ANÁLISE DA CONTAMINAÇÃO SÓLIDA EM UMA BANCADA DE SIMULAÇÃO DE CIRCUITOS HIDRÁULICOS

Luiz Pereira da Costa Neto [(1)] (luizpereiradacosta@gmail.com), Diogo Monteiro do Nascimento [(1)] (diogomonteiro.nascimento@gmail.com), Éverton Fernandes da Silva [(1)] (everton_fernandes_silva@hotmail.com), José Endreo Baracho da Costa [(1)] (endreomec@hotmail.com), Larissa Maria Soares de Farias [(1)] (larissa.farias92@gmail.com)

[(1)] Universidade Federal de Pernambuco (UFPE); Departamento de Engenharia Mecânica

RESUMO: *Este artigo tem por objetivo realizar a comparação entre a contaminação sólida existente em um fluido hidráulico antes e após sua utilização. A partir dos resultados gerados através do contador de partículas em linha IcountPD e a análise laboratorial (análise química), conseguimos identificar o grau de contaminação deste óleo e também verificar qual a composição química destes contaminantes, sendo possível inferir assim os principais fatores que podem proporcionar esta contaminação. Têm-se como objetivo secundário ressaltar a importância da aplicação de uma filtragem eficiente dos óleos hidráulicos até mesmo quando ele está sem uso, uma vez que o próprio apresenta um nível superior de contaminação permitida por alguns componentes, como por exemplo válvulas proporcionais. Ao fim, foi detectado que a contaminação dos óleos é devida a frequência de uso do equipamento e ao ambiente onde o equipamento está localizado. Embora haja a contaminação, esta está nos níveis aceitáveis em ambas as condições estudadas (antes e após uso do óleo), contudo se faz necessário o uso de sistema de filtragem dos óleos.*

PALAVRAS-CHAVE: *SIATEMA HIDRÁULICO, CONTAMINAÇÃO, CONTADOR DE PARTÍCULAS, ANÁLISE LABORATORIAL.*

ANALYSIS OF SOLID CONTAMINATION IN A CIRCUITS HYDRAULIC SIMULATION BENCH

ABSTRACT: *This article aims to compare solid contamination in a hydraulic fluid before and after use. From the results generated through the IcountPD in-line particle counter and laboratory analysis (chemical analysis), we were able to identify the degree of contamination of this oil and also verify the chemical composition of these contaminants, making it possible to infer the main factors that can provide this contamination. The secondary objective is to emphasize the importance of applying an efficient filtering of hydraulic oil even when it is not in use, since it presents a higher level of contamination allowed by some components, such as proportional valves. In the end, it was detected that oil contamination is due to the frequency of use of the equipment and the environment where the equipment is located. Although there is contamination, it is at acceptable levels in both studied conditions (before and after oil use), however it is necessary to use an oil filtration system.*

KEYWORDS: *HYDRAULIC SYSTEM, CONTAMINATION, PARTICLE CONTER,LABORATORY ANALYSIS.*

1. INTRODUÇÃO

A evolução em qualquer setor industrial é uma ação constante em função do tempo. Nos equipamentos hidráulicos não seria diferente. O grande objetivo desta evolução tem por finalidade produzir equipamentos mais eficientes aumento na pressão de trabalho, na ordem de 50 % ou mais (HYDAC, 2020). De acordo com o fabricante HDA (HDA, 1993), atualmente são fabricadas bombas de engrenagens com capacidade de pressão por volta de 250 bar a 300 bar.

Esta evolução foi alcançada através de grandes investimentos em máquinas mais modernas, consequentemente mais precisas e mais produtivas, sendo capazes de produzir componentes com alta precisão geométrica e dimensional. Devido a esta maior precisão, consegue-se trabalhar com menores folgas e melhor balanceamento hidráulico. Como resultado, obtemos menores vazamentos internos, maior precisão, maior velocidade nos movimentos e, por fim, podemos utilizar pressões de trabalho mais altas.

Foi atribuído também aos sistemas hidráulicos comandos eletrônicos, o que acrescentou novas exigências no tocante a qualidade e precisão. Devido ao fato de se existir folgas menores, os equipamentos hidráulicos tornaram-se mais sensíveis aos contaminantes sólidos em suspensão nos fluidos. Por esse motivo, o controle de contaminantes sólidos tornou-se indispensável para assegurar o correto funcionamento das válvulas, além de assegurar uma maior vida útil as válvulas, bombas e motores.

Então, existe a necessidade de se determinar, com precisão e clareza, o nível de limpeza que o fluido hidráulico em questão deve ter, para assim conseguir-se garantir o perfeito funcionamento dos sistemas hidráulicos.

Há vários anos diversas organizações têm por objetivo estabelecer parâmetros e critérios para determinar o nível de contaminação dos fluidos. Entre estas instituições, podemos destacar a NFPA (National Fire Protection Association), a ASTM (American Society of Test and Materials), a SAE (Society of American Enginneers). Entretanto, as que possuem maior aceitação na normalização de contaminantes sólidos em fluidos são a ISO (International Organization for Standardization), com o uso da norma ISO 4406 – Método de codificação do nível de contaminação por partículas sólidas e a NAS (National Aerospace Standard), com o uso da norma NAS 1638 - International particle count standards, as quais serão descritas durante o estudo.

Além de determinar a quantidade de contaminação, é importante também conhecer os tipos de partículas que contaminam o sistema, pois assim pode-se analisar a eficiência do filtro, buscar os pontos que contaminam o sistema hidráulico, verificar o desgaste dos componentes, entre outros.

Este trabalho tem como objetivo realizar a análise da contaminação sólida do óleo hidráulico presente em uma bancada de simulação didática, identificando a classe de contaminação, as principais partículas que contaminam o sistema e possíveis soluções para a redução da contaminação.

2. CONTAMINAÇÃO DO FLUIDO HIDRÁULICO

O fluido hidráulico é o principal elemento de um sistema hidráulico, pois ele tem como finalidade transmitir energia aos atuadores, lubrificar as partes internas dos componentes do sistema, atuar na vedação entre as partes e servir como meio de transmissão de calor. Devido a alguns fatores, como por exemplo custo de produção, valor de revenda, condições de operação e relação custo versus benefício bastante satisfatória, os fluidos a base de petróleo são os mais utilizados (CABRAL, 2011).

Segundo a Parker (2014) mais de 75% das falhas ocorridas em sistemas hidráulicos são devido ao excesso de contaminação, seja ela interna ao sistema (no caso de partículas que se desprendem dos componentes ou até mesmo a contaminação do óleo novo), ou seja através de contaminação externa (partículas de sujeira que adentram ao sistema através de partes abertas.

A contaminação interfere com a transmissão de energia vedando pequenos orifícios nos componentes hidráulicos. Nesta condição, a ação das válvulas não é apenas imprevisível e improdutiva, mas também insegura. Devido à viscosidade, atrito e mudanças de direção, o fluido hidráulico gera calor durante a operação do sistema. Quando o líquido retorna ao reservatório, transfere calor às suas paredes. As partículas contaminantes interferem no esfriamento do líquido, por formar um sedimento que torna difícil a transferência de calor para as paredes do reservatório (CABRAL, 2011).

Segundo Cabral (2011) provavelmente, o maior problema com a contaminação num sistema hidráulico é que ela interfere na lubrificação. A falta de lubrificação causa desgaste excessivo,

resposta lenta, operações não-sequenciadas, queima da bobina do solenoide e falha prematura do componente.

A Figura 1 representa as consequências da contaminação do fluido hidráulico em um componente.

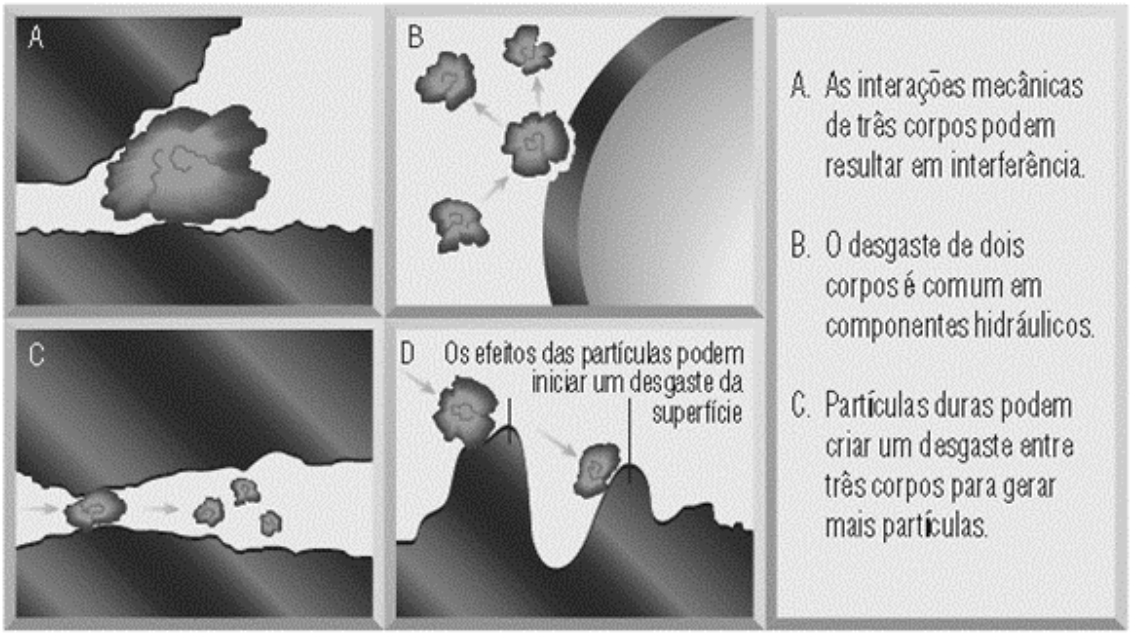

FIGURA 1. Efeitos da contaminação dos fluidos hidráulicos. Fonte: PARKER (2014).

Dentre as técnicas para monitoramento do nível de contaminação dos fluidos hidráulicos se destacam: as análises em laboratório e a leitura das partículas a laser. Esta última além de ser uma técnica mais moderna, esta medição permite que o resultado aconteça em tempo real durante o funcionamento do equipamento. Nesta etapa também é permitido a comunicação do equipamento com um computador, com o objetivo de acompanharmos esta medição online e criar parâmetros de contaminação do fluido hidráulico em função do tempo.

De acordo com FERNANDO (2020), existe uma relação entre a frequência de defeitos em equipamentos dos sistemas hidráulicos em função da contaminação do óleo hidráulico. Na Tabela 1 será representada essa relação de contaminação e necessidade de manutenção.

Por exemplo: quando analisamos as causas de falhas de uma válvula de controle direcional, percebemos que o defeito mais comum é o engripamento do carretel, provocando a deterioração

das vedações e provocando assim o vazamento do fluido hidráulico. Além disso, quando os contaminantes sólidos provocam o arranhamento das carcaças de válvulas e carretel, faz-se necessário a substituição da válvula de controle direcional (PARKER, 2012).

No tocante aos atuadores, os contaminantes sólidos, por serem partículas, em maioria, abrasivas, provocam arranhões na haste do cilindro e/ou na camisa além de provocar vazamentos externos e/ou internos, fazendo com que seja necessário uma intervenção bastante breve para a solução destas falhas.

TABELA 1. Tamanho relativo de partículas.

Equipamento	Percentual (%)
Bomba	35
Atuadores	15
Controladoras de pressão	15
Válvulas direcionais	10
Tubulações	10
Outros	15

Fonte: Adaptado de PARKER (2012).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização do desenvolvimento dos procedimentos propostos neste trabalho, foi utilizada uma bancada de testes hidráulicos PARKER, como a apresentada na Figura 2.

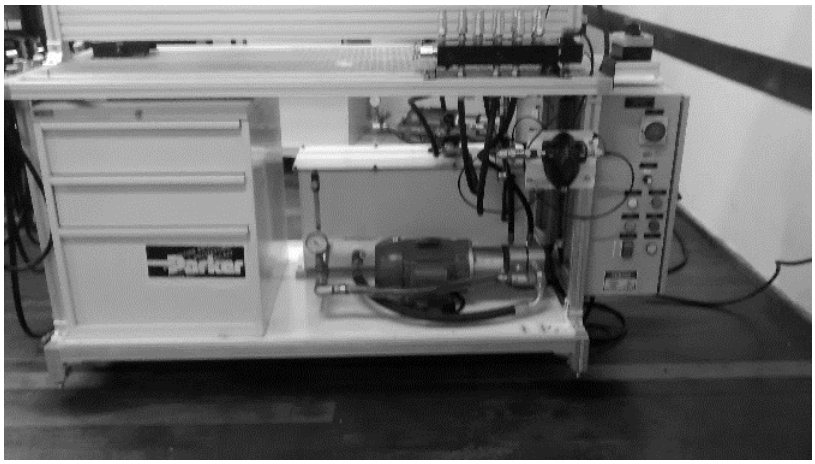

FIGURA 2. Bancada hidráulica didática. Fonte: Autor (2020).

3.1. Normas

Foi usada a norma ISO 4406:1999 (Método de Condição do Nível de Contaminação por Partículas Sólidas) para avaliação da limpeza do óleo antes e após o uso.

E a norma ISO 4021:1992 para padronizar o procedimento de coleta das amostras.

3.2. Sistema de contagem de partículas

Para realizarmos a contagem das partículas, utilizaremos o aparelho chamado IcountPD, Figura 3. Este equipamento nada mais é do que um detector de partículas em linha. A sua tecnologia de medição é baseada na emissão e recepção de um laser. Este aparelho tornou-se uma solução bastante econômica do mercado para o gerenciamento de fluido e controle de contaminação (PARKER, 2012).



FIGURA 3. Contador de partículas em linha IcountPD. Fonte: PARKER (2012).

As principais características desse aparelho são: monitoramento independente das tendências de contaminação do sistema; LED de alerta precoce ou indicadores de visor digital para os níveis de contaminação baixa, média e alta; indicadores visuais com avisos de saída de energia e alarme e software de autodiagnostico (PARKER, 2012).

3.3. Norma para realizar coleta das amostras

A primeira etapa realizada foi a elaboração do procedimento para recolher amostras do fluido hidráulico.

Para realizar este procedimento, consultou-se o manual da PARKER (2014), onde informa algumas atitudes para não acontecer erro na coleta da amostra:

- O óleo do equipamento deverá estar quente, podendo realizar a coleta até no máximo 30 minutos após a parada do equipamento.
- Não deve-se realizar a coleta na superfície do reservatório.
- Não deve-se realizar a coleta no fundo do reservatório.
- Não coletar próximo ou em áreas de pouco movimento do fluido, como cantos e curvas.

A norma ISO 4021:1992 define que se não pode-se montar um aparato através das linhas de pressão do sistema para realizar-se a coleta do fluido hidráulico, é possível a retirada das amostras a partir do reservatório. Contudo, muito cuidado deve ser tomado para evitar a adição de mais contaminação no ponto de amostragem.

A partir disso, o procedimento descrito na norma ISO 4021:1992 é:

1. Extrai-se a amostra a partir de uma área centralizada onde o fluido se encontra em movimento e para longe de quaisquer áreas provocados por cantos e defletores.
2. Selecione uma abertura conveniente no reservatório, acima do nível do líquido, através do qual o tubo coletor de amostra pode entrar. Determinar a distância h / 2 (como se mostra na Figura 4) para estabelecer a profundidade do ponto de amostragem abaixo da superfície do fluido. Coloque uma marca de referência no mostrador para indicar a superfície do reservatório no ponto de entrada.

3. Usando uma disposição como mostrada na Figura 4, extrair cerca de 200 ml de solvente pré-filtrada através da tampa da garrafa A, utilizando uma fonte de vácuo. Este procedimento é utilizado para garantir a limpeza do recipiente pelo qual não se garante que esteja completamente limpo.
4. Remover garrafa A a partir da tampa especial do aparelho de amostragem e descartar o solvente. Recolocar a garrafa A para o tampão especial e inserir o tubo de coleta de amostras para a área desejada do reservatório.
5. Coleta-se a primeira amostra com cerca de 500 ml de volume na garrafa A e posteriormente faz-se o descarte desta amostra.
6. Depois retira-se a tampa da garrafa B e coloca-se esta garrafa acoplada a tampa especial para iniciar a coleta do fluido hidráulico. O volume de coleta deverá ocupar até 75% do volume da garrafa. Esta garrafa deverá ter volume útil mínimo **equivalente a cerca de 250 ml, para garantir um volume de óleo suficiente para ser ensaiado.**
7. Por fim, deve-se realizar o fechamento imediato da garrafa B

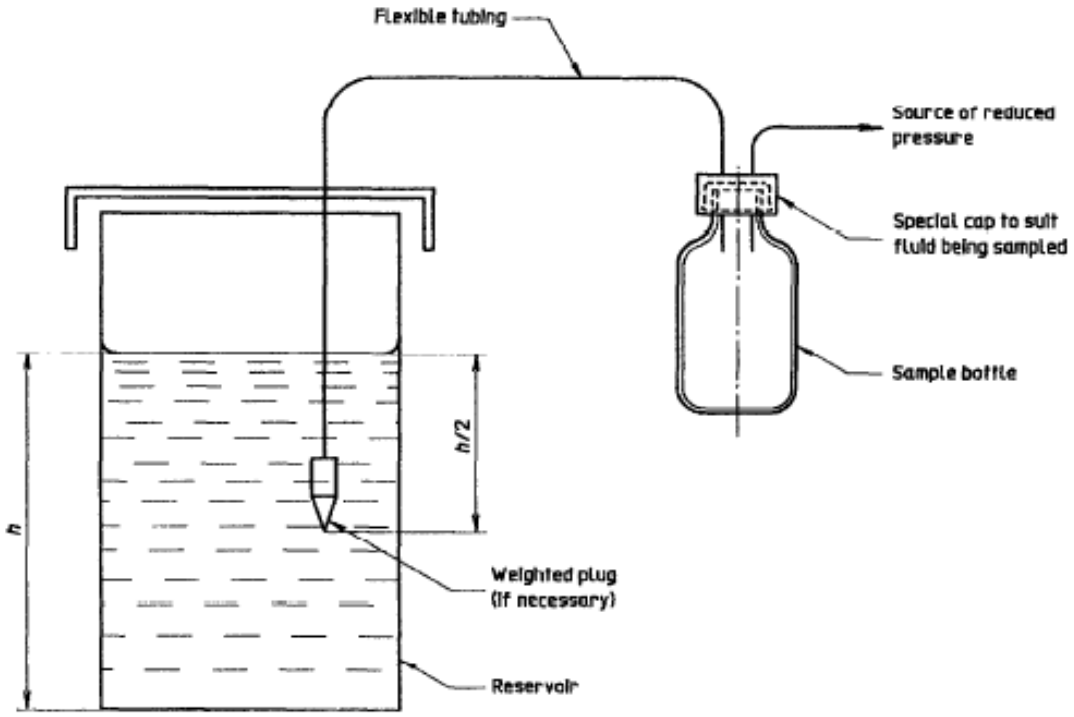

FIGURA 4. Aparato para recolhimento de amostra de óleo. Fonte: ISO 4021 (1992).

No tocante a rotulagem, a norma ISO 4021:1992 determina que no rótulo estejam presentes, sempre que possível, as seguintes informações: Número de referência da amostra; data e hora da amostra; referência do sistema; tipo de fluido, temperatura do fluido e (se conhecida) o quociente de vazão; local de amostragem e a pressão utilizados; tempo de execução.

3.4. Coleta das amostras

De posse das informações contidas na norma ISO 4021:1992 e obtidas com o fabricante PARKER (2014), foi elaborado o procedimento de coleta das amostras. Devido a uma limitação de não se possuir a bomba de vácuo, houve a necessidade de uma adaptação do procedimento de coleta.

O procedimento se deu da seguinte forma:

1. Foi enviado pelo laboratório três recipientes limpos e tampados com capacidade de 250 ml para ser colocado as amostras de óleo hidráulico coletadas.
2. Em substituição ao dispositivo com tampa especial e bomba de vácuo, utilizou-se para cada coleta uma seringa fechada e estéril e uma mangueira do tipo sonda hospitalar, também lacrada e estéril para a coleta das amostras de fluido hidráulico.
3. Foram confeccionadas hastes de material estéril e limpo para permitir que as mangueiras obedeçam a determinação de coletar a amostra no centro do reservatório.
4. Para realizar a coleta do óleo novo, o bocal da embalagem foi limpo e o dispositivo criado (mangueira e haste) foi introduzido no recipiente onde o óleo novo está armazenado. Após isso, houve a retirada de 250 ml de amostra e foi colocado na primeira garrafa, identificada corretamente como óleo novo. Vale salientar que a primeira coleta foi descartada em um outro recipiente. No fim da coleta, o conjunto mangueira-haste e seringa foram limpos e descartados.
5. Depois, foi realizada a coleta do óleo na bancada 01. Segundo recomendação, foi criado um pequeno circuito hidráulico e o sistema foi posto em operação por 30 minutos, com o objetivo de agitar o óleo do sistema. Posteriormente o bocal de abastecimento do óleo desta bancada foi limpo e se retirou o filtro, conseguindo assim acesso ao reservatório da bancada. Após isso,

foi introduzido um novo conjunto mangueira-haste, tomando-se bastante cuidado para obedecer aos critérios de altura para coleta e que a coleta não seja realizada em cantos ou em pontos de deflexão. Então, vale salientar que foi descartada a primeira amostra coletada, foi retirado 250 ml de óleo desse sistema e sendo armazenado numa garrafa identificada com o rótulo "óleo hidráulico MOBIL DTX-24, ISO VG 32, bancada 01".

6. O mesmo procedimento foi repetido para a bancada 02. A diferença foi o uso de um novo conjunto mangueira-haste e o rótulo da garrafa, contendo a identificação da bancada 02.

3.5. Condição inicial das amostras

Foi utilizado o óleo hidráulico MOBIL DTX-24, onde suas principais características, de acordo com o fabricante COSAN são:

- Classificação ISO: VG 32;
- Viscosidade [ASTM D 445] (cSt): 31,5 (a 40°C) e 5,29 (a 100°C).

A bancada 01 está localizada em uma sala climatizada e limpa. Esta bancada também tem uma utilização média de 2 horas/dia.

A bancada 02 está localizada em um ambiente mais impróprio: está presente em uma oficina aberta, onde a presença de sujeira e poeira é imperativa. O tempo médio de utilização deste equipamento é de 1 hora/mês.

A quantidade de partículas sólidas presente no óleo lubrificante foi aferida com a utilização do IcountPD, de acordo com a norma ISO 4406:1999. Os resultados produzidos pelo IcountPD estão apresentados na Tabela 2.

TABELA 2. Grau de pureza do fluido hidráulico

Bancada	Código ISO
01	15/11/10
02	16/12/>8

Fonte: Autor (2020).

3.6. Teste de sujidade

A norma ISO 4407:2002 descreve detalhadamente a execução deste teste, que consiste em filtrar a vácuo um volume conhecido de líquido hidráulico, geralmente 100 ml, através de um filtro de membrana para separar os contaminantes do líquido. As partículas são examinadas microscopicamente usando luz incidente ou luz transmitida, depois de fazer o filtro de membrana transparente, o tamanho e a contagem das partículas contaminantes de acordo com a sua dimensão maior.

Normalmente, o filtro de membrana deve ser de 47 mm de diâmetro, branca, reticulada (cada quadrado da grelha com os lados 3,08 mm ± 0,05 mm e uma área igual a 1/100 da área de filtração efetiva), com um tamanho de poro inferior a 1,5 micrômetro, utilizado para contagem manual para baixo para 2 micrômetros.

Após essa filtragem, utiliza-se o microscópio eletrônico e identifica a área de maior concentração das partículas. A partir disso, mede-se o tamanho das partículas através de um microscópio eletrônico e faz-se a representação normalizada do grau de contaminação (TRIPLE, 2020).

Uma outra maneira de verificar o valor da contaminação é utilizando-se a comparação da imagem obtida no microscópio, ou seja, a imagem real, com um padrão emitido por fabricantes (HYDAC, 2020).

4. RESULTADOS

Após a execução do teste de sujidade, foi-se gerado as imagens reais e comparada com a imagem padrão da análise do óleo novo (Figura 5), óleo hidráulico da bancada 01 (Figura 6) e óleo hidráulico da bancada 02 (Figura 7).

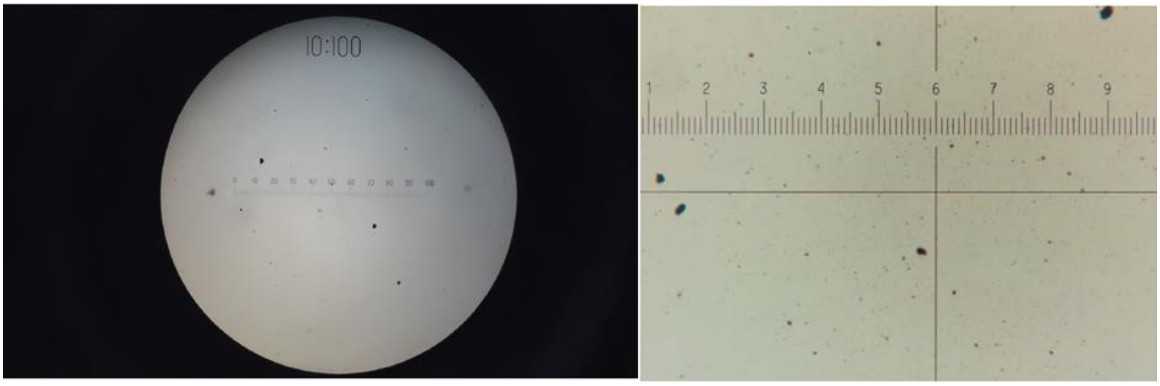

FIGURA 5. Comparação do óleo novo (esquerda) com padrão (direita). Fonte: Auto (2020) e HYDAC (2020).

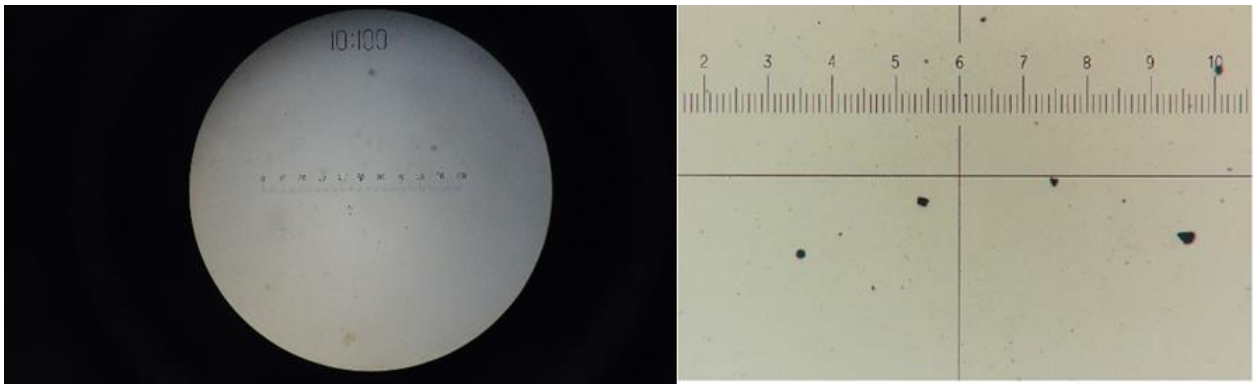

FIGURA 6. Comparação do óleo da bancada 01 (esquerda) com padrão (direita). Fonte: Auto (2020) e HYDAC (2020).

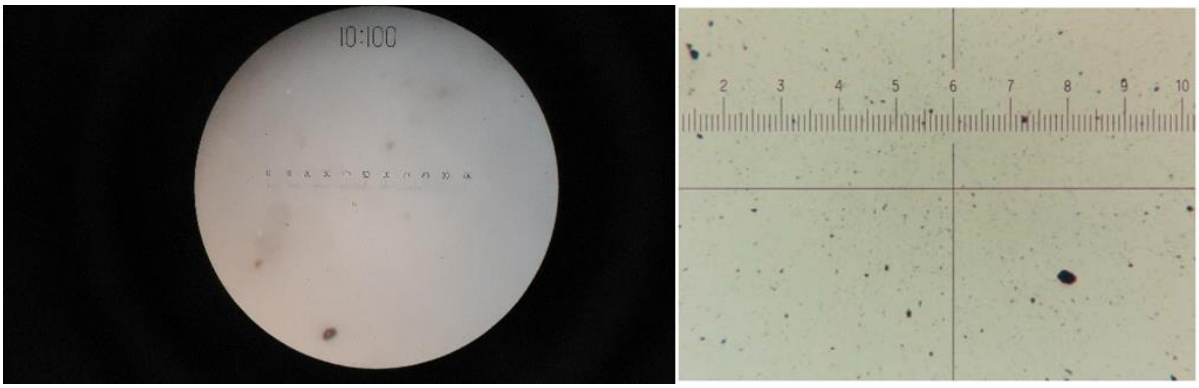

FIGURA 7. Comparação do óleo da bancada 02 (esquerda) com padrão (direita). Fonte: Auto (2020) e HYDAC (2020).

A Tabela 3 mostra os resultados obtidos o teste de sujidade realizado em laboratório.

TABELA 3. Resultados teste de sujidade

Amostra	IcountPD	Código ISO 4406:1999
Óleo novo	X	19/17/14
Bancada 01	15/11/10	18/16/13
Bancada 02	16/12/>8	20/18/15

Fonte: Autor (2020).

5. DISCUSSÃO

A partir dos resultados encontrados, pode-se inferir alguns fatos:

1. A contaminação está atrelada não só a frequência de utilização do equipamento. Está ligada também ao ambiente cujo equipamento está localizado.
2. O óleo novo apresenta um grau de contaminação bastante satisfatório (ISO 19/17/14), o que torna-o bastante confiável quanto a sua aplicação em sistemas hidráulicos. Contudo, há, com o objetivo de conferir maior grau de limpeza ao óleo e ao sistema, a necessidade de uma filtragem prévia para posterior abastecimento. A contaminação existente neste tipo de óleo é proveniente, sobretudo, do processo de fabricação do mesmo.
3. O óleo extraído da bancada 01 apresenta um baixo grau de contaminação (ISO 18/16/13). Sendo assim, ainda está bastante próprio para a utilização, necessitando de acompanhamento para verificação do índice de contaminação
4. O óleo extraído da bancada 02 apresentou um nível um pouco maior de contaminação (ISO 20/18/15). Este índice mais alto está atribuído a baixa utilização do equipamento, fazendo com que o fluido passe poucas vezes pelo filtro, retardando o processo de limpeza de partículas do fluido hidráulico. Com isso, verifica-se a necessidade de um acompanhamento mais frequente desta contaminação.

Como soluções, são sugeridas as seguintes ações:

1. Deveremos realizar o monitoramento da contaminação em uma frequência trimestral, para que com isso seja possível monitorar a degradação do óleo hidráulico e preservar a confiabilidade do sistema.

2. Deve-se estimular o uso mais frequente da bancada 02, promovendo assim uma maior utilização do sistema e consequentemente uma maior filtragem do fluido hidráulico, para assim observar se há uma redução da contaminação do óleo.
3. Deve-se realizar a calibração do IcountPD, uma vez que suas medições foram diferentes em relação a análise do laboratório. Para que esta calibração seja válida, seria interessante que a mesma fosse executada pelo próprio fabricante do equipamento, que neste caso é a PARKER, ou a partir de procedimento elaborado baseado na norma ISO 11171 – Calibração de contador de partículas automático para fluidos.

6. CONCLUSÕES

- Os óleos analisados atendem as especificações e possuem grau de limpeza bastante satisfatório para a sua finalidade de utilização.
- O óleo novo mobil DTE-24 apresenta um grau de contaminação dentro dos padrões (ISO 19/17/14), uma vez que, segundo a TRIPLE (2020), um óleo novo admite contaminação entre o grau ISO 15/13/10 até o grau ISO 19/17/14.
- O monitoramento da contaminação do óleo deve ser implantado, para que assim seja possível garantir a preservação da confiabilidade do sistema e consequentemente a redução de custos de manutenção seja reduzida.
- É recomendado que esse acompanhamento não seja realizado apenas em sistemas hidráulicos, mas também em sistemas de lubrificação, para que a partir desta análise preditiva possamos verificar a real condição de trabalho dos óleos lubrificantes empregados, para que assim seja mensurado a sua eficiência e seu desgaste, para que, através destas informações, seja precisado o momento ideal para a troca do lubrificante e consequentemente dos filtros utilizados, fazendo com que os gastos com esse sistema sejam otimizados.

REFERÊNCIAS

CABRAL, T. Hidráulica Básica. Pará, 2011.

FERNANDO. MANUTENÇÃO PNEUMÁTICA E HIDRÁULICA, São Paulo. Disponível em: http://slideplayer.com.br/slide/1782140/ . Acesso em 25/04/2020.

HDA. Classes de Contaminação. São Paulo, 1993.

HYDAC. A IMPORTÂNCIA DA FILTRAGEM, São Paulo, 2009. Disponível em: <http://www.fluidcontrol.com.br/library/pdf/importanciadafiltragem.pdf>. Acesso em 20/04/2020.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 4406 – Método de codificação do nível de contaminação por partículas sólidas. Londres, ISO, 1999.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 4407 – Determinação da contaminação por partículas usando microscópio óptico. Londres, ISO, 2002.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 4021 – Análise da contaminação de partículas: extração do fluido através das linhas de operação do sistema. Londres, ISO, 1992.

NATIONAL AEROSPACE STANDARD. NAS 1638 - Cleanliness requirements of parts used in Hydraulic systems. Aerospace Industries of America, Washington D.C., USA, 2001.

PARKER. M2001-4 BR APOSTILA TECNOLOGIA HIDRÁULICA INDUSTRIAL. São Paulo, 2014.

PARKER. APOSTILA ICOUNTPD DETECTOR DE PARTÍCULAS EM LINHA, São Paulo, 2012.

TRIPLE R. APOSTILA AMOSTRAGEM E ANÁLISE DE ÓLEO. Disponível em: http://www.triple-rrr.com.br/pt/Content/oil-analysis.html. Acesso em 20/04/2020.