

# Análise de lubrificantes por meio da técnica ferrográfica

Uma fresadora CNC foi vistoriada pela equipe de manutenção da empresa Kikoisa S.A. e o líder da equipe ficou encarregado de efetuar a coleta de amostra do óleo lubrificante da máquina para uma ferrografia, pois era preciso constatar a ocorrência de desgaste de alguns componentes de funções importantes.

Como o líder coletou a amostra de óleo? Como o exame de um óleo permite detectar desgastes? O que é exame ferrográfico?

Nesta aula, as respostas para as perguntas acima serão discutidas.

## Conceito de ferrografia

A ferrografia é uma técnica de avaliação das condições de desgaste dos componentes de uma máquina por meio da quantificação e observação das partículas em suspensão no lubrificante.

Essa técnica satisfaz todos os requisitos exigidos pela manutenção preditiva e também pode ser empregada na análise de falhas e na avaliação rápida do desempenho de lubrificantes.

## Origem da ferrografia

A ferrografia foi descoberta em 1971 por Vernon C. Westcott, um tribologista de Massachusetts, Estados Unidos, e desenvolvida durante os anos subsequentes com a colaboração de Roderic Bowen e patrocínio do Centro de Engenharia Aeronaval Americano e outras entidades.

O objetivo inicialmente proposto foi o de quantificar a severidade do desgaste de máquinas e para a pesquisa foram adotadas as seguintes premissas:

1. Toda máquina desgasta-se antes de falhar.
2. O desgaste gera partículas.
3. A quantidade e o tamanho das partículas são diretamente proporcionais à severidade do desgaste que pode ser constatado mesmo a olho nu.

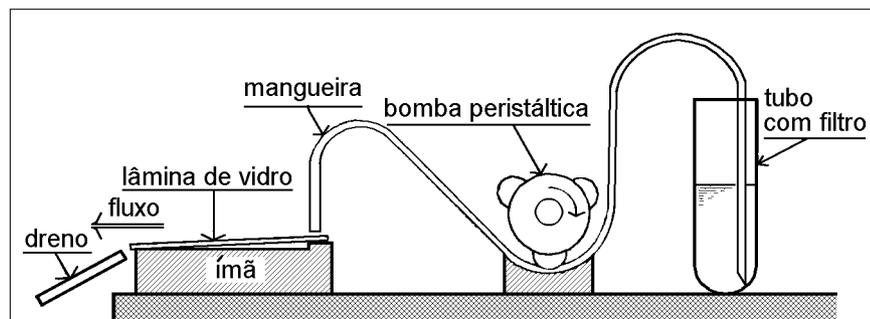
4. Os componentes de máquinas, que sofrem atrito, geralmente são lubrificados, e as partículas permanecem em suspensão durante um certo tempo.

5. Considerando que as máquinas e seus elementos são constituídos basicamente de ligas de ferro, a maior parte das partículas provém dessas ligas.

### A técnica ferrográfica

O método usual de quantificação da concentração de material particulado consiste na contagem das partículas depositadas em papel de filtro e observadas em microscópio. Este método, porém, não proporciona condições adequadas para a classificação dimensional, que é de grande importância para a avaliação da intensidade do desgaste de máquinas.

Orientando-se pela quinta premissa, ou seja, de que há predominância de ligas ferrosas nas máquinas e seus elementos, Westcott inventou um aparelho para separar as partículas de acordo com o tamanho. O aparelho chama-se **ferrógrafo**.



### Funcionamento do ferrógrafo

Acompanhando a figura anterior, o ferrógrafo de Westcott é constituído de um tubo de ensaio, uma bomba peristáltica, uma mangueira, uma lâmina de vidro, um ímã e um dreno.

A bomba peristáltica, atuando na mangueira, faz com que o lubrificante se desloque do tubo de ensaio em direção à lâmina de vidro, que se encontra ligeiramente inclinada e apoiada sobre um ímã com forte campo magnético. A inclinação da lâmina de vidro garantirá que o fluxo do lubrificante tenha apenas uma direção.

O lubrificante, do tubo de ensaio até a extremidade final da mangueira, transporta partículas grandes e pequenas com a mesma velocidade. Quando o fluxo passa sobre a lâmina de vidro, a velocidade de imersão ou afundamento das partículas grandes passa a ser maior que a velocidade das pequenas. Isto ocorre devido à ação do campo magnético do ímã. Nesse momento, começa a separação entre partículas grandes e pequenas.

As partículas grandes vão se fixando na lâmina de vidro logo no seu início, e as menores depositam-se mais abaixo.

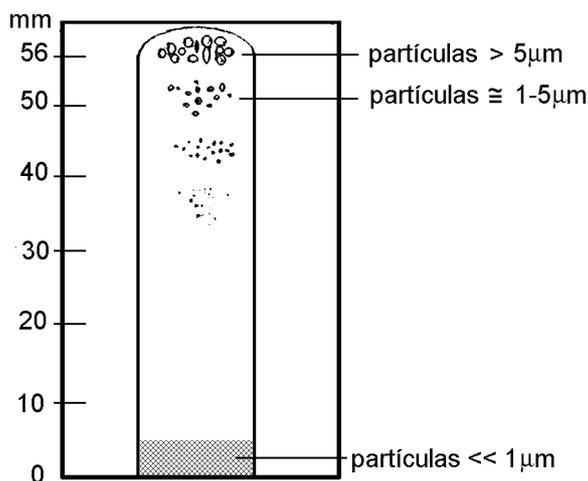
Com esse ferrógrafo, constatou-se que as partículas maiores que 5 mm fixam-se no início da placa de vidro e que as partículas entre 1 mm e 2 mm fixam-se seis milímetros abaixo. Essas posições têm grande importância, pois as partículas provenientes de desgastes severos geralmente apresentam dimensões com mais de 15  $\mu\text{m}$ , enquanto as partículas provenientes de desgastes normais apresentam dimensões ao redor de 1 mm a 2 mm.

O dimensionamento de partículas é efetuado com o auxílio de um microscópio de alta resolução.

Muitas tentativas foram feitas até se obter a vazão de fluido e o ímã mais adequados. Nos ferrógrafos atuais, a vazão é de 0,3 ml de fluido por minuto e 98% das partículas ficam retidas na lâmina de vidro, mesmo as não magnéticas.

### Ferrograma

A figura seguinte mostra um ferrograma, isto é, uma lâmina preparada que permite obter a dimensão aproximada de partículas depositadas. A lâmina mede aproximadamente 57 mm. Ao longo dela passa o fluxo de lubrificante que vai deixando as partículas atrás de si. Como foi dito, as maiores ficam no início do fluxo e as menores, no final.



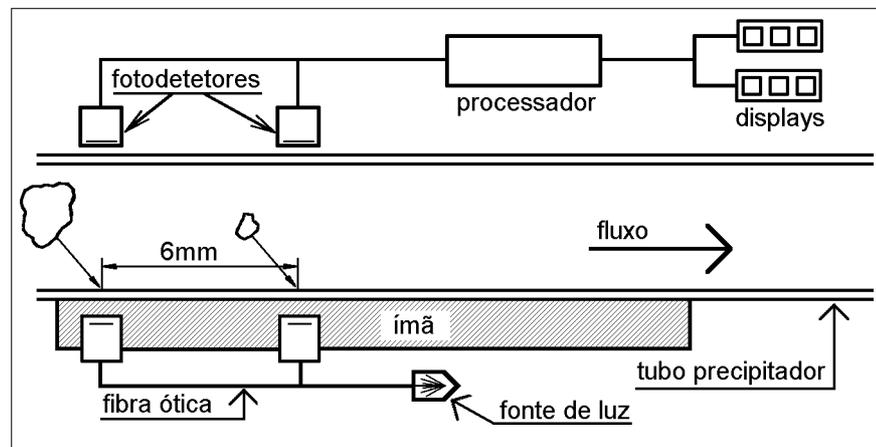
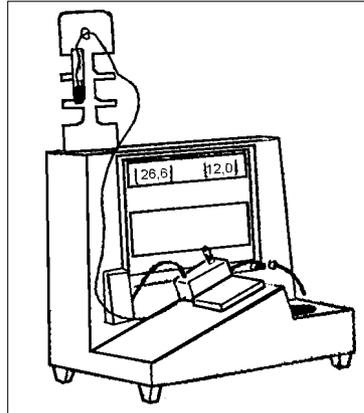
As partículas não magnéticas, como as provenientes de cobre e suas ligas, alumínio e suas ligas, cromo e suas ligas, compostos orgânicos, areia etc., também depositam-se no ferrograma. Isto é explicável pela ação da gravidade, auxiliada pela lentidão do fluxo, além de algum magnetismo adquirido pelo atrito desses materiais com partículas de ligas de ferro.

As partículas não magnéticas distinguem-se das partículas de ligas ferrosas pela disposição que as primeiras assumem no ferrograma. No ferrograma as partículas de materiais não magnéticos depositam-se aleatoriamente, sem serem alinhadas pelo campo magnético do ímã.

Uma outra importante utilidade do ferrograma é que ele permite descobrir as causas dos desgastes: deslizamento, fadiga, excesso de cargas etc. Essas causas geram partículas de forma e cores específicas, como se fossem impressões digitais deixadas na vítima pelo criminoso.

## Ferrografia quantitativa

Com a evolução do ferrógrafo, chegou-se ao ferrógrafo de leitura direta, que permite quantificar as partículas grandes e pequenas de modo rápido e objetivo. Seu princípio é o mesmo adotado nas pesquisas com ferrogramas e encontra-se esquematizado a seguir.

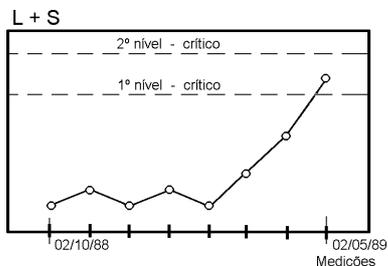


A luz, proveniente da fonte, divide-se em dois feixes que passam por uma fibra ótica. Esses feixes são parcialmente atenuados pelas partículas nas posições de entrada e seis milímetros abaixo. Os dois feixes atenuados são captados por sensores ópticos ou fotodetetores que mandam sinais para um processador, e os resultados são mostrados digitalmente em um display de cristal líquido. Os valores encontrados são comparados com os valores obtidos por um ensaio sobre uma lâmina limpa, considerando que a diferença de atenuações da luz é proporcional à quantidade de partículas presentes.

O campo de medição vai de 0 a 190 unidades DR (Direct Reading = Leitura Direta), mas é linear apenas até 100. A partir deste valor, as partículas empilham-se umas sobre as outras, acarretando leituras menores que as reais. Por isso, muitas vezes é necessário diluir o lubrificante original para se manter a linearidade.

O acompanhamento da máquina, por meio da ferrografia quantitativa, possibilita a construção de gráficos, e as condições de maior severidade são definidas depois de efetuadas algumas medições. Os resultados obtidos são tratados estatisticamente.

Por exemplo, o gráfico a seguir, chamado gráfico de tendências, é obtido por meio da ferrografia quantitativa.



O valor L+S, chamado concentração total de partículas, é um dos parâmetros utilizados para avaliação do desgaste.

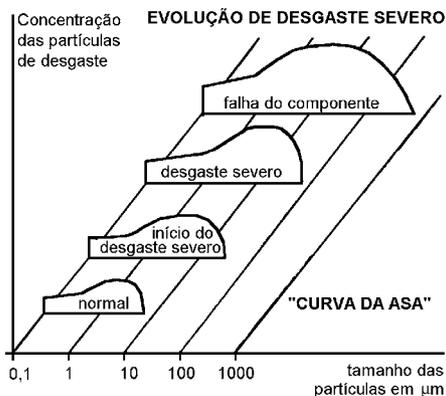
Significados:

**L** – (abreviatura de **large**, que significa grande) corresponde ao valor encontrado de partículas grandes (> 5 mm).

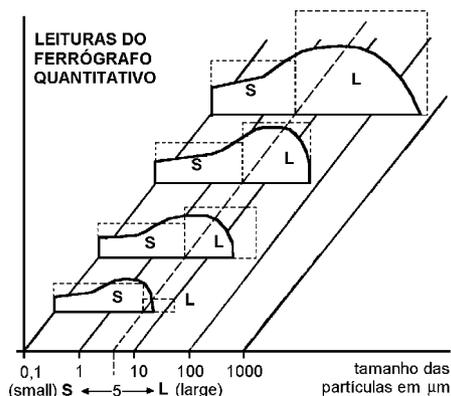
**S** – (abreviatura de **small**, que significa pequeno) corresponde ao valor encontrado de partículas pequenas (< 5 mm).

Outros parâmetros podem ser utilizados juntamente com o L + S, por exemplo, o índice de severidade  $I_s = (L + S) (L - S)$ .

O gráfico a seguir, chamado “curva da asa”, mostra a evolução do desgaste dos elementos de uma máquina. Observe que o tamanho das partículas provenientes de desgaste normal varia de 0,1 mm até aproximadamente 5 mm. A presença de partículas maiores que 10 mm praticamente garantirá a indesejável falha do componente.



Para maior clareza, observe o gráfico seguinte que mostra as faixas limítrofes dos tamanhos das partículas.



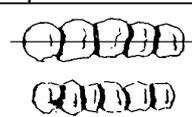
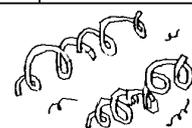
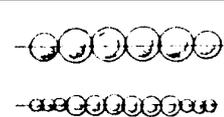
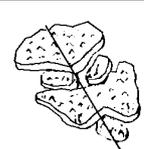
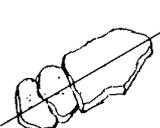
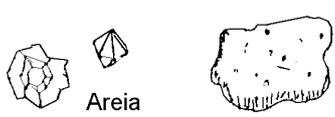
## Ferrografia analítica

A identificação das causas de desgaste é feita por meio do exame visual da morfologia, cor das partículas, verificação de tamanhos, distribuição e concentração no ferrograma.

Pela ferrografia analítica, faz-se a classificação das partículas de desgaste em cinco grupos. O quadro a seguir mostra os cinco grupos de partículas de desgaste e as causas que as originam.

| CLASSIFICAÇÃO DAS PARTÍCULAS           | CAUSAS  |
|--|---|
| Ferrosas                               | esfoliação; corte por abrasão; fadiga de rolamento; arrastamento; desgaste severo por deslizamento. |
| Não-ferrosas                           | metais brancos; ligas de cobre; ligas de metal patente ou antifricção.                              |
| Óxidos de ferro                        | óxidos vermelhos; óxidos escuros; metais oxidados escuros.  |
| Produtos da degradação do lubrificante | corrosão; polímeros de fricção.   |
| Contaminantes                          | poeira de estrada; pó de carvão; asbesto; material de filtro; flocos de carbono.                    |

As fotografias constituem a única forma de mostrar, com clareza, os aspectos dos ferrogramas, mas podemos esboçá-los, simplificada, para registrar as informações, conforme exemplo a seguir.

|   |  |   |   |
|---|--|---|---|
| 1 | ESFOLIAÇÃO<br> <ul style="list-style-type: none"><li>* Escamas</li><li>* Superfície lisa</li><li>* 0,5 ~ 5µm</li></ul>                   | 2 | CORTE POR ABRASÃO<br> <ul style="list-style-type: none"><li>* Cavacos</li><li>* Existência de areia</li><li>* 10 ~ 100µm</li></ul>                         |
| 3 | FADIGA (rolamento e engrenagem)<br> <ul style="list-style-type: none"><li>* Esferas</li><li>* ~ Regulares</li><li>* ~ 3µm</li></ul>     | 4 | ARRASTAMENTO (engrenagens)<br> <ul style="list-style-type: none"><li>* Superfície rugosa</li><li>* Coloração por temperatura</li><li>* &gt;20µm</li></ul> |
| 5 | DESGASTE SEVERO POR DESLIZAMENTO<br> <ul style="list-style-type: none"><li>* Estrias</li><li>* Corte reto</li><li>* &gt; 20µm</li></ul> | 6 | PARTÍCULAS DIVERSAS<br> <ul style="list-style-type: none"><li>Areia</li><li>Polímeros de fricção</li></ul>  |

## Ferrografia e outras técnicas

Ferrografia, espectrometria e análise de vibrações constituem as principais técnicas de diagnóstico das condições dos componentes mecânicos das máquinas.

As duas primeiras empregam métodos diversos para avaliar o mesmo tipo de problema: o desgaste. Ambas concentram a análise nas partículas suspensas no lubrificante, mas com parâmetros diferentes.

A ferrografia tem por parâmetros a concentração, o tamanho, a morfologia e a cor das partículas, enquanto a espectrometria considera apenas a concentração dos elementos químicos que as compõem.

A análise de vibrações tem por parâmetro o comportamento dinâmico das máquinas, quando excitadas por forças provenientes de irregular distribuição de massas, erros de montagem, pulsações dinâmicas etc., bem como de problemas mais avançados de desgaste.

Em resumo, a ferrografia, a espectrometria e a análise de vibrações se complementam, pois, de forma isolada, essas técnicas apresentam limitações.

## Coletas de amostras de lubrificante

Para se coletar uma amostra de lubrificante em serviço, deve-se escolher criteriosamente o ponto de coleta; o volume a ser recolhido e qual método deverá ser utilizado na coleta.

### Escolha do ponto de coleta

As partículas que interessam para a análise são aquelas geradas recentemente. Considerando este pré-requisito, o ponto de coleta deverá ser aquele em que uma grande quantidade de partículas novas estejam presentes em região de grande agitação.

Exemplos:

- tubulação geral de retorno do lubrificante para o reservatório;
- janela de inspeção de reservatório, próximo à tubulação de descarga;
- drenos laterais em reservatórios ou cárteres;
- dreno geral de reservatório ou cárteres, em região de agitação;
- varetas de nível.

Pontos após filtros ou após chicanas de reservatórios devem ser evitados, pois esses elementos retiram ou precipitam as partículas do lubrificante.

### Volume de amostra

São necessários apenas 100 ml de amostra, que é colocada em um frasco com capacidade para 150 ml. Excesso de lubrificante, após a coleta, deve ser descartado imediatamente, para evitar que as partículas se precipitem. O espaço de 50 ml, que corresponde a 1/3 do frasco, é deixado vazio para permitir uma agitação posterior da amostra.

### Métodos de coleta

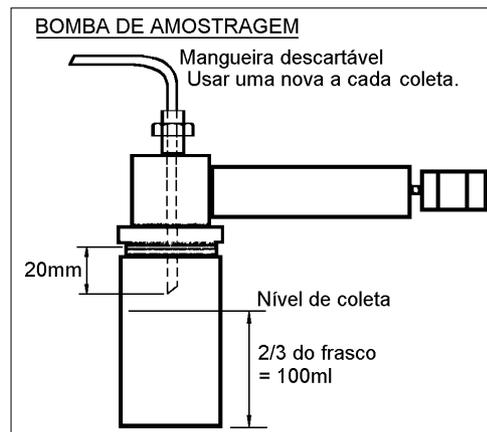
Os principais métodos de coleta de lubrificantes envolvem válvulas de coleta, bombas de coleta e imersão.

Se a máquina estiver dotada de válvulas de coletas, o método de coleta deverá passar pela seguinte seqüência:

- limpar a região da coleta;
- abrir a válvula permitindo uma vazão razoável para arrastar as partículas (filete de 1/4" a 2", proporcional à máquina);
- purgar 2 a 3 vezes o volume parado na tubulação da válvula;

- retirar o frasco quando completar o nível de coleta nele indicado;
- fechar a válvula (nunca abri-la ou fechá-la sobre o frasco);
- descartar imediatamente o lubrificante que excedeu o nível de coleta;
- tampar o frasco com batoque plástico e tampa roscada;
- limpar o frasco;
- identificar a amostra com os seguintes dados: máquina, ponto de coleta, empresa e data.

A coleta de amostras de lubrificante, na maioria dos casos, pode ser feita com o auxílio de uma bomba de coleta. A figura seguinte mostra o esquema de uma bomba de coleta.



O método de coleta que envolve o uso de uma bomba de coleta deve obedecer aos passos:

- cortar um pedaço de mangueira plástica nova, com comprimento suficiente para alcançar o lubrificante na região média compreendida abaixo de sua superfície e acima do fundo do depósito onde ele se encontra;
- introduzir uma das extremidades da mangueira na bomba, de modo que essa extremidade fique aparente;
- introduzir a extremidade livre da mangueira até a metade do nível do lubrificante, cuidando para que o fundo do recipiente não seja tocado;
- aspirar o lubrificante;
- descartar imediatamente o lubrificante que exceder o nível de coleta;
- tampar o frasco com batoque plástico e tampa roscada;
- limpar o frasco;
- identificar a amostra com os seguintes dados: máquina, ponto de coleta, empresa e data;
- descartar a mangueira.

Se o lubrificante estiver em constante agitação, a amostra poderá ser coletada pelo método da imersão que consiste em mergulhar o frasco no lubrificante. Em casos de temperaturas elevadas o frasco é fixado em um cabo dotado de braçadeiras. Esse cuidado é necessário para evitar queimaduras no operador.

A seqüência para aplicar o método da imersão consiste nos seguintes passos:

- destampar o frasco e prendê-lo no suporte com braçadeiras;
- introduzir o frasco no reservatório ou canal de lubrificante, com a boca para baixo, até que o nível médio do lubrificante seja alcançado, sem tocar no fundo do reservatório ou canal;

- virar o frasco para cima, permitindo a entrada do lubrificante;
- descartar imediatamente o excesso de lubrificante que exceder o nível de coleta;
- tampar o frasco com batoque plástico e tampa roscada;
- limpar o frasco;
- identificar a amostra com os seguintes dados: máquina, ponto de coleta, empresa, data.

Assinale X na alternativa correta.

### Exercício 1

O aparelho utilizado para determinar o tamanho, a cor e a quantidade de partículas existentes em um lubrificante que atua em uma máquina chama-se:

- a) ( ) barógrafo;
- b) ( ) ferrógrafo;
- c) ( ) termógrafo;
- d) ( ) pantógrafo;
- e) ( ) volumógrafo.

### Exercício 2

O pai da análise ferrográfica foi:

- a) ( ) Júlio Verne;
- b) ( ) Roderic Bowen;
- c) ( ) David Bowie;
- d) ( ) Minesota Massachusetts;
- e) ( ) Vernon Westcott.

### Exercício 3

Ferrograma é uma lâmina preparada que permite analisar um óleo lubrificante de uma máquina. Nessa análise constata-se a existência de partículas metálicas que podem ser classificadas quanto:

- a) ( ) à origem e ao tamanho;
- b) ( ) ao tamanho e à constituição química;
- c) ( ) à constituição química e ao perfil;
- d) ( ) à capacidade de absorver óleo e ao perfil;
- e) ( ) ao perfil, constituição química e tamanho.

### Exercício 4

Se o exame ferrográfico de um óleo de máquina revelar a presença de partículas metálicas maiores que 15mm, pode-se concluir que elas são oriundas de um desgaste:

- a) ( ) normal;
- b) ( ) delicado;
- c) ( ) severo;
- d) ( ) oxidante;
- e) ( ) redutor.

## Exercícios

### Exercício 5

A ferrografia analítica permite classificar as partículas em:

- a) ( ) dois grupos;
- b) ( ) três grupos;
- c) ( ) quatro grupos;
- d) ( ) cinco grupos;
- e) ( ) seis grupos.

### Exercício 6

O volume de uma amostra de óleo a ser examinado por ferrografia deve ser de:

- a) ( ) 100 ml;
- b) ( ) 200 ml;
- c) ( ) 300 ml;
- d) ( ) 400 ml;
- e) ( ) 500 ml.

