

INFLUÊNCIA DO CONCEITO DO SISTEMA DE FILTRAGEM NA FILTRAÇÃO DO ÓLEO HIDRÁULICO*

Thiago Alexander Heck¹

Amanda Gonçalves Kieling²

Carlos Alberto Mendes Moraes³

Walter Andrey Fontana⁴

Tatiana Louise Avila de Campos Rocha⁵

Resumo

A indústria de máquinas e equipamentos hidráulicos está manufacturando produtos com tolerâncias de ajustes dimensionais cada vez menores, visando o prolongamento da vida útil e o alto rendimento de tais componentes. Nesta perspectiva, é notória a necessidade de identificar as principais fontes de contaminação existentes nos fluidos hidráulicos, a fim de controlá-los. A partir da coleta de amostras de um óleo hidráulico que passa por uma filtragem nominal e de um óleo hidráulico que passa por um processo de filtração absoluta, foi realizada a contagem de partículas, análise por fluorescência de raios-x, análise microscópica óptica e análise por microscopia eletrônica de varredura, para estas amostras. Com base nas análises realizadas, foi possível constatar a importância do processo de filtragem absoluta na redução dos níveis de contaminação do óleo hidráulico.

Palavras-chave: Filtragem absoluta; Filtragem nominal; Contagem de partículas; Análise química de materiais.

CONCEPT INFLUENCE OF THE FILTERING SYSTEM IN THE FILTRATION OF HYDRAULIC OIL

Abstract

The industry of hydraulic machine and equipment is manufacturing products with smaller and smaller tolerances of dimensional adjustments, aiming the extension of the life and the high performance of these components. In this perspective, it is possible to note the requirement to identify the main contamination sources for hydraulic fluids to control them. From the sampling of an hydraulic oil that undergoes a nominal filtration and an hydraulic oil that undergoes an absolute filtration process, it was carried out the particle counting, x-rays fluorescence analysis, optical and scanning electron microscopy analysis. Based on the results, it was possible to show the importance of the absolute filtration process in the reduction of contamination levels in the hydraulic oil.

Keywords: Absolute filtration; Nominal filtration; Particle counting; Material chemistry analysis.

¹ Engenheiro Mecânico, Engenheiro de Manufatura, John Deere Montenegro, Montenegro, RS, Brasil.

² Engenheira de Alimentos, Mestre em Engenharia Civil, Professora, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, RS, Brasil.

³ Membro da ABM, Prof. Dr., PPG Engenharia Civil e Engenharia Mecânica, NucMat, Unisinos, São Leopoldo, RS, Brasil.

⁴ Engenheiro Mecânico, Dr. em Engenharia, Professor, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, RS, Brasil.

⁵ Química, Dr em Ciência dos Materiais, Professora da Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, RS, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

A indústria de máquinas e equipamentos procura desenvolver produtos com uma longínqua vida útil e alto rendimento no desempenho de suas funções. A contínua evolução tecnológica dos componentes mecânicos e hidráulicos exige o constante monitoramento e a necessidade de evolução na qualidade dos fluidos hidráulicos.

Para Sutherland [1] há uma grande variedade de processos envolvendo fluidos, e por consequência, uma grande variedade de contaminantes nos mesmos, gerando a necessidade de análise e adequação de seus sistemas de redução de contaminantes.

Em processos de manufatura, é inevitável a geração de contaminantes, visto que muitos destes fazem parte do ambiente fabril, dos processos de usinagem, processos de conformação, fundição, pintura, e assim como pelo próprio sistema mecânico e hidráulico dos equipamentos. As fontes geradoras de contaminação podem ser reduzidas, porém nunca eliminadas.

Conforme Oliveira [2], pelo menos 75% de todas as falhas dos sistemas hidráulicos e de lubrificação estão relacionadas à contaminação. A existência de contaminantes em sistemas hidráulicos provoca o envelhecimento e degradação do fluido, aumento da folga dos componentes e por consequência o surgimento de vazamentos internos e externos, perda de eficiência e geração excessiva de calor.

Para Oliveira [2], alta eficiência de filtração está diretamente ligada ao processo de filtragem utilizado. A filtragem nominal possui como principal característica a baixa eficiência de filtração, além de que, os resultados prometidos, são raramente reproduzíveis, em função de ser baseada em testes gravimétricos. Já a filtragem absoluta refere-se à capacidade de um filtro em remover partículas cujo conceito é baseado na contagem de partículas. Filtros com essa capacidade devem possuir uma eficiência maior ou igual a 99,5% na remoção de partículas que passam pelo filtro ou razão Beta $\beta \geq 200$.

Deste modo, conhecer e controlar os contaminantes existentes nos sistemas hidráulicos torna-se imprescindível para garantir a qualidade e eficiência das máquinas e equipamentos, possibilitando o desenvolvimento de processos que diminuam a contaminação dos mesmos. Neste sentido, este trabalho tem como objetivo comparar os sistemas de filtragem nominal e absoluta para o óleo hidráulico lubrificante de uma caixa de transmissão de engrenagens.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Coleta das Amostras

Foram coletadas amostras de óleo de dois sistemas hidráulicos idênticos, porém, com sistemas de filtragem diferentes (Nominal e Absoluto). As amostras foram coletadas de dois pontos em cada sistema. A primeira coleta corresponde ao óleo oriundo do tanque antes do filtro, e a segunda corresponde ao óleo após o filtro.

2.2 Filtros Utilizados

Foram utilizados dois tipos de sistemas de filtragem: um sistema de filtragem nominal e um sistema de filtragem absoluta, sendo que neste último, havia também um filtro magnético antes do filtro absoluto, a fim de remover exclusivamente

partículas metálicas do sistema. Na Tabela 1 são apresentados os filtros de cada sistema.

Tabela 1. Filtros utilizados

Filtro	Beta	Micragem (μm)	Eficiência de Filtração
Nominal	100	10	99,00%
Absoluto	1000	5	99,90%

2.3 Análises das Amostras

As amostras coletadas foram caracterizadas através de contagem de partículas, análise de fluorescência de raios-X (FRX), microscopia ótica e microscopia eletrônica de varredura (MEV).

Para a contagem de partículas foi utilizada a norma ISO 4406:1999 [3] para classificar o nível de limpeza do óleo hidráulico. A norma classifica o fluido de acordo com o número de partículas, por mililitro de fluido, maiores ou iguais a 4 μm , 6 μm e 14 μm . Para a análise efetiva, foi utilizado o equipamento PAMAS modelo S40 no modo de baixa pressão (0 a 6 bar).

As análises de FRX, microscopia ótica e MEV foram realizadas para caracterizar as impurezas retidas no processo de filtração. Para tanto, as amostras foram filtradas em membranas, utilizando éter de petróleo como solvente conforme Oliveira [2].

As amostras foram analisadas quimicamente através de Espectrometria de Fluorescência de raios-X, em espectrômetro de fluorescência de raios-X, marca EDX 720 HS - Shimadzu do Brasil Comércio Ltda,

A análise microscópica foi realizada em microscópio Olympus modelo BX51M com uma câmera de alta resolução de imagens da marca Olympus modelo Color View 1.

As micrografias das amostras foram obtidas por detecção de elétrons secundários (baixa energia). As amostras foram metalizadas com ouro e observadas em baixo vácuo, com a pressão máxima de 400 Pa. As imagens foram obtidas pelo equipamento MEV, marca ZEIS e modelo EVO LS 15 e a metalizadora tipo Sputtering da marca QUORUM e modelo Q150R ES.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Contagem de Partículas

Na Tabela 2 é apresentado o resultado da contagem de partículas.

Tabela 2. Contagem de partículas

Amostra	Nº de partículas 4 μm	Nº de partículas 6 μm	Nº de partículas 14 μm	ISO 4406
Entrada Filtro Nominal	60.847	27.305	2.586	23/22/19
Saída Filtro Nominal	46.042	6.133	104	23/20/14
Entrada Filtro Absoluto	69.334	35.625	4.284	23/22/19
Saída Filtro Absoluto	5.751	941	88	20/17/14

Resultados indicam que o sistema hidráulico está exposto a um nível muito alto de contaminação, possivelmente em função do desgaste de seus componentes e também das condições de limpeza das peças no momento da montagem.

O filtro nominal mostrou-se ineficiente na remoção dos contaminantes maiores ou iguais a 4 μm , sendo capaz de reduzir menos de 25% dos mesmos. Com referência a partículas que contabilizam na classificação de 6 e 14 μm , o filtro nominal foi capaz de remover do sistema 77,5% e 96%, respectivamente. Já o sistema de filtragem absoluto mostrou-se extremamente eficiente apresentando uma redução de 91,7%, 97,4% e 98% das partículas de 4, 6 e 14 μm , respectivamente.

A Figura 1 apresenta a redução da quantidade de contaminantes entre a entrada e a saída do sistema absoluto e nominal e a taxa de redução de contaminantes comparando o sistema absoluto e o sistema nominal.

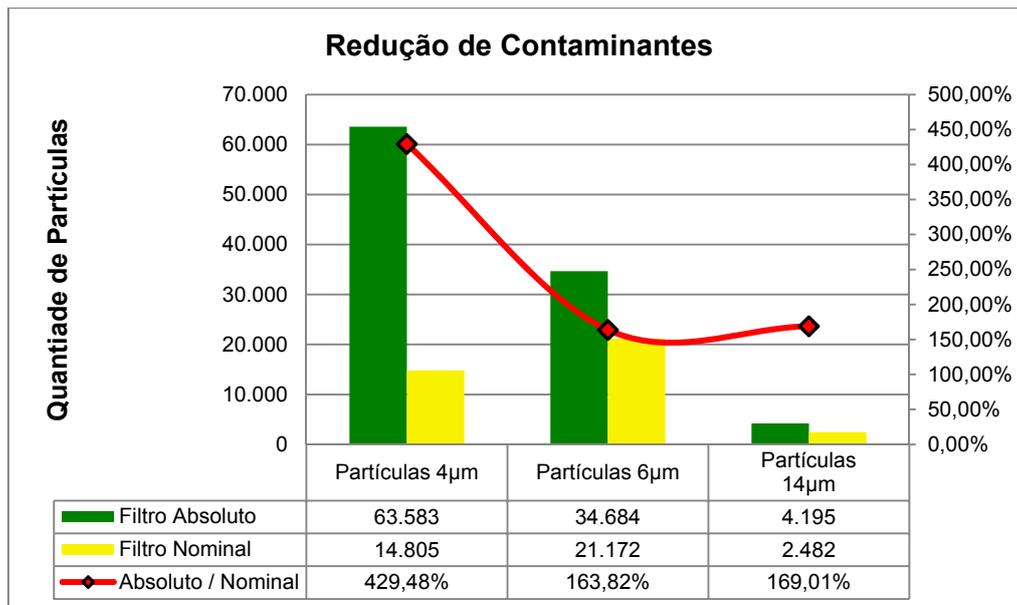


Figura 1. Contaminantes na Entrada – Sistema Absoluto vs Nominal.

Na entrada dos filtros, foi identificado um maior número de contaminantes do sistema absoluto em relação ao sistema nominal, indicando que a entrada de contaminantes no sistema hidráulico é variável. Isso depende de fatores como contaminação inicial das peças que estão sendo montadas, dimensões das mesmas que com atrito podem gerar mais ou menos contaminantes, nível de limpeza do óleo entregue pelo fornecedor e também da contaminação adquirida no transporte do óleo pela tubulação que alimenta a bomba de abastecimento.

Os dados apontam que mesmo havendo um maior número de contaminantes na entrada do sistema absoluto, este foi capaz de reduzir 429,48%, 163,82% e 169,01% a mais de contaminantes de 4, 6 e 14 μm , respectivamente, que o sistema nominal.

3.2 Análise Química

Os resultados obtidos da análise de FRX são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Resultado da análise de FRX do sistema nominal

Amostra	Elementos majoritários (>50%)	Menor quantidade (5% < x < 50%)	Elementos Traços (< 5%)
Entrada Filtro Nominal	Ca, Fe	Si, S, P	Mn, Zn, Cr, Cu
Saída Filtro Nominal	Ca	S, Fe, P, Si	Mn, Zn, Cr
Entrada Filtro Absoluto	Ca	S, Fe, P	Mn, Zn, Cr, Cu
Saída Filtro Absoluto	Ca	S, P	Zn, Fe, Mn

A amostra de entrada do filtro nominal apresenta uma grande concentração de ferro e cálcio, também encontrado na amostra de entrada do filtro absoluto, porém com menor concentração. Este ferro combinado com o fósforo, o enxofre, manganês e cromo, indica a presença de partículas de aço, o que é extremamente coerente em função do desgaste natural do atrito das engrenagens e eixos motores. A presença do ferro nas amostras também sugere a presença de partículas de ferro fundido (FOFO), oriundas do processo de usinagem das carcaças fundidas.

A presença de enxofre e fósforo pode estar associada ao uso de aditivos de função antioxidante e antidesgaste presentes no óleo ainda depositado sobre a amostra.

Já cálcio é um material utilizado para desoxigenar, dessulfurizar e descarbonizar ligas metálicas como alumínio, cobre, chumbo e magnésio, indicando a contribuição dos mesmos na contaminação. O cálcio também é utilizado na fabricação de tintas.

De acordo com Jagga e Prabhakaran [4], o cálcio pode ser proveniente do próprio óleo depositado na membrana de filtração, pois é componente presente em aditivos do tipo detergente-dispersantes com função de eliminar a formação de materiais insolúveis no óleo, remoção de depósitos e neutralização de produtos oxidantes.

Observa-se na amostra de entrada do filtro nominal a presença de silício, sendo o principal componente da sílica ou o dióxido de silício. A sílica é o principal componente da areia, e esta muito provavelmente, é originada das carcaças, mancais e tampas fundidas que não tiveram sua limpeza realizada de forma eficiente durante o processo de fundição. Além destes, o cobre e o zinco também são percebidos, porém em proporções muito menores.

Na amostra da saída do filtro nominal verifica-se uma redução na concentração de ferro e por consequência do aço, mas não a níveis aceitáveis, pois continuam com concentrações razoáveis. Já na saída do filtro absoluto observa-se uma maior redução na concentração do ferro, isso possivelmente em função do filtro magnético antecedendo o filtro absoluto. Os filtros magnéticos dedicam-se apenas a retenção de partículas ferromagnéticas, já o filtro absoluto retém toda e qualquer partícula dentro do range dimensional do mesmo. Os demais elementos mantiveram-se com suas concentrações proporcionais na amostra.

3.3 Microscopia Ótica

As Figuras 2 e 3 correspondem respectivamente, às amostras da entrada dos filtros nominal e absoluto. As Figuras 4 e 5 correspondem respectivamente, às amostras da saída dos filtros nominal e absoluto.

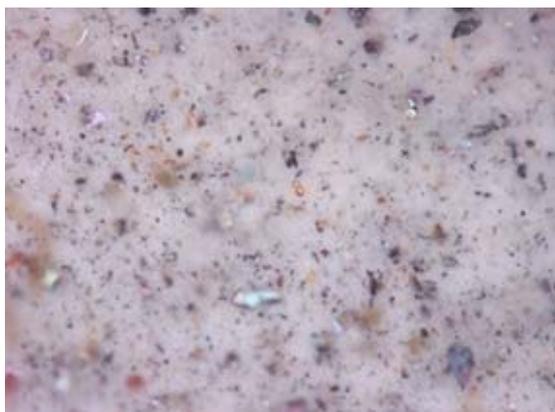


Figura 2. Análise microscópica da Entrada do Filtro Nominal – Zoom 500x



Figura 3. Análise microscópica da Entrada do Filtro Absoluto – Zoom 500x



Figura 4. Análise microscópica da Saída do Filtro Nominal – Zoom 500x



Figura 5. Análise microscópica da Saída do Filtro Absoluto – Zoom 500x

É observado o alto nível de contaminação na entrada de ambos os filtros. De igual modo a contagem de partículas, esta análise reforça a grande quantidade de contaminantes existentes no óleo do tanque. A figura 4 reafirma que a filtragem nominal não é eficiente na retenção de contaminantes. Já a filtragem absoluta, demonstra um nível de limpeza muitas vezes maior que o nominal. Na amostra da saída do filtro absoluto, é quase imperceptível a presença de contaminantes.

3.4 Microscopia Eletrônica de Varredura

As Figuras 6, 7, 8 e 9 apresentam as micrografias da entrada e da saída dos filtros.

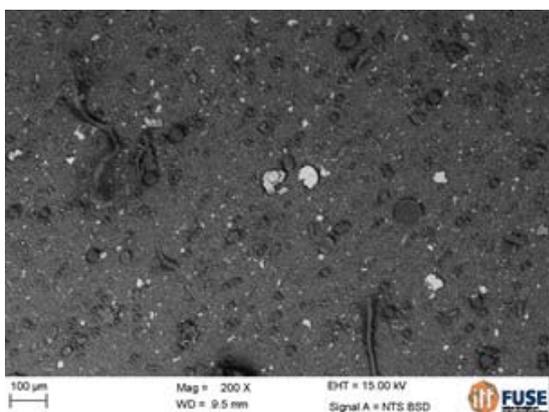


Figura 6. MEV da Entrada do filtro Nominal

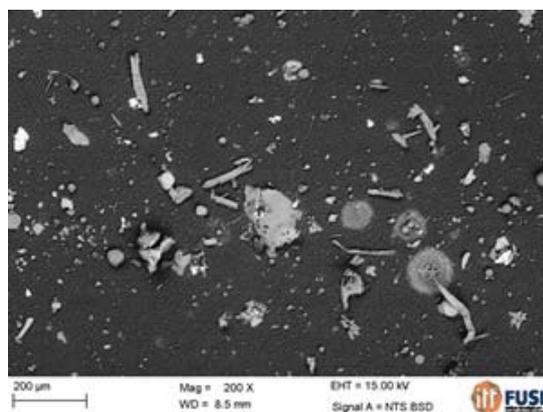


Figura 7. MEV da Entrada do filtro Absoluto

Zoom 200x

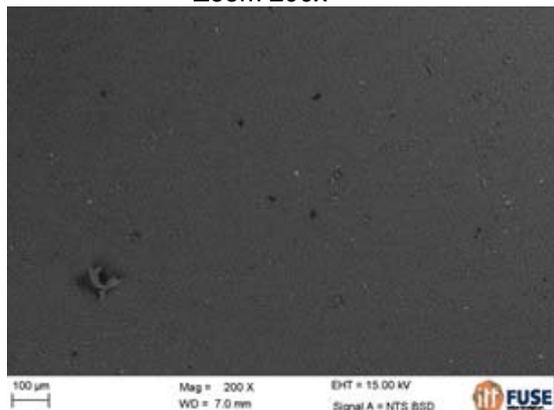


Figura 8. MEV da Saída do filtro Nominal
Zoom 200x

Zoom 200x

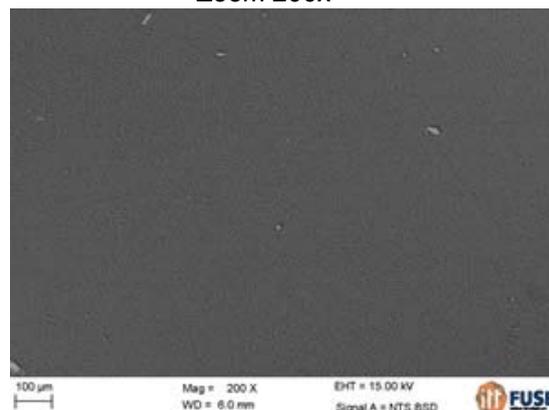


Figura 9. MEV da Saída do filtro Absoluto
Zoom 200x

Como observado nas demais análises, é evidenciada uma redução do nível de contaminação do óleo. É possível visualizar a grande quantidade de contaminantes no óleo que está entrando em ambos os sistemas de filtragem, e também, a grande redução que ambos os sistemas obtiveram. No entanto, o nível de limpeza obtido pelo processo de filtragem absoluta foi ainda mais expressivo.

As Figuras 10, 11 e 12 apresentam as micrografias da amostra de entrada do filtro nominal. Já as figuras 13, 14 e 15 apresentam as micrografias da amostra de saída do filtro nominal, onde foram identificados diferentes tipos de partículas que foram submetidas à análise química de EDS.

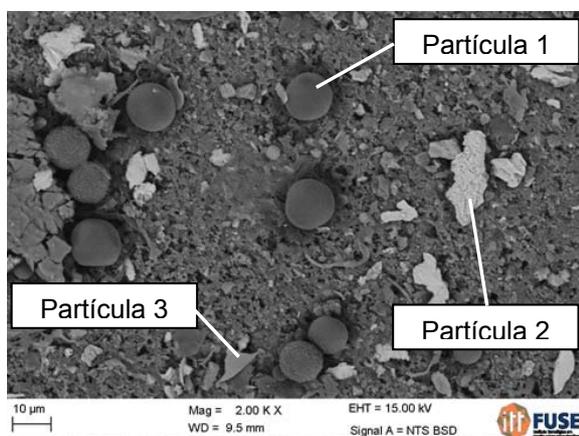


Figura 10. Partículas analisadas da Entrada do Filtro Nominal – Zoom 2000x

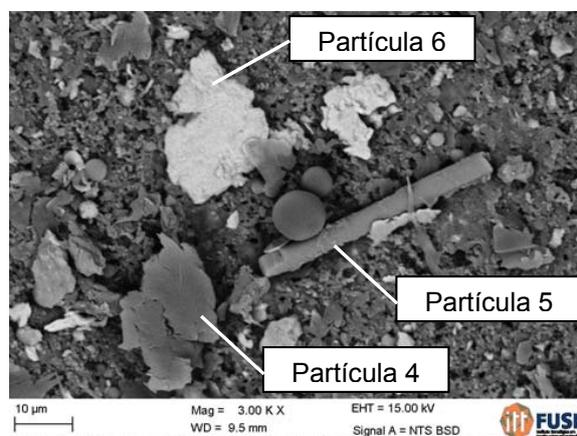


Figura 11. Partículas analisadas da Entrada do Filtro Nominal – Zoom 3000x

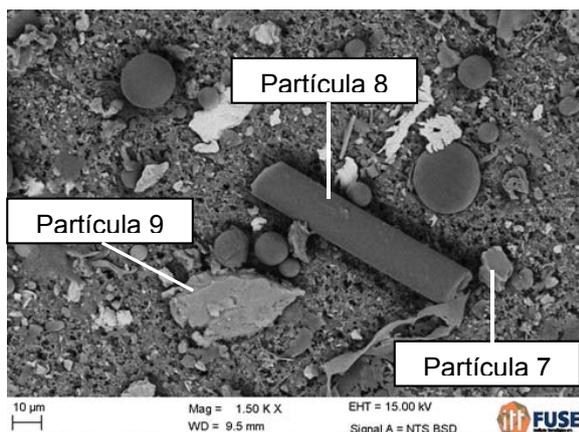


Figura 12. Partículas analisadas da Entrada do Filtro Nominal – Zoom 3000x

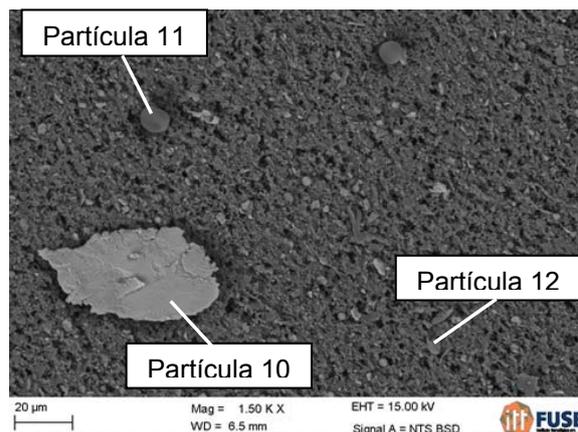


Figura 13. Partículas analisadas da Saída do Filtro Nominal – Zoom 1500x

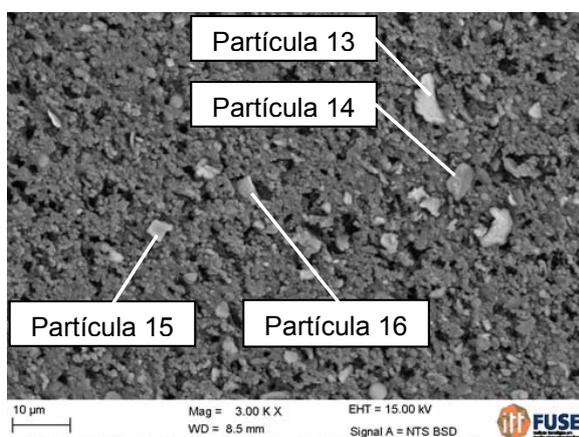


Figura 14. Partículas analisadas da Saída do Filtro Nominal – Zoom 3000x

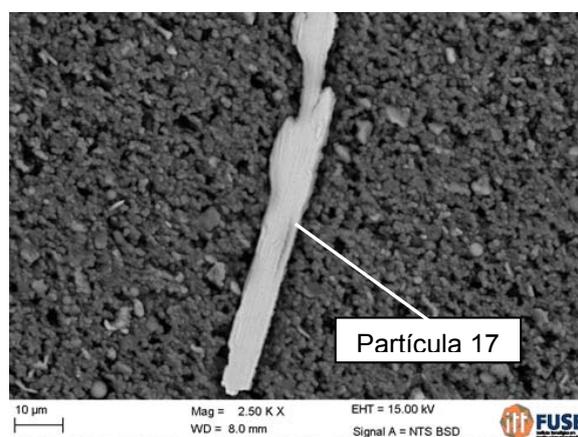


Figura 15. Partículas analisadas da Saída do Filtro Nominal – Zoom 2500x

Na Tabela 4 são apresentados os elementos que compõe as partículas analisadas.

Tabela 4. Resultado do MEV do sistema Nominal

Partícula	C	O	Fe	Ca	Si	Al	Cr	Na	Zn	P
1	70%	24%	4%	1%	1%	-	-	-	-	-
2	35%	11%	50%	3%	1%	-	-	-	-	-
3	43%	34%	4%	3%	1%	-	13%	2%	-	-
4	53%	34%	6%	3%	2%	2%	-	-	-	-
5	43%	34%	3%	1%	13%	2%	-	3%	1%	-
6	37%	12%	49%	1%	1%	-	-	-	-	-
7	53%	24%	4%	2%	16%	1%	-	-	-	-
8	73%	21%	3%	1%	1%	1%	-	-	-	-
9	51%	12%	1%	1%	7%	28%	-	-	-	-
10	31%	7%	61%	1%	-	-	-	-	-	-
11	75%	19%	4%	2%	-	-	-	-	-	-
12	42%	9%	48%	1%	-	-	-	-	-	-
13	42%	8%	49%	1%	-	-	-	-	-	-
14	61%	25%	5%	6%	3%	-	-	-	-	-
15	54%	24%	7%	2%	-	-	-	-	10%	3%
16	61%	23%	9%	4%	1%	2%	-	-	-	-
17	46%	5%	47%	2%	-	-	-	-	-	-

De acordo com Batchelor e Stachowiak [5], o óleo lubrificante é composto principalmente por hidrocarbonetos ligados a moléculas de oxigênio. Portanto, em uma análise química de uma amostra com óleo, é provável a presença dos mesmos. Com base nesta perspectiva, foi identificada, em todas as partículas, a presença do carbono e oxigênio em grande proporção. As partículas 1 e 11 foram identificadas como gotas de óleo depositadas sobre a membrana, já que apresentam formato esférico quase perfeito, e pela presença do carbono e oxigênio.

O formato da partícula 8, somado à presença de alumínio e silício indica que a mesma é originada pela presença de fibra de vidro, possivelmente oriunda do processo de filtração no fornecedor do óleo, visto que os elementos filtrantes de alta eficiência são compostos de fibra de vidro.

Os dados apontam que as partículas 2, 6, 10, 12, 13 e 17 correspondem a partículas de aço e ou FOFO, em função da grande concentração do ferro em suas composições. Já as partículas 3 e 9, tratam-se, respectivamente, de partículas de cromo e alumínio. Estas partículas de aço, FOFO, cromo e alumínio, possivelmente são geradas pelo processo de desgaste dos componentes e deposição de partículas nas peças após seus processos de fabricação.

Foi também evidenciado a presença de partículas de areia, através da alta concentração de silício nas partículas 5 e 7. Sua origem é dada, possivelmente, pelos mesmos motivos apresentados na análise do FRX.

Há indícios que as partículas 4, 14 e 16, sejam partículas de tinta descolada das carcaças fundidas, isso em função da presença do cálcio em maior teor e seu formato que se assemelha a uma casca desprendida de outra superfície. A presença do ferro nesta partícula possivelmente é originada da própria carcaça fundida, em função do desprendimento da camada de tinta ter ocorrido da mesma. Também, é provável, que a partícula 15 trata-se de uma partícula de zinco.

Nas Figuras 16 e 17 são indicadas as partículas analisadas para a entrada do filtro absoluto. Já a Figura 18 apresenta as partículas da saída do filtro absoluto.

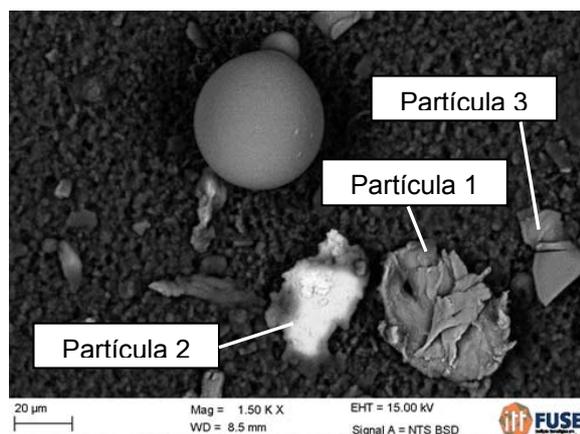


Figura 16. Partículas analisadas da Entrada do Filtro Absoluto – Zoom 1500x

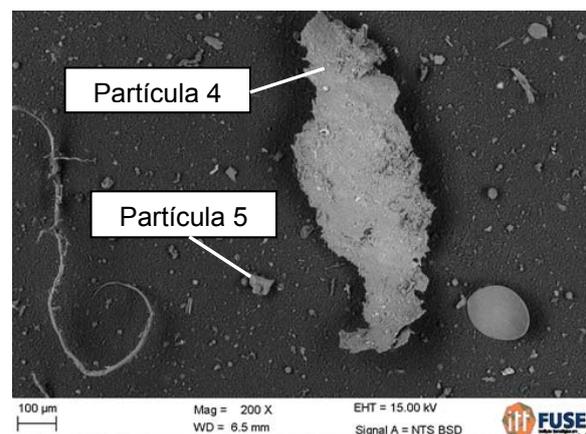


Figura 17. Partículas analisadas da Entrada do Filtro Absoluto – Zoom 200x

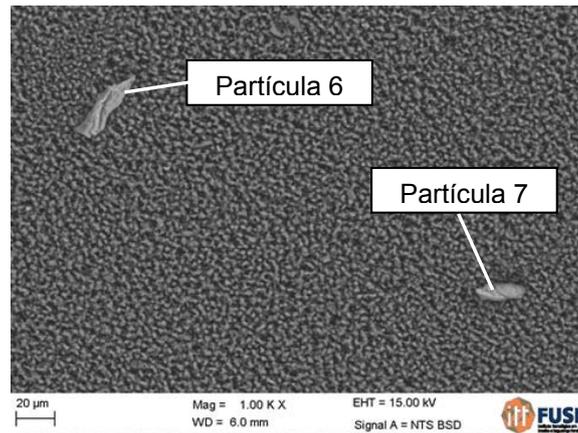


Figura 18. Partículas analisadas da Saída do Filtro Absoluto – Zoom 1000x

A Tabela 5 é apresenta os elementos que compõe as partículas analisadas.

Tabela 5. Resultado do MEV do sistema Absoluto

Partícula	C	O	Fe	Ca	Si	Mg	Al
1	69%	5%	26%	-	-	-	-
2	62%	3%	34%	1%	-	-	-
3	60%	10%	29%	1%	-	-	-
4	68%	25%	5%	1%	-	1%	-
5	66%	16%	3%	1%	14%	-	-
6	90%	8%	-	1%	-	1%	-
7	83%	10%	-	2%	3%	1%	1%

Os resultados demonstram que da mesma forma que nas análises realizadas com as amostras do sistema nominal, há uma grande concentração de carbono e oxigênio em todas as partículas, isso novamente em função do óleo depositado sobre as mesmas.

Os dados apontam que as partículas 1, 2 e 3 tratam-se de partículas de aço e FOFO pela alta concentração de ferro. A partícula 5 corresponde a uma partícula de areia em função da alta concentração de silício.

Já a partícula 4 aparenta ser uma partícula de origem orgânica, pois não apresenta um formato que a caracterize a algum elemento conhecido. Também possui dimensões muito grandes para o padrão encontrado em toda a amostra.

As partículas 6 e 7 evidenciam a inexistência de partículas ferrosas após os processos de filtragem absoluta, reforçando ainda mais os resultados obtidos na análise de FRX. Desta forma, é evidente a eficiência do sistema de filtragem absoluta utilizando um filtro magnético com primeiro meio de filtração.

As partículas encontradas na amostra de saída possivelmente são todas de origem orgânica, como por exemplo, poeira, pois não apresentam nenhum indício de que as relacione com elementos inorgânicos. Tais partículas possivelmente são originadas da contaminação existente sobre os componentes internos da caixa de transmissão de engrenagem, antes do processo de montagem.

4 CONCLUSÃO

De posse das avaliações realizadas, conclui-se que o sistema de filtragem absoluta mostrou-se mais eficiente na redução de contaminantes sólidos do óleo que o sistema nominal.

O sistema absoluto proporcionou uma redução dos contaminantes existentes no óleo de 92%, 97% e 98% para partículas de 4, 6 e 14 μ m, respectivamente, melhorando a classificação ISO 4406 de 23/22/19 para 20/17/14.

Através das análises de FRX e MEV, ficou evidente que os contaminantes que ainda fazem parte do sistema após os processos de filtragem absoluta, correspondem a partículas com baixa capacidade de gerar danos aos componentes hidráulicos. Isso indica que a geração de contaminantes pelo próprio sistema foi diminuída, pois os contaminantes que entram em contato com os componentes como bombas, válvulas e rolamentos, não serão capazes de desgastá-los gerando novos contaminantes.

Utilizando um sistema de filtragem absoluta em máquinas e equipamentos com altas exigências de performance, irá certamente contribuir para o aumento da vida útil dos componentes hidráulicos e contribuir para que a alta performance esperada, seja atingida.

REFERÊNCIAS

- 1 Sutherland, Ken. Filters and Filtration Handbook. 5ª edição. Burlington: Elsevier; 2008.
- 2 Oliveira, Marcos Gomes de. Manual da Filtração Industrial. 2ª edição. São Paulo: Artliber Editora: 2013.
- 3 ISO 4406:1999. Hydraulic Fluid Power – Fluids – Method for coding the level of contamination by solid particles. 2ª edição. Genebra: 1999
- 4 Jagga, C.R.; Prabhakaran, Anand. Condition monitoring of steam turbine-generator through contamination analysis of use lubricating oil. Acesso em 16 de maio de 2014. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301679X99000286>
- 5 Batchelor, Andrew W.; Stachowiak, Gwidon W. Engineering Tribology. 2ª edição. Waltham: Elsevier: 2014. Acesso em 22 de maio de 2014. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/book/9780123970473>