



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Medianeira



LEONIR JOSÉ SCHIO



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

MEDIANEIRA/PR
DEZEMBRO/2011

LEONIR JOSÉ SCHIO

CONSTRUÇÃO DE UM FERROGRAFO

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação apresentado à Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Medianeira, como requisito essencial à obtenção do título de Tecnólogo em Eletromecânica, no Curso Superior de Tecnologia em Eletromecânica – Modalidade Manutenção Preditiva

Orientador: Profº. Especialista Edilio Moacir Antonioli

MEDIANEIRA/PR
DEZEMBRO/2011

Dedico este projeto a minha esposa,
meus filhos, pela compreensão, e
principalmente pelo incentivo e auxílio
durante estes anos.

TERMO DE APROVAÇÃO

LEONIR JOSÈ SCHIO

CONSTRUÇÃO DE UM FERROGRAFO

Trabalho de Diplomação aprovado como requisito parcial para a obtenção do grau de Tecnólogo em Eletromecânica, no Curso Superior de Tecnologia em Eletromecânica – Modalidade Manutenção Preditiva, promovido pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR - PR, Campus Medianeira.

Profº. Especialista Edilio Moacir Antonioli
Orientador – UTFPR/PR – Medianeira – PR

Profº. M. Sc. Edilar Bento Antonioli
Profº Convidado – UTFPR/PR – Medianeira – PR

Profº. M. Sc. Ivair Marchetti
Profº. Convidado – UTFPR/PR – Medianeira - PR

Medianeira, 01 de Dezembro de 2011.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que tornou essa conquista possível, não me deixando fraquejar nos momentos difíceis.

A minha esposa, meus filhos, pelo apoio, incentivo, compreensão e por todo o carinho dedicado.

A todos os professores do Curso de Tecnologia em Eletromecânica, em especial ao meu orientador Especialista Edilio Moacir Antonioli, por ter me auxiliado e ter esclarecido minhas dúvidas.

Aos meus amigos, pelo incentivo que me deram, para que não desanimasse na luta pelos objetivos, conquistando mais uma etapa de minha vida.

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Medianeira, pela oportunidade e acolhimento de realizar um curso superior de qualidade e destaque, proporcionando capacitação para ingressar no mercado de trabalho.

“Por mais longa que seja a caminhada o
mais importante é dar o primeiro passo.”

(Vinicius de Moraes)

RESUMO

A técnica de análise de óleo é um tipo de manutenção preditiva, ela pode ser feita coletando-se o óleo de um equipamento e analisando-o. A análise dos óleos através da ferrografia analítica permite identificar os primeiros sintomas de desgaste de um componente, a identificação é feita a partir do estudo da quantidade de partículas, tamanho, forma e composição, que forneceram informações precisas sobre as condições das superfícies em movimento sem a necessidade de se desmontar o conjunto a qual estas partes pertencem. Tais partículas sólidas são geradas pelo atrito dinâmico entre peças em contato. De acordo com o estudo destas partículas pode-se relacionar as situações de desgastes do conjunto e atribuí-las a condições físicas e químicas. A análise dos óleos é feita por meio de técnicas laboratoriais que envolvem reagentes, instrumentos e equipamentos.

ABSTRACT

The technique of oil analysis is a type of predictive maintenance, it can be made collecting the oil of an equipment and analyzing it. The analysis of oils through the analytical ferrografia allows to identify the first symptoms of consuming of a component, the identification is made from the study of the amount of particles, size, form and composition, that had supplied necessary information on the conditions of the surfaces in movement without the necessity of if disassembling the set which these parts belong. Such solid particles are generated by the dynamic attrition between parts in contact. In accordance with the study of these particles it can be related the situations of consuming of the set and be attributed them physical and chemical conditions to it. The analysis of oils is made by means of laboratories techniques that involve reagents, instruments and equipment.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE ABREVIATURAS	x
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	2
2.1 OBJETIVO GERAL	2
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
3.1 FERROGRAFIA ANALÍTICA.....	3
3.2 TIPOS DE DESGASTE	5
3.3 FERROGRAFIA QUANTITATIVA.....	8
4 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO	11
4.1 VISCOSIDADE	13
4.2 DENSIDADE	13
5 RESULTADOS OBTIDOS	14
6 CONCLUSÃO:	15
REFERÊNCIAS	16

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ferrograma vista lateral	4
Figura 2 – Ferrograma vista frontal	5
Figura 3 – Esfoliação.....	6
Figura 4 – Abrasão e areia.....	6
Figura 5 – Arrastamento.....	7
Figura 6 – Ferrugem.....	7
Figura 7 – Bronze (100x).....	7
Figura 8 – Alumínio	8
Figura 9 – Fibras de pano	8
Figura 10 – Ferrografo quantitativo	9
Figura 11 – Ferrografo analítico	12
Figura 12 – Ferrografo analítico	12

LISTA DE ABREVIATURAS

UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná;

L + S – Concentração total de partículas;

PLP – Modo de desgaste;

IS – Índice de severidade

API – Instituto Americano de Petróleo

SAE – Society of Automotive Engineers

IV - Índice de Viscosidade

ASTM – American Society for Testing and Materials

PTFE - Politetrafluoretileno

ml - mililitro

µm - micron

mm - milímetros

min - minuto

1 INTRODUÇÃO

A ferrografia é uma técnica laboratorial de manutenção preditiva para o monitoramento e diagnose de condições dos componentes das máquinas. A partir da quantificação e análise da formação das partículas de desgaste (limalhas), encontradas em amostras de lubrificantes, determinam-se: tipos de desgaste, contaminantes, desempenho do lubrificante, etc.

Este projeto visa ao desenvolvimento da manutenção preditiva em máquinas e equipamentos, onde é avaliado o desgaste dos componentes metálicos de uma máquina qualquer. A avaliação do desgaste é feita utilizando a técnica de ferrografia analítica utilizando o lubrificante da máquina. Com o óleo usado é então realizada a ferrografia analítica com o auxílio do ferrografo, sendo através deste produzidos os ferrogramas que são analisadas em um microscópio óptico bicromático de alta resolução (com luz transmitida e luz refletida) ferroscoPIO. Com a análise microscópica é possível então a visualização das partículas de desgaste dos componentes. Após uma apurada inspeção nos ferrogramas é possível verificar se a máquina esta funcionando normalmente como era previsto ou se existe algum problema. A detecção de falhas precoces pode evitar uma falha maior do equipamento e de outros elementos que sejam associados ao mesmo. Assim a manutenção preditiva permite um controle da vida útil do seu equipamento e fornece informações precisas de quando realmente é necessário realizar a manutenção do equipamento.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Verificar e identificar os resíduos metálicos gerados pelo funcionamento dos componentes das máquinas, com isso aumentar a vida útil da máquina, através do controle de desgaste dos componentes.

Usar o ferrografo em aulas práticas de laboratório na disciplina de manutenção preditiva, a qual irá auxiliar na aprendizagem do aluno, bem como pode ser utilizada para análise de óleo das máquinas da UTFPR.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Este trabalho objetiva o desenvolvimento da manutenção preditiva em máquinas que possuem componentes lubrificados com óleo, como engrenagens, motores, rolamentos etc., usando a técnica da ferrografia analítica para estudar o desgaste sofrido e saber com maior precisão de quando a máquina possa falhar, devido ao seu funcionamento sem carga adicional vindo a parar, ocasionando perdas na produção.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A bibliografia pesquisada foi obtida em partes do trabalho da universitária Fernanda Rosa Spamer, o qual ela elaborou para obtenção do Grau de Engenheiro Eletricista.

A origem da técnica da ferrografia foi em 1971 por Vernon C. Westcott, um tribologista de Massachusettes, Estados Unidos, e desenvolvida durante os anos subseqüentes com a colaboração de Roderic Bowen e patrocínio do Centro de Engenharia Aeronaval Americano e outras entidades, Vernon C. Westcott baseado em algumas premissas como: toda máquina se desgasta, o desgaste gera partículas, o tamanho a quantidade e o formato de partículas geradas indicam o grau de severidade, etc., Westcott inventou um instrumento para a separação de partículas, chamado ferrografo, com ele é possível fazer análise de óleo então chamado ferrografia analítica, e com a evolução da tecnologia, hoje já possui a técnica de análise chamada de ferrografia quantitativa.

A técnica ferrográfica no Brasil, em São Paulo, teve início em 1988 quando o Prof. Baroni, resolve materializar os resultados de pesquisa e desenvolvimento da técnica adquiridos no exterior, em um laboratório de análises ferrográficas.

3.1 FERROGRAFIA ANALITICA

O exame analítico permite a visualização das partículas para que se possam ser identificados os tipos de desgaste presentes. A ferrografia analítica ocupa-se de causas e severidade e é mais completa que a ferrografia quantitativa.

Sobre uma lâmina de vidro (ferrograma), bombeia-se lentamente a amostra, as partículas são depositadas e posteriormente examinadas com o auxílio de um microscópio óptico especial (ferroscopio).

O ferrograma possui um tamanho de 25x60x0,7mm (L/C/E). Montado no ferrografo analítico sofre a ação de um campo magnético cuja distribuição das linhas de força não é uniforme, mas de intensidade menor na entrada do fluxo e maior na saída. Desta forma, à medida que a amostra flui sobre a lâmina, as partículas ferromagnéticas de maior tamanho são depositadas logo na entrada, avançando-se no ferrograma encontramos as partículas de tamanhos menores.

No início do ferrograma podemos encontrar partículas de até 0,5 μm sendo que na saída observamos partículas de até 0,1 μm . Estas partículas são identificadas pela forma com que se alinham, seguindo a direção das linhas de força do campo magnético. As partículas não magnéticas (ligas de cobre, prata, chumbo, alumínio, etc. e contaminantes como a areia, borracha etc.), depositam-se de forma aleatória e são encontrados ao longo do ferrograma.

Ao final do bombeamento da amostra, coloca-se um solvente especial, isento de partículas que lava o ferrograma, levando junto o lubrificante, até 98% das partículas presentes na amostra permanecem retidos na lâmina. Após a secagem o ferrograma está pronto para ser examinado no ferroscopio. O ferrograma quando pronto tem a aparência como mostra a figura 1, e figura 2. Todo material utilizado na ferrografia é descartável, e um ferrograma se bem cuidado pode ser armazenado por até quatro (4) anos.

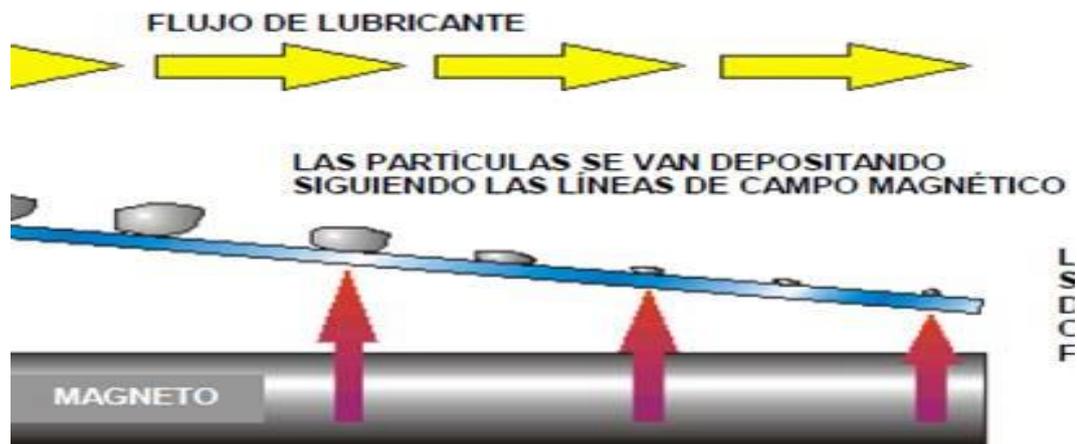


Figura 1 – Ferrograma vista lateral
Autor: Mantenimento industrial17.blogspot.com

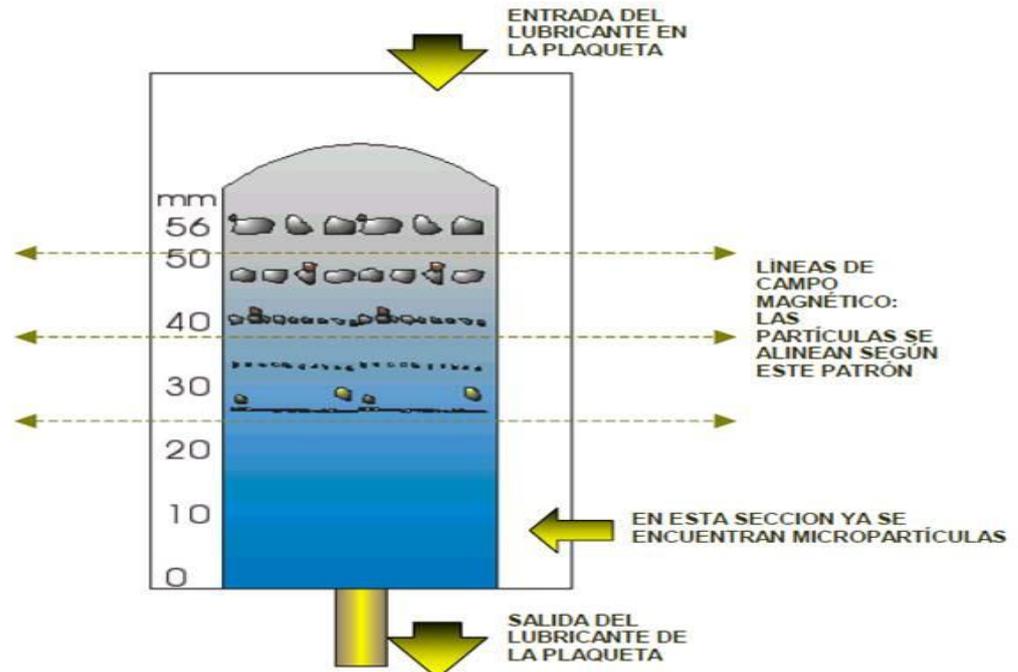


Figura 2 – Ferrografia vista frontal
 Autor: Mantenimiento industrial17.blogspot.com

3.2 TIPOS DE DESGASTE

Cada tipo de desgaste pode ser identificado pelas diferentes formas que as partículas adquirirem ao serem geradas, o desgaste mais comum é a esfoliação. São partículas geralmente de $5\mu\text{m}$ podendo atingir $15\mu\text{m}$, sua forma lembra blocos de aveia, como podemos ver na figura 3. A esfoliação é gerada sem a necessidade de contato metálico, mas apenas pela transmissão de força tangencial entre uma peça e outra por meio do filme lubrificante, a quantidade e o tamanho destas partículas aumentarão caso a espessura do filme seja reduzida devido à sobrecarga, diminuição da viscosidade do óleo, diminuição da velocidade da máquina etc.

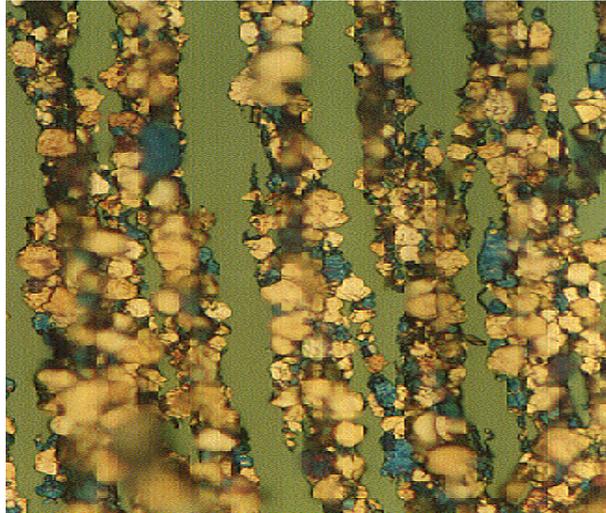


Figura 3 - Esfoliação
Autor: Tribolab – estudo de casos

Outro desgaste bastante comum é a abrasão, gera partículas semelhantes a cavacos com dimensões em torno de $2\mu\text{m}$ como podemos observar na figura 4. A principal causa desse tipo de desgaste é a contaminação por areia, os pequenos grãos de areia ingeridos pela máquina se incrustam, por exemplo, num mancal de metal patente e o canto vivo exposto (usina) o eixo que esta girando.

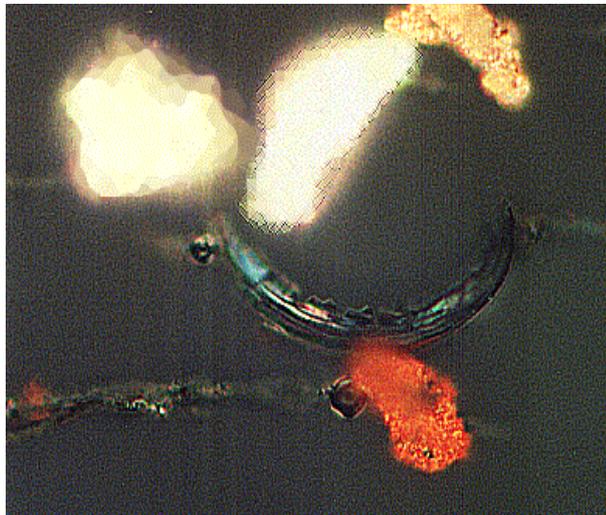


Figura 4 - Abrasão e areia
Autor: Tribolab – estudo de casos

Nas figuras 5 a 9 podemos ver outros exemplos de partículas (500 X) que podemos encontrar em um análise de óleos pela análise ferrográfica.

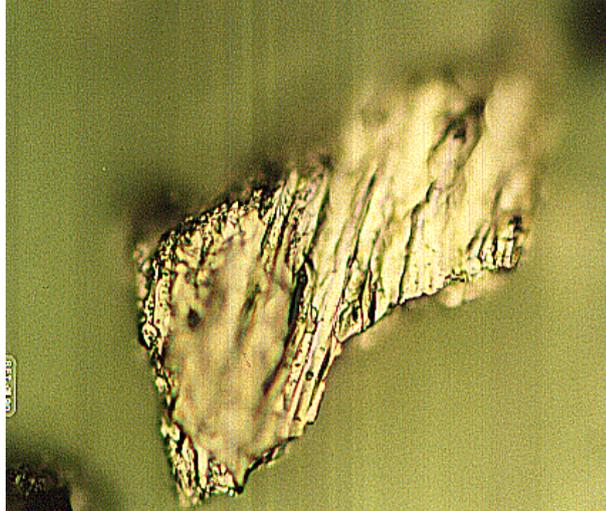


Figura 5 - Arrastamento
Autor: Tribolab – estudo de casos

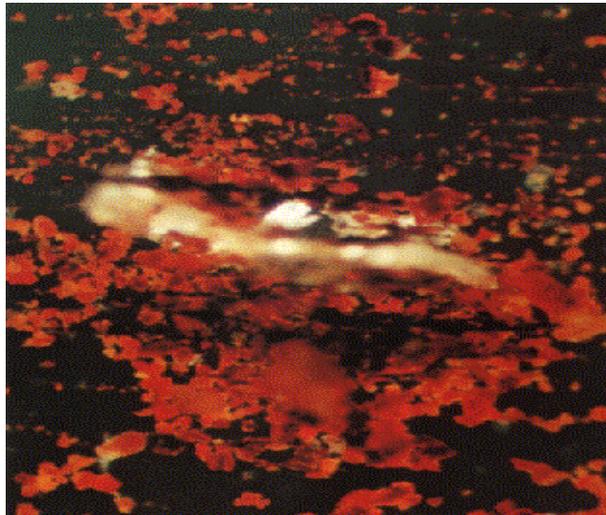


Figura 6- Ferrugem
Autor: Tribolab – estudo de casos

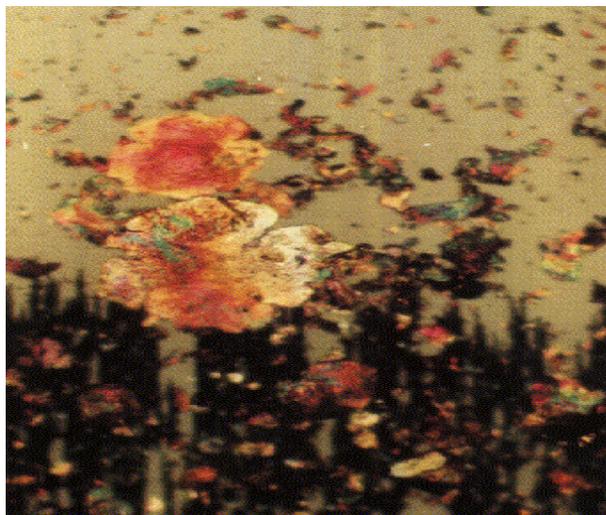


Figura 7 - Bronze (100x)
Autor: Tribolab – estudo de casos

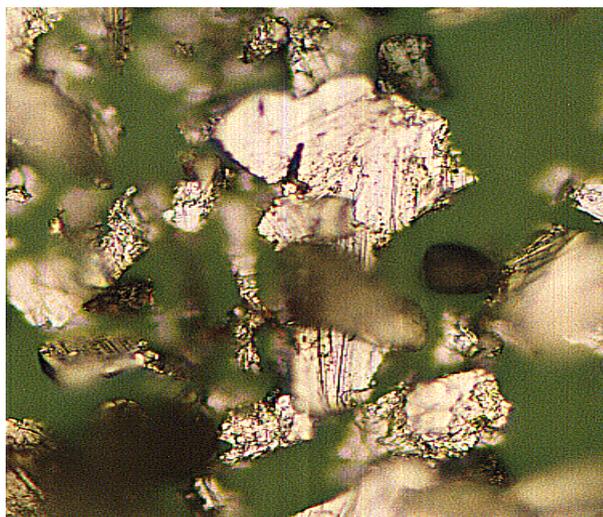


Figura 8 – Alumínio
Autor: Tribolab - estudo de casos



Figura 9 - Fibras de pano
Autor: Tribolab - estudo de casos

3.3 FERROGRAFIA QUANTITATIVA

A ferrografia quantitativa, ou ferrografia de leitura direta, utiliza os mesmos princípios da ferrografia analítica, a diferença está no formato do corpo de prova e no método de leitura. O campo de prova (conjunto tubo precipitador) é formado por uma mangueira de teflon (PTFE), um tubo de vidro e uma mangueira de drenagem. O tubo de vidro é instalado sobre o campo magnético especial, da mesma forma que o ferrograma, duas regiões desse tubo são iluminadas de baixo para cima por uma fonte de luz controlada. A sombra formada pelas partículas que se depositam no tubo é observada por fotocélulas ligadas ao circuito micro-processado.

Assim como no ferrograma, as partículas se precipitam de forma ordenada por tamanho, o tubo precipitador é dividido em duas regiões onde se encontram as partículas maiores do que 5µm, chamadas Grandes (Large = L) e as menores ou iguais a 5µm chamadas Pequenas (Small = S).

A unidade utilizada na ferrografia quantitativa é exclusiva, e arbitrada. Para 50% da área do tubo coberta por partículas, foi arbitrado o número 100, adimensional. A leitura fornecida pelo instrumento é diretamente proporcional a concentração das partículas da amostra. A figura 10 nos mostra um modelo de ferrografo quantitativo.

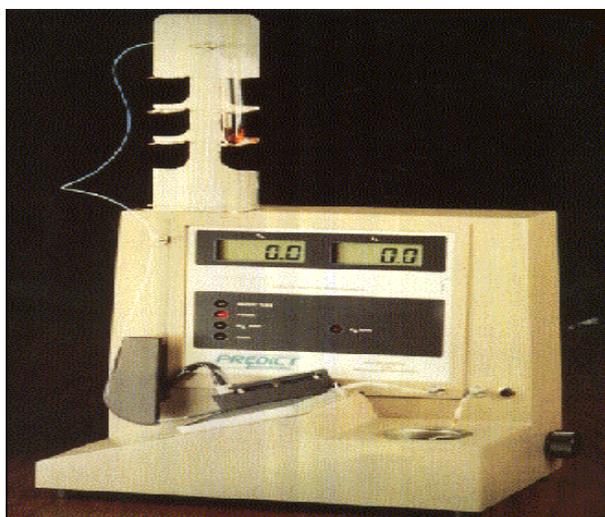


Figura 10 - Ferrografo quantitativo
Autor: Tribolab - estudos de caso

O manuseio dos valores de L e S permite várias interpretações, tais como:

$L + S =$ concentração total de partículas;

PLP (modo de desgaste) $= [(L - S) / (L + S)] \times 100$;

IS (índice de severidade) $= (L^2 - S^2) / \text{diluição}^2$.

$L + S$ é o melhor e mais utilizado índice de acompanhamento ferrográfico do desgaste. O nível de alerta é determinado apenas para o $L + S$. Ele é calculado estatisticamente somando-se duas vezes o desvio padrão à média dos valores anteriormente obtidos de várias amostras. O limite assim calculado indica que 95% dos casos devem ser inferiores e que, se superado provavelmente está um fator novo, possivelmente um problema. A ultrapassagem desse tipo não indica

necessariamente um defeito grave. Entretanto deve-se efetuar a ferrografia analítica para determinação da causa e a providência a ser tomada.

4 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

O projeto foi desenvolvido baseado em pesquisas realizadas sobre ferrografia analítica, a seguir a relação dos materiais utilizados.

Para a construção do ferrografo analítico foi utilizado um tubo de ensaio, uma bomba peristáltica, uma mangueira, uma lâmina de vidro, um imã, um dreno, e um apoio pra a mangueira.

O tubo de ensaio é de vidro para que não contamine o óleo, e tem a capacidade de 20 ml, o mesmo foi fixado em uma mola para que não derrame o líquido.

A bomba peristáltica possui um motor de corrente contínua de 6 Volts, o corpo da bomba é de plástico, possui tubulação de silicone, o motor opera de forma continua ou pulsante, e possui uma vazão de 55ml/min., como pode ser visto na tabela abaixo.

Tabela Especificações: (bomba peristáltica - fluxo de taxa fixa)

Modelo	Vazão ml / min	Tensão	Carga de pressão		Cabeça de sucção	
			bar	2 O mH	bar	2 O mH
Peristáltica	55	6VDC	2	20	0.8	8

A mangueira possui em seu diâmetro interno 3mm, incolor, e tem emendas, pois a parte que passa pela bomba tem que ser de silicone.

A lâmina de vidro tem as dimensões de 60x50x2mm(L/C/E), e possui uma escala numerada em seu comprimento.

Foi utilizado um imã de auto-falante, pois não foi encontrado um imã com o tamanho desejado em forma quadrada ou retangular.

Foi utilizado para ligar a bomba um botão liga/desliga, modelo de partida, aperta aciona, solta desliga.

O dreno foi confeccionado com uma chapa de alumínio.

Para o apoio da mangueira utilizou-se uma barra de metal, na qual contém dois orifícios para fixar a mangueira.

A figura 11 apresenta um ferrografo produzido comercialmente, de acordo com o modelo fabricado por Vernon C. Westcott, e a figura 12 o ferrografo desenvolvido, para a realização dos testes conforme o objetivo deste trabalho.



Figura 11 - Ferrografo analítico
Autor: Telecurso 2000

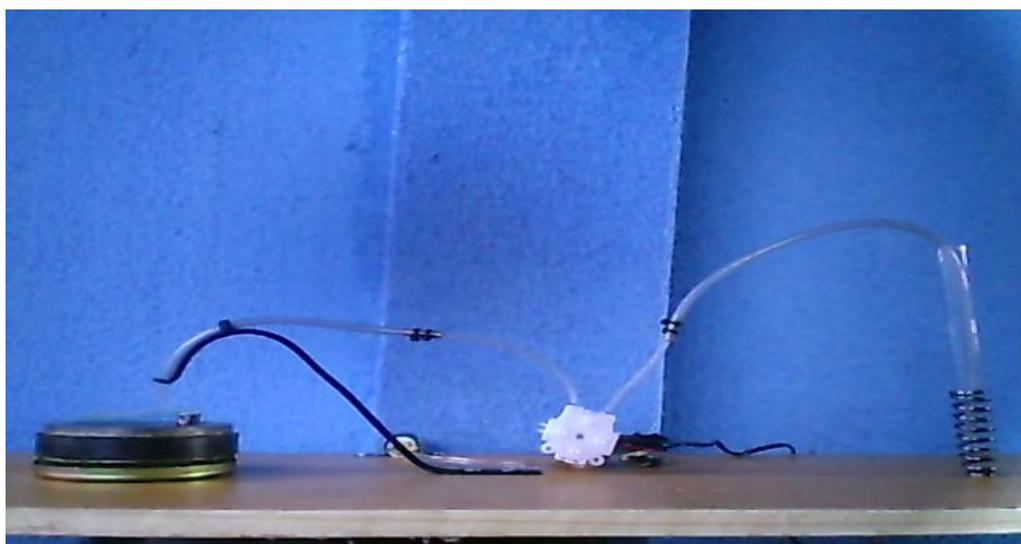


Figura 12- Ferrografo analítico

Para se fazer a análise dos óleos também precisamos saber um pouco mais sobre suas características, de acordo com Beatriz Graça SEABRA do Laboratório de Lubrificação e Vibrações da Universidade do Porto, as principais são: viscosidade, índice de viscosidade, e densidade, vejamos então suas especificações.

4.1 VISCOSIDADE

Considerada a propriedade mais importante de um óleo lubrificante. A viscosidade traduz o grau de atrito ou de resistência que um líquido oferece ao escorregamento.

A viscosidade de todos os lubrificantes não é constante ela diminui com o aumento da temperatura, e o óleo escoar com mais facilidade, mas a dos óleos com um alto índice de viscosidade (IV), não varia tanto como a dos que tem um baixo índice de viscosidade (IV), quando submetidas a diferentes valores de temperaturas. Segundo a norma ASTM D445, a viscosidade de um lubrificante é determinada medindo o tempo, em segundos, necessário para um determinado volume de lubrificante fluir num tubo capilar devidamente calibrado, numa distância conhecida e sobre uma temperatura controlada.

4.2 DENSIDADE

Densidade de uma substância é a relação existente entre o peso de um determinado volume de matéria e o peso de igual volume de água medido a mesma temperatura. No óleo ela é representada pela sigla A.P.I. (Instituto Americano de Petróleo).

Nos ensaios de óleos usados, particularmente aos usados em motores de combustão interna, as alterações na densidade podem ser indicativas na diluição pelo combustível, o que provoca um abaixamento nesta (elevando os valores A.P.I.) ou da presença de partículas carbonosas ou de produtos de oxidação que originem a subida da referida densidade. Evidentemente, será necessário obter elementos analíticos adicionais para justificar as alterações na densidade, visto algumas alterações terem tendência para se compensarem entre si.

5 RESULTADOS OBTIDOS

A construção do ferrografo foi realizada conforme demonstrado na figura 12. O ferrografo se mostrou eficiente na execução de sua função, que é a de deslocar o óleo do tubo de ensaio até o ferrograma.

Com o ferrografo pronto foram realizados varias amostras de ferrograma, mas devido à falta de um microscópio (ferroscopio), foi encontrada dificuldades na análise dos ferrograma.

As análises foram inicialmente realizadas no microscópio existente na UTFPR, foi possível visualizar os resultados, mas não houve a possibilidade de realizar fotografias para incluir no relatório.

6 CONCLUSÃO:

No desenvolvimento do projeto foram encontrados varias dificuldades, tais como material de pesquisa, pois existe pouca bibliografia disponível.

Inicialmente foi considerada a possibilidade de utilizar os microscópios da UTFPR, para que a análise fosse completa, mas não foi possível, já que estes mostram uma ampliação pontual, e necessitamos de uma visão de todo o ferrograma

Outra dificuldade foi a inexistência de banca de ferrograma para identificar as formas e tamanhos das partículas, bem como não existe um acompanhamento de desgaste das máquinas que foram realizadas as análises.

Para dar continuidade a aplicação nas aulas práticas de manutenção será necessária a aquisição de um microscópio.

REFERÊNCIAS

SEABRA, B. G. **Análise de lubrificantes – Princípios Básicos**, Porto e Feup. Janeiro de 2004.

TELECURSO 2000, **Curso Profissionalizante - Mecânica: Manutenção** / Branca Manassés, Penteado... [ET AL.] – Rio de Janeiro: Fundação Roberto Marinho, 2003. Aula 33.

MALPICA, L.G.T. **Manutenção Preditiva de motores de combustão interna, à gasolina, através da Técnica de Análise de Lubrificantes**. 2007. 97 F. Tese (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira.

TRIBOLAB – **laboratório de ferrografia** –, disponível em (www.tribolab.com.br, abril 2002).

SPAMER, F.R. **Técnicas preditivas de manutenção de máquinas rotativas** – Rio de Janeiro, RJ, Brasil Agosto de 2009.