenção corretiva após as colhedoras operarem até a falha, foi possível a partir do contato com a concessionária responsável pela elaboração de orçamentos das peças, bem como, de outros materiais necessários para manutenção.

Desta forma, foram criados dois orçamentos para cada equipamento, sendo que, um constava apenas o valor gasto com a troca das peças que sofreram desgaste, a quantidade de óleo trocado referente as três amostras e também os filtros trocados. No segundo orçamento referia-se ao custo de refazer todo o compartimento do motor, considerando que o nível de desgaste entre as peças teria prejudicado todo o motor, com o atrito e/ou oxidação.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados das análises dos óleos lubrificantes são apresentados em formato de tabela, contendo as informações gerais sobre a coleta, bem como, os resultados obtidos em cada análise.

Para cada coleta, a primeira tabela (“Dados da Amostra”) identificou os dados gerais da amostra contendo: número de identificação do frasco de coleta, o resultado da análise (normal ou anormal), a data de coleta e de liberação do resultado, o horímetro do equipamento e do lubrificante, se houve troca de óleo e se foi usado aditivo.

A segunda tabela (“Desgaste”) identificou os possíveis elementos de desgaste presentes na amostra em partes por milhão (ppm). A terceira tabela (“Contaminação”) apresentou a identificação dos possíveis elementos contaminantes externos que podem contaminar o compartimento do motor.

O compartimento escolhido foi o motor a diesel, o qual utiliza o óleo lubrificante 10W40 Plus-50 II John Deere, sendo comparados os resultados de três amostras consecutivas coletadas ao longo da safra do ano de 2021.

a. Caso 1 — Colhedora 3520 John Deere

5.1.1 — Primeira Coleta

A primeira análise foi coletada no dia 02/07/2021, dois meses e meio após o início da safra. Esta colhedora estava funcionando pelo terceiro ano consecutivo e havia passado por manutenção completa durante a parada anual. A Tabela 5.1 apresenta as informações resumidas da amostra obtida a partir da primeira coleta.

Tabela 5.1 — Dados da primeira amostra do Caso 1 (ALS Tribology)

Dados da Amostra							
Amostra	Status	Coleta	Resultado	Horímetro	h amostra	Troca?	Adição
1.1	Anormal	22/07/2021	13/08/2021	Não informado	500	Sim	

Conforme pode ser observado na Tabela 5.1, a amostra foi coletada após 500 horas de operação da última troca de óleo, não possuindo identificação das horas rodadas pelo equipamento e não estava identificado se houve a adição de outro produto ao lubrificante.

Os resultados das análises do óleo lubrificante relacionados ao desgaste das peças devido à operação da máquina estão dispostos na Tabela 5.2. Os resultados das análises relacionados a identificação dos possíveis elementos contaminantes externos que podem contaminar o compartimento do motor estão dispostos na Tabela 5.3.

Tabela 5.2 — Desgaste da primeira amostra do Caso 1 (ALS Tribology)

Desgaste											
Fe(ppm)	Cu(ppm)	Cr(ppm)	Pb(ppm)	Sn(ppm)	Ni(ppm)	Mo(ppm)	Ti(ppm)	V(ppm)	Mn(ppm)	Ag(ppm)	PQI
51	9	4	4	2	0	55	0	0	1	0	17

Tabela 5.3 — Contaminação da primeira amostra do Caso 1 (ALS Tribology)

Contaminação					Água	Condição do fluido
Si(ppm)	Al(ppm)	Na(ppm)	K(ppm)	Dil. Diesel CG(%)	KF Vol.(ppm)	TBN-4739(mg KOH/g)
4	2	3	0	< 1	1595	12,605

Observa-se na Tabela 5.3, que todos os resultados estiveram nos limites aceitáveis, ou seja, não foi verificada presença de contaminação externa. Além disso, o volume de água de 1595 ppm, também está no padrão aceitável (abaixo de 3000 ppm ou 0,3%).

No entanto, na Tabela 5.2, os resultados das análises indicaram moderada quantidade partículas de Ferro (51 ppm), sendo o aceitável até 40 ppm. A contaminação por Ferro indicou provável desgaste das engrenagens e rolamentos.

Tendo em vista a quantidade de ferro verificada pelas análises, tem-se que a amostra pode ser classificada como em estado de anormalidade. Desta forma, seguiram-se as condutas de manutenção conforme estabelecido na Tabela 4.4.

Assim, foram realizadas as inspeções visuais no compartimento do motor, verificando o nível de óleo do cárter e presença de partículas de desgaste. Nenhuma anormalidade visível foi encontrada e a colhedora apresentou normalidade em seu funcionamento. Além disso, como recomendado, o óleo e filtro foram trocados e a máquina voltou a colher aguardando nova parada programada após 500 horas de operação para realizar nova coleta do lubrificante.

5.1.2 Segunda Coleta

A segunda coleta foi realizada no dia 19/08/2021, onde foi possível observar erro de preenchimento da ficha na parte de horas desde a última troca de óleo, a qual foi duplicada com a hora rodada pelo equipamento, como mostra a Tabela 5.4.

Tabela 5.4 — Informações da segunda amostra do Caso 1 (ALS Tribology)

Dados da Amostra							
Amostra	Status	Coleta	Resultado	Horímetro	h amostra	Troca?	Adição
1.2	Anormal	19/08/2021	10/09/2021	8567	8567	Sim	Não

Os resultados das análises do óleo lubrificante relacionados ao desgaste das peças devido à operação da máquina estão dispostos na Tabela 5.5. Os resultados das análises relacionados a identificação dos possíveis elementos contaminantes externos que podem contaminar o compartimento do motor estão dispostos na Tabela 5.6.

Tabela 5.5 — Desgaste da segunda amostra do Caso 1 (ALS Tribology)

Desgaste											
Fe(ppm)	Cu(ppm)	Cr(ppm)	Pb(ppm)	Sn(ppm)	Ni(ppm)	Mo(ppm)	Ti(ppm)	V(ppm)	Mn(ppm)	Ag(ppm)	PQI
60	6	4	2	2	0	53	0	0	1	0	24

Tabela 5.6 — Contaminação da segunda amostra do Caso 1 (ALS Tribology)

Contaminação					Água	Condição d fluido
Si(ppm)	Al(ppm)	Na(ppm)	K(ppm)	Dil. Diesel CG(%)	KF Vol.(ppm)	TBN-4739(mg KOH/g)
5	3	0	0	< 1	1241	9,897

Os índices de contaminação da Tabela 5.6 seguem com normalidade, assim como o volume de água permanece dentro do aceitável.

A anormalidade do resultado novamente dá-se pela alta presença de partículas de Ferro, como pode ser observado na Tabela 5.5. Além disso, a quantidade de ferro é superior à da primeira amostra. O nível de desgaste dos demais elementos continuam dentro dos critérios de normalidade.

Assim, seguiram-se as condutas de manutenção para amostras classificadas pela segunda vez em estado de anormalidade. O equipamento foi parado seguindo o cronograma de manutenção e realizada a inspeção do motor. Ao verificar os filtros não foram identificadas partículas de desgaste. O óleo foi trocado conforme programação preventiva e o filtro foi substituído. A máquina voltou a colher aguardando nova parada programada após 500 horas para realizar nova coleta do lubrificante.

Vale mencionar que laboratório identificou alteração nos valores de aditivação do óleo. Tal parâmetro mostrou-se em valores abaixo do normal e indicaram possível contaminação no momento da coleta ou ao completar o óleo enquanto está na lavoura. Foi explicado ao colaborador responsável pela coleta a importância do preenchimento da ficha da amostra e da limpeza da bomba após cada coleta, de modo a melhorara precisão dos resultados e evitar contaminação por outros lubrificantes.

5.1.3 Terceira coleta

A terceira coleta foi realizada no dia 15/09/2021, 426 horas de operação após a última troca de óleo, informado pelo motorista do equipamento, que estava ocorrendo perda de potência, assim como pode-se observar um leve sopro no cárter. A Tabela 5.7 apresenta as informações resumidas da amostra obtida a partir da terceira coleta.

Tabela 5.7 — Dados da terceira amostra do Caso 1 (ALS Tribology)

Dados da Amostra							
Amostra	Status	Coleta	Resultado	Horímetro	h amostra	Troca?	Adição
1.3	Anormal	15/09/2021	01/10/2021	8993	426	Sim	Não

Todas as informações da Tabela 5.7 foram preenchidas corretamente e houve acompanhamento para verificar o processo de coleta para corrigir possíveis erros e evitar contaminação externa.

Os resultados das análises do óleo lubrificante relacionados ao desgaste das peças devido à operação da máquina estão dispostos na Tabela 5.8. Os resultados das análises relacionados a identificação dos possíveis elementos contaminantes externos que podem contaminar o compartimento do motor estão dispostos na Tabela 5.9.

Tabela 5.8 — Desgaste da terceira amostra do Caso 1 (ALS Tribology)

Desgaste											
Fe(ppm)	Cu(ppm)	Cr(ppm)	Pb(ppm)	Sn(ppm)	Ni(ppm)	Mo(ppm)	Ti(ppm)	V(ppm)	Mn(ppm)	Ag(ppm)	PQI
85	7	6	3	1	1	52	0	6	1	0	22

Tabela 5.9 — Contaminação da terceira amostra do Caso 1 (ALS Tribology)

Contaminação					Água	Condição do fluido
Si(ppm)	Al(ppm)	Na(ppm)	K(ppm)	Dil. Diesel CG(%)	KF Vol.(ppm)	TBN-4739(mg KOH/g)
5	3	2	0	< 1	1592	8,805

Verifica-se na Tabela 5.9 que os valores das análises estão dentro dos padrões. Desta forma, pode-se concluir não haver presença de contaminação externa. Observa-se também que o volume de água está dentro dos níveis aceitáveis. Eliminando, assim, a possibilidade de a água ser um dos fatores que está afetando a ação dos aditivos e estar levando a oxidação.

Na Tabela 5.8 observa-se que a presença de Ferro (Fe) persistiu com valores altos (85 ppm), e, desta vez foi verificada a presença de Cromo (Cr), superior ao limite aceitável de 5 ppm, conforme indicado pela Tabela 4.3. Além disso, ao verificar os filtros de óleo foi identificada a presença de limalhas de Ferro e partículas de Cromo. Não se descarta a hipótese

de que houve atrito anormal entre os anéis de segmento do pistão com a camisa do cilindro e também desgaste prematuro das bronzinas.

Após o terceiro resultado da amostra do motor com parâmetros fora dos padrões normais, adotou-se a conduta de intervenção para manutenção preventiva e corretiva. Após a abertura do compartimento do motor, foi possível visualizar que algumas peças apresentavam marcas e arranhões, assim como desgaste e necessitavam de troca. Desta forma, foram trocadas as peças desgastadas, consideradas danificadas, como, rolamentos, engrenagens e bronzinas, entre outros. Os itens de fixação e vedação também foram trocados tendo em vista que sempre que o compartimento do motor é aberto, faz-se a troca de tais itens.

Após três amostras com resultado anormal do motor, e como a colhedora também apresentava outros compartimentos com anormalidade e criticidade, como cubos, caixa de corte de base e caixa do picador, foi decidido realizar a parada do equipamento para manutenção completa antes do final da safra.

A Tabela 5.10 apresenta o comparativo entre os gastos com uma manutenção corretiva imediata, agindo com auxílio da manutenção preditiva, a partir dos resultados das análises dos fluidos lubrificantes e trocando apenas as peças danificadas. Na Tabela 5.10 tem-se também os valores gastos com uma manutenção corretiva após a falha total do compartimento do motor.

Tabela 5.10 — Comparativo de gastos com manutenção

Comparativo de gastos com manutenção	
Corretiva após análise de fluidos	R\$ 19.567,20
Corretiva após falha do equipamento	R\$ 65.637,80
Total economizado	R\$ 46.070,60

Na Tabela 5.10 os valores referem-se ao valor da manutenção corretiva feita pelos mecânicos da empresa, caso sejam necessários mecânicos terceirizados, o valor deveria ser acrescido de mão de obra e deslocamento, encarecendo ainda mais o processo. O total economizado com o uso da manutenção corretiva após análise de fluido foi de R\$ 46.070,60. Assim, a manutenção imediata economizou em 60%, quando comparado ao custo de refazer o motor, que pode acontecer quando a manutenção é realizada de forma corretiva após a falha do equipamento.

b) Caso 2 — Colhedora CH570 John Deere

A colhedora CH570 é um modelo com menor consumo de combustível, maior potência e estrutura. O equipamento chegou durante a safra e iniciou a colheita em junho.

5.2.1 Primeira Coleta

A primeira coleta para análise foi realizada em 24/07/2021, após um mês e meio de uso da colhedora, e duas trocas de óleo (Tabela 5.11).

Tabela 5.11 — Dados da primeira amostra do Caso 2.

Dados da Amostra							
Amostra	Status	Coleta	Resultado	Horímetro	h amostra	Troca?	Adição
2.1	Anormal	24/07/2021	13/08/2021	1743	496	Sim	Não

Os resultados das análises do óleo lubrificante relacionados ao desgaste das peças devido à operação da máquina estão dispostos na Tabela 5.12. Os resultados das análises relacionados a identificação dos possíveis elementos contaminantes externos que podem contaminar o compartimento do motor estão dispostos na Tabela 5.13.

Tabela 5.12 — Desgaste da primeira amostra do Caso 2.

Desgaste											
Fe(ppm)	Cu(ppm)	Cr(ppm)	Pb(ppm)	Sn(ppm)	Ni(ppm)	Mo(ppm)	Ti(ppm)	V(ppm)	Mn(ppm)	Ag(ppm)	PQI
88	35	2	4	2	2	375	0	0	1	0	17

Tabela 5.13 — Contaminação e condições do fluido da primeira amostra do Caso 2

Contaminação					Água	Condição do fluido
Si(ppm)	Al(ppm)	Na(ppm)	K(ppm)	Dil. Diesel CG(%)	KF Vol.(ppm)	TBN-4739(mg KOH/g)
11	17	4	18	< 1	1874	4,153

A Tabela 5.13 não identificou contaminação externa ou anormalidades nas condições e aditivção do fluido.

Ao avaliar os resultados presentes na Tabela 5.12 verifica-se que a concentração de Ferro de 88 ppm, está consideravelmente acima do limite de normalidade de 40 ppm (conforme estabelecido pela Tabela 4.3). Também pode ser verificado que a concentração de Cobre (Cu) de 35 ppm, está um pouco acima do limite de normalidade de 30 ppm. Tais resultados sugerem desgaste anormal do compartimento. A presença anormal de Ferro e Cobre indicou a possibilidade de desgaste das engrenagens e rolamentos. Foi também observada a presença moderada de partículas de Alumínio (Al), proveniente da superfície dos rolamentos. A taxa normal de Silício (Si) eliminou a possibilidade de contaminação externa por poeira.

Tendo em vista a quantidade de ferro e cobre verificada pelas análises, tem-se que a amostra pode ser classificada como em estado de anormalidade. Desta forma, seguiram-se as condutas de manutenção conforme estabelecido na Tabela 4.4.

Assim, a inspeção programada foi realizada e ao verificar os filtros foram encontradas partículas de desgaste. Conforme recomendado, foram realizadas a troca dos filtros e do óleo. O equipamento foi liberado para colher, aguardando nova parada programada após 500 horas para realizar nova coleta do lubrificante.

5.2.2 – Segunda Coleta

A segunda amostra foi coletada no dia 19/08/2021 (Tabela 5.14), após 442 horas de operação desde a última troca de óleo e apresentou resultado anormal.

Tabela 5.14 — Dados da segunda amostra do Caso 2.

Dados da Amostra							
Amostra	Status	Coleta	Resultado	Horímetro	h amostra	Troca?	Adição
2.2	Anormal	19/08/2021	10/09/2021	2185	442	Sim	Não

Os resultados das análises do óleo lubrificante relacionados ao desgaste das peças devido à operação da máquina estão dispostos na Tabela 5.15. Os resultados das análises relacionados a identificação dos possíveis elementos contaminantes externos que podem contaminar o compartimento do motor estão dispostos na Tabela 5.16.

Tabela 5.15 — Desgaste da segunda amostra do Caso 2.

Desgaste											
Fe(ppm)	Cu(ppm)	Cr(ppm)	Pb(ppm)	Sn(ppm)	Ni(ppm)	Mo(ppm)	Ti(ppm)	V(ppm)	Mn(ppm)	Ag(ppm)	PQI
34	7	2	1	1	2	353	0	0	1	0	18

Tabela 5.16 — Contaminação e condições do fluido da segunda amostra do Caso 2.

Contaminação					Água	Condição do fluido
Si(ppm)	Al(ppm)	Na(ppm)	K(ppm)	Dil. Diesel CG(%)	KF Vol.(ppm)	TBN-4739(mg KOH/g)
8	9	1	5	< 1	1465	1,820

Ao avaliar os resultados das análises presentes nas Tabelas 5.15 e 5.16, verifica-se que o fluido lubrificante não apresentou indícios de desgaste de nenhuma peça, assim como todos os índices de contaminação encontravam-se normais. Ao comparar tais resultados com os observados na primeira Coleta (onde as concentrações de Ferro e Cobre apresentaram valores fora dos padrões), verifica-se que na coleta 2 houve a normalização dos contaminantes no óleo. Tal constatação sugere que as não conformidades verificadas na primeira coleta ocorreram em virtude do processo de desgaste natural do compartimento do motor que ocorre por se tratar de uma máquina nova e com poucas horas de uso. No entanto, deve-se esperar a terceira coleta para confirmar tal hipótese.

Um parâmetro presente na Tabela 5.16, que se refere as condições do fluido lubrificante é o Número de Basicidade Total (TBN), o qual indica o nível reserva de alcalinidade disponível para ácidos neutralizantes formados durante a combustão, apresentou anormalidade. O baixo índice de TBN (1,820 mg KOH/g) indicou degradação do lubrificante ou possível extensão no período de troca do óleo. Os resultados indicaram também a ocorrência de variação dos valores de aditivação do óleo. Essas anormalidades indicaram possível contaminação externa por outro fluido lubrificante.

Durante a inspeção foram verificadas as condições dos coletores de admissão e anormalidades durante a operação, não foi observado aumento de sopro no cárter, mas havia aumento da temperatura de trabalho. O óleo e o filtro foram trocados e a máquina voltou a colher aguardando nova parada programada após 500 horas para realizar nova coleta do lubrificante.

5.2.3 Terceira Coleta

A terceira coleta foi realizada no dia 04/09/2021, após 230 horas de rotação desde a última troca, tendo seu tempo de coleta diminuído devido aos baixos valores de TBN nas coletas anteriores. A análise apresentou normalidade (Tabela 5.17).

Tabela 5.17 — Dados da terceira amostra do Caso 2

Dados da Amostra							
Amostra	Status	Coleta	Resultado	Horímetro	h amostra	Troca?	Adição
2.3	Normal	04/09/2021	16/09/2021	2415	230	Sim	Não

Os resultados das análises do óleo lubrificante relacionados ao desgaste das peças devido à operação da máquina estão dispostos na Tabela 5.18. Os resultados das análises relacionados a identificação dos possíveis elementos contaminantes externos que podem contaminar o compartimento do motor estão dispostos na Tabela 5.19.

Tabela 5.18 — Desgaste da terceira amostra do Caso 2.

Desgaste											
Fe(ppm)	Cu(ppm)	Cr(ppm)	Pb(ppm)	Sn(ppm)	Ni(ppm)	Mo(ppm)	Ti(ppm)	V(ppm)	Mn(ppm)	Ag(ppm)	PQI
23	2	1	2	1	1	316	0	3	1	0	16

Tabela 5.19 — Contaminação e condições do fluido da terceira amostra do Caso 2.

Contaminação					Água	Condição do fluido
Si(ppm)	Al(ppm)	Na(ppm)	K(ppm)	Dil. Diesel CG(%)	KF Vol.(ppm)	TBN-4739(mg KOH/g)
6	7	4	4	< 1	1449	4,066

Verifica-se nas Tabelas 5.18 e 5.19 que todas as taxas de desgaste e contaminação se encontravam dentro do padrão, não havendo nenhuma anormalidade ou ponto de atenção. Além disso, o índice TBN de 4,066 mg KOH/g, apresentou melhora quando comparado com a coleta 2, ficando dentro dos padrões de normalidade (padrão normal: TBN > 4 mg KOH/g).

Desta forma, ao realizar a comparação entre as três amostras, foi constatada que as anormalidades das duas primeiras ocorriam devido ao desgaste natural do compartimento por tratar-se de uma máquina nova e poucas horas de uso. Foi indicado atentar-se ao tempo de uso do lubrificante, bem como, seguir os procedimentos operacionais de limpeza externa do acesso

ao compartimento, esvaziando e limpando a bomba, casa tenha sido usada para remonta de outro compartimento com lubrificante diferente, para evitar a contaminação do óleo ao preencher o cárter durante as atividades no campo. A normalidade da terceira amostra mostra que o compartimento já finalizou o processo de desgaste natural.

A Tabela 5.20 mostra o total economizado quando é realizada a troca periódica do óleo lubrificante e do filtro e o valor gasto, caso este óleo não fosse trocado, e, levasse, a uma degradação de todo o motor devido ao mau funcionamento do lubrificante. O prejuízo foi avaliado em 72 325,80 reais, considerando que todo o compartimento tivesse que ser refeito, gastando um valor quase 50 vezes do que realizando a troca de óleo e filtros periodicamente.

Tabela 5.20 — Comparativo de gastos com manutenção do Caso 2

Comparativo de gastos com manutenção	
Corretiva após análise de fluidos	R\$ 1 458,72
Corretiva após falha do equipamento	R\$ 72 325,80
Total economizado	R\$ 70 867,07

Caso 3 — CH570 John Deere

Este equipamento foi adquirido junto ao equipamento do caso 2 e ambos começaram a entrar em serviço simultaneamente.

5.3.1 Primeira coleta

A primeira coleta foi realizada no dia 23/07/2021, a máquina já estava rodando há cerca de um mês e meio e passado por duas trocas de óleo programadas. A ficha de dados (Tabela 5.21) não foi preenchida com as horas rodadas do equipamento, impedindo uma recomendação de manutenção adequada pelo laboratório.

Tabela 5.21 — Dados da primeira amostra do Caso 3.

Dados da Amostra							
Amostra	Status	Coleta	Resultado	Horímetro	h amostra	Troca?	Adição
3.1	Anormal	23/07/2021	16/08/2021		500	Sim	Não

Os resultados das análises do óleo lubrificante relacionados ao desgaste das peças devido à operação da máquina estão dispostos na Tabela 5.22. Os resultados das análises relacionados a identificação dos possíveis elementos contaminantes externos que podem contaminar o compartimento do motor estão dispostos na Tabela 5.23.

Tabela 5.22 — Desgaste da primeira amostra do Caso 3.

Desgaste											
Fe(ppm)	Cu(ppm)	Cr(ppm)	Pb(ppm)	Sn(ppm)	Ni(ppm)	Mo(ppm)	Ti(ppm)	V(ppm)	Mn(ppm)	Ag(ppm)	PQI
76	35	2	4	1	2	389	0	0	1	1	15

Tabela 5.23 — Contaminação da primeira amostra do Caso 3.

Contaminação					Água	Condição do fluido
Si(ppm)	Al(ppm)	Na(ppm)	K(ppm)	Dil. Diesel CG(%)	KF Vol.(ppm)	TBN-4739(mg KOH/g)
12	15	5	14	0,530	1905	2,133

A alta presença de Ferro e Cobre (Tabela 5.22), assim como a contaminação por Alumínio (Tabela 5.23) indicaram o desgaste interno no motor, com ênfase nas engrenagens, rolamentos e bronzinas.

Ao verificar as condições do fluido, constatou-se também que o índice de TBN estava baixo, com valor de 2,133 mg KOH/g, indicando degradação do lubrificante, podendo levar a depleção severa do compartimento, oxidando e desgastando o compartimento.

Durante a inspeção foi verificado o nível de óleo do cárter e observada a presença de partículas de desgaste nos filtros. O equipamento apresentava temperatura anormal de trabalho, devendo-se ao aumento do blow-by, indicando alta passagem de gases queimados da câmara de combustão para o cárter através dos anéis do pistão. Foi realizada a troca de óleo e do filtro e a máquina voltou a colher aguardando nova parada programada após 500 horas para realizar nova coleta do lubrificante.

5.3.2 Segunda Coleta

A segunda amostra foi coletada no dia 04/09/2021. Tal amostra apresentou resultado anormal e preenchimento errôneo da ficha (Tabela 5.24), impedindo a precisão da idade do óleo.

Tabela 5.24 — Dados da segunda amostra do Caso 3.

Dados da Amostra							
Amostra	Status	Coleta	Resultado	Horímetro	h amostra	Troca?	Adição
3.2	Anormal	19/08/2021	10/09/2021	2202		Sim	Não

Não houve a presença de contaminação ou partículas de desgaste no lubrificante, assim como volume de água na tolerância de 3000ppm, como mostrado nas Tabelas 5.25 e 5.26.

Tabela 5.25 — Desgaste da segunda amostra do Caso 3.

Desgaste											
Fe(ppm)	Cu(ppm)	Cr(ppm)	Pb(ppm)	Sn(ppm)	Ni(ppm)	Mo(ppm)	Ti(ppm)	V(ppm)	Mn(ppm)	Ag(ppm)	PQI
43	13	1	2	0	0	332	0	3	1	0	8

Tabela 5.26 — Contaminação da segunda amostra do Caso 3.

Contaminação					Água	Condição do fluido
Si(ppm)	Al(ppm)	Na(ppm)	K(ppm)	Dil. Diesel CG(%)	KF Vol.(ppm)	TBN-4739(mg KOH/g)
11	13	3	7	< 1	1496	3,208

Observa-se na Tabela 5.26 que o índice de TBN de 3,208 mg KOH/g apresentou-se novamente abaixo do padrão, indicando mais uma vez a degradação do óleo por possível extensão do tempo de troca.

Ao realizar a inspeção foram verificadas as condições dos coletores de admissão e nenhuma anormalidade durante a operação foi encontrada, estando a temperatura normal de trabalho e sem presença de sopro no cárter. O óleo e filtro foram trocados seguindo a programação de manutenção. A máquina voltou a colher aguardando nova parada programada após 500 horas para realizar nova coleta do lubrificante.”

5.3.3 Terceira coleta

A terceira amostra, realizado no dia 04/09/2021, apresentou todos os resultados dentro dos padrões normais e tolerância (Tabela 5.27).

Tabela 5.27 — Dados da terceira amostra do Caso 3.

Dados da Amostra							
Amostra	Status	Coleta	Resultado	Horímetro	h amostra	Troca?	Adição
3.3	Normal	04/09/2021	16/09/2021	2450	248	Sim	Não

Ocorreu uma pequena variação na taxa de aditivção do óleo por possível contaminação por outro fluido lubrificante durante o processo de coleta do fluido, porém os índices de desgaste e contaminação das Tabelas 5.28 e 5.29, encontravam-se dentro dos limites.

Tabela 5.28 — Desgaste da terceira amostra do Caso 3.

Desgaste											
Fe(ppm)	Cu(ppm)	Cr(ppm)	Pb(ppm)	Sn(ppm)	Ni(ppm)	Mo(ppm)	Ti(ppm)	V(ppm)	Mn(ppm)	Ag(ppm)	PQI
25	3	1	1	1	1	352	0	4	1	0	14

Tabela 5.29 — Contaminação da terceira amostra do Caso 3

Contaminação					Água	Condição do fluido
Si(ppm)	Al(ppm)	Na(ppm)	K(ppm)	Dil. Diesel CG(%)	KF Vol.(ppm)	TBN-4739(mg KOH/g)
9	8	4	2	< 1	1407	4,212

Com o terceiro resultado estando nos padrões e nenhum problema crítico encontrado durante as três inspeções, é possível concluir que a anormalidade da primeira coleta ocorreu devido ao desgaste natural do compartimento de um equipamento novo. Deve-se também seguir o plano de manutenção para troca de óleo no tempo recomendado pelo fabricante, sendo recomendada troca a cada 500 horas, de modo a deixar os índices de TBN altos e evitar uma falha no motor por degradação do fluido lubrificante.

Tabela 5.30 — Comparativo de gastos com manutenção do Caso 3

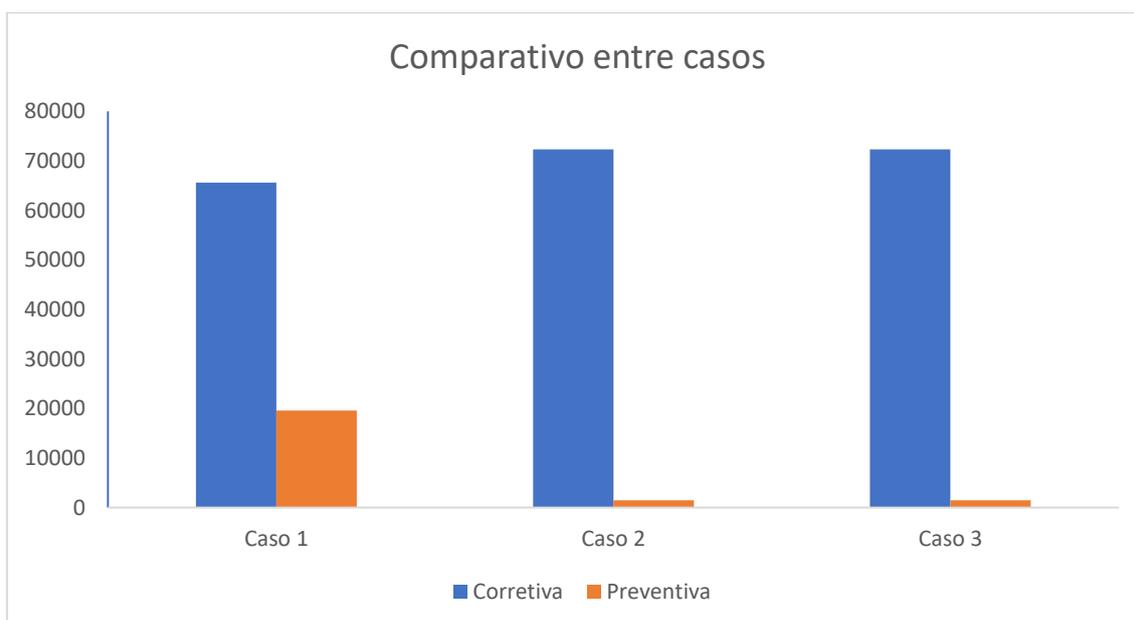
Comparativo de gastos com manutenção	
Corretiva após análise de fluidos	R\$ 1 458,72
Corretiva após falha do equipamento	R\$ 72 325,80
Total economizado	R\$ 70 867,07

A Tabela 5.30, assim como a Tabela 5.20 (referente ao caso 2), faz o comparativo entre realizar a manutenção periódica do equipamento, realizando as trocas de óleo no tempo recomendado e o que o custo de refazer o motor por uma falha originada de uma má lubrificação. A economia de mais de R\$70.000,00 é referente apenas as peças trocadas. Outros valores ainda mais relevantes poderiam ainda ser considerados, se fossem analisados os prejuízos ligados a colheita por tempo de máquina parada.

5.4 Comparativo entre casos

O Gráfico 1 evidencia as diferenças entre os custos de manutenção entre as duas máquinas agrícolas novas (CH570 John Deere) e uma máquina com três anos de uso (3520 John Deere), conforme descrito nos três casos avaliados por este estudo. Em tal gráfico as barras azuis referem-se ao custo de manutenção corretiva caso o compartimento tenha uma falha total, enquanto a barra laranja são os valores referentes a uma manutenção corretiva pontual, a partir da análise de fluidos.

Gráfico 1 — Comparativo de custos de manutenção entre os três casos



Verifica-se no Gráfico 1 que a correta manutenção programada com o auxílio das análises de fluidos (indicado no gráfico pelas barras laranjas), apresentaram custos de manutenção muito menores do que a manutenção corretiva realizada após falha do equipamento (indicado pelas barras azuis).

Além disso, observa-se também no Gráfico 1, que a colhedora 3520 (Caso 1) sendo um modelo mais antigo apresentou custo de manutenção preventiva consideravelmente maior, quando comparada com as máquinas de modelo novo, CH570 John Deere (Casos 2 e 3). No entanto, para a manutenção corretiva após a falha, a máquina de modelo antigo, 3520 John Deere possui de maneira geral peças mais baratas, apresentando, portanto, um custo menor que as máquinas de modelo novo CH570 John Deere.

6. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi realizado um comparativo de custo de manutenção corretiva após a falha do equipamento em comparação a manutenção corretiva programada para três máquinas agrícolas colhedoras de cana-de-açúcar.

Os resultados substancialmente menores de custo de manutenção verificados quando a mesma foi realizada programadamente em relação à manutenção corretiva após a falha, indicaram a importância de uma manutenção precisa e planejada, utilizando como principais ferramentas: a análise de fluidos como manutenção preditiva, os planos de manutenção indicados pelo fabricante da máquina agrícola, os planos de manutenção indicados pelo fabricante do fluido lubrificante e os planos de manutenção indicados pelo laboratório responsável pela análise.

As diferenças entre os valores de uma manutenção corretiva planejada e uma manutenção corretiva após falha, evidenciam como o modelo de produção baseado no funcionamento dos equipamentos operarem até à falha visando colher mais em menor tempo é ineficiente e dispendioso. As análises de fluidos permitiram encontrar falhas no processo de manutenção preventiva ao completar o óleo ou realizar sua troca, onde ocorria contaminação por outro fluido lubrificante, levando a variações nas taxas de aditivção do lubrificante. Esta contaminação, quando em excesso poderia levar a diminuição da eficiência do lubrificante ou causar reações químicas que degradam e deflagam as peças presentes no compartimento.

Portanto, foi possível visualizar a conexão entre a saúde do equipamento e lucros, a partir do uso de novas tecnologias implantadas ao processo de manutenção, e a importância de ter profissionais qualificados como manutenções.

Para os projetos futuros, é sugerido a inserção de outras tecnologias voltadas a manutenção preditiva, com análise de vibrações, análise de falhas em rolamentos e termografia. Estas tecnologias podem ser correlacionadas e quando realizadas e analisadas da forma correta, podem gerar resultados de altíssima precisão, auxiliando na melhoria dos planos de manutenção e permitindo atuar com antecedência a falha.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBERT, J. **Innovations in food labelling**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations: Woodhead Publishing Limited, 2010.

ALMEIDA, M. T.. **Manutenção preditiva: benefícios e lucratividade**. MTA, 2011.

ALMEIDA, Márcio Tadeu de. **Manutenção Preditiva: Confiabilidade e Qualidade**. Itajubá: 2000. 5 p.

ALMEIDA, D. M. de; COSTA, D. de M.; COSTA, D. V. **Estratégias de marketing para o novo consumidor omnichannel: um estudo em dois grupos varejistas**. Revista de Administração e Negócios da Amazônia, v. 9, n. 3, p. 20-36, maio/ago. 2017. DOI: 10.18361/2176-8366/rara.v9n3p20-36 20.

CHADDAD, F. **The economics and organization of Brazilian agriculture: recent evolution and productivity gains**. San Diego: Elsevier, 2016.

CASTILHOS, C. C.; STEINBERG, S.; JORNADA, M. I. H.; GUILARDI, R. C. **A indústria de máquinas e implementos agrícolas no RS: notas sobre a configuração recente**. Ensaios FEE, Porto Alegre, v. 29, n. 2, p. 467-502, 2008.

Embrapa. **Visão 2030: o futuro da agricultura brasileira**. – Brasília, DF: Embrapa, 2018

GURSKI C. A.; RODRIGUES M.. **Planejando estrategicamente a manutenção**. XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Rio de Janeiro: ENEGEP, 2008.

KARDEC, A.; NASCIF J. **Manutenção: função estratégica**. 3ª edição. Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobrás, 2009.

MOTTER, O. **Manutenção Industrial — O Poder Oculto na Empresa**. São Paulo: Hemus, 1992.

NAVARRO, Z.; CAMPOS, S. K. (Org.). **A pequena produção rural e as tendências do desenvolvimento agrário brasileiro: ganhar tempo é possível?** Brasília, DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2013. 264 p.

PINTO, Alan Kardec; XAVIER, Júlio Nassif. **Manutenção: função estratégica.** Rio de Janeiro: Qualitymark, 1998

ROYLANCE, B. J.; HUNT, T. M. **The wear debris analysis handbook.** United Kingdom: Coxmoor Publishing Company, 1999

SCHUH, G. E. **O desenvolvimento da agricultura no Brasil,** Rio de Janeiro, APEC, 1971.

SIQUEIRA, Iony **Patriota de. Manutenção Centrada na Confiabilidade: Manual de Implementação.**1. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2005. 408 p.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção.** São Paulo: Atlas, 2002.

VIANA, H. R. G. PCM: **Planejamento e Controle da Manutenção,** Rio de Janeiro, Qualitymark, 2002, p.167.

WILDE, S. de. **The future of technology in agriculture.** The Hague: STT Netherlands Study Centre for Technology Trends, 2016. 118 p. Disponível em: Acesso em: 30 mai. 2021

ZAIIONS, Douglas Roberto. **Consolidação da Metodologia de Manutenção Centrada em Confiabilidade em uma Planta de Celulose e Papel.** 2003. 219f. Dissertação de Conclusão de Curso (Mestrado) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2003.