

MANUTENÇÃO PREDITIVA DE UM REDUTOR USANDO ANÁLISE DE VIBRAÇÕES E DE PARTÍCULAS DE DESGASTE.

Eng. Daniel Fabiano Lago

UNESP – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Campus de Ilha Solteira,
Departamento de Engenharia Mecânica, Avenida Brasil, 56, Ilha Solteira, SP. CEP: 15385000.
lago@dem.feis.unesp.br

Prof. Dr. Aparecido Carlos Gonçalves

cido@dem.feis.unesp.br

Resumo: A análise de partículas de desgaste é um forte indicador da interação tribológica na qual estas são formadas. A quantidade de partículas, tamanho, forma e composição dão informações precisas sobre as condições das superfícies em movimento sem a necessidade de se desmontar o conjunto a qual estas partes pertencem. A análise de vibrações é outra técnica utilizada para se verificar o estado atual de máquinas e equipamentos em movimento. A tendência atual é a utilização, em conjunto, das duas técnicas de manutenção preditiva que vinham sendo estudadas separadamente. Para estudar a eficiência da integração da análise de vibrações com a análise da partícula de desgaste, foi proposto o estudo de um redutor de velocidade. Neste trabalho os estudos serão realizados com operação normal do sistema do redutor, com uso de lubrificante não apropriado e com a presença de água e partículas contaminantes e propositalmente acrescentadas ao lubrificante. Este trabalho apresenta uma discussão sobre a manutenção preditiva utilizando análise de vibrações e a análise de partículas de desgaste. Maior ênfase será dada à análise de partículas de desgaste nas amostras de óleo. Porém também serão feitas medidas de vibrações, no tempo e no domínio da frequência.

Palavras-chave: Partículas de desgaste, vibrações, manutenção preditiva, óleo lubrificante.

1. INTRODUÇÃO

Todo sistema ou equipamento mecânico está sujeito a processos de deterioração. Esta deterioração leva ao aparecimento de defeitos que podem atrapalhar a continuidade e qualidade do serviço. Uma quebra não prevista traduz-se por uma parada brusca, geralmente levando a grandes prejuízos e a perda de tempo de produção.

Para que a produtividade de uma indústria tenha resultados positivos, é necessário que todos seus equipamentos sejam mantidos nas melhores condições de funcionamento. Assim, esses deverão sofrer, ao longo da sua vida útil, reparos, inspeções programadas, rotinas preventivas programadas e adequadas, substituição de peças, mudanças de óleo, lubrificações, limpezas, pinturas, correções de defeitos resultantes. O conjunto de todas estas ações constitui aquilo a que se chama manutenção. Segundo a ABNT, pode-se subdividir a manutenção em corretiva e preventiva.

A manutenção corretiva é efetuada após a pane ou avaria. A manutenção preventiva, por sua vez, subdivide em: Sistemática (Manutenção Produtiva), e Condicional (Manutenção Preditiva). Na manutenção sistemática intervém-se em intervalos fixos, baseando-se em uma expectativa de vida mínima dos componentes. A manutenção preditiva é uma manutenção preventiva subordinada a um tipo de acontecimento predeterminado tais como as informações dadas por um captor ou a medida de um desgaste que revelam o estado de degradação de um bem (Xavier, 1998).

Entre todas as técnicas existentes, as mais importantes na manutenção de redutores são a análise de vibrações e a análise de partículas de desgaste. Uma bancada foi montada a fim de estudar essas técnicas. Essa é composta por um motor ligado a um redutor. Várias condições serão impostas.

2. ANÁLISE DE ÓLEO

2.1 – Óleo Lubrificante

Quando ocorre um movimento relativo entre superfícies, é normalmente desejável minimizar a fricção e o desgaste. Qualquer substância interposta que reduz a fricção e desgaste é um lubrificante.

Os lubrificantes são normalmente líquidos, mas podem também ser sólidos, pastosos, e gasosos, conforme de seu estado físico (CPM, 1997).

Lubrificantes líquidos são caracterizados pela viscosidade, mas outras propriedades também são importantes. Podem ser subdivididos em: óleos minerais puros, graxos, compostos, aditivados e sintéticos.

Os óleos minerais puros são provenientes da destilação do petróleo. Os óleos graxos podem ser de origem animal ou vegetal.

Os óleos compostos são constituídos de misturas de óleos minerais e graxos. A percentagem de óleo graxo é pequena, variando de acordo com a finalidade do óleo. Os óleos graxos conferem aos óleos minerais propriedades de emulsibilidade, oleosidade e extrema pressão.

Os óleos aditivados são óleos minerais puros, aos quais foram adicionados substâncias comumente chamadas de aditivos, com o fim de reforçar ou acrescentar determinadas propriedades.

Os óleos sintéticos são provenientes da indústria petroquímica. São os melhores lubrificantes, mas são também os de custo mais elevado. Os mais empregados são os polímeros, os diésteres etc. Devido ao seu custo, seu uso limitado aos locais onde óleos convencionais não podem ser utilizados.

2.2 – Viscosidade

Monitoramento da viscosidade é um importante componente de muitos programas de análise de óleo. Até mesmo pequenas mudanças na viscosidade pode causar grandes prejuízos a lubrificação. Os Limites de óleos industriais típicos são fixados em $\pm 5\%$ para precaução, e $\pm 10\%$ para situação crítica, embora aplicações em altas cargas e sistemas extremamente críticos deverão ter igualmente um sistema de alarme, (POA, 2002).

A Tabela 1 mostra os efeitos do uso de um lubrificante com viscosidade inapropriada.

Tabela 1: efeitos da mudança da viscosidade.

Redução significativa na viscosidade	Aumento significativo da viscosidade
• Perda do filme de óleo causando desgaste excessivo; • Aumento do atrito mecânico causando excessivo consumo de energia; • Geração de calor devido ao atrito mecânico; • Vazamento interno ou externo ; • Aumento da sensibilidade para contaminação de partícula devido à redução do filme de óleo; • Falha do filme de óleo para altas temperaturas, altos carregamentos ou durante partidas e paradas.	• Excessiva geração de calor resultando na oxidação do óleo, lodo e desenvolvimento de verniz; • Cavitação gasosa devido ao fluxo inadequado de óleo para bombas e mancais; • Falta de lubrificação devido ao fluxo inadequado de óleo; • Chicoteamento de óleo no mancal radial; • Consumo excessivo de energia para superar o atrito do fluido; • Fraca demulsibilidade; • Bombeamento fraco durante partidas a frio.

Sempre que uma mudança significativa na viscosidade é observada, a origem da causa do problema deverá sempre ser investigada e corrigida. Mudanças na viscosidade podem ser resultado de uma mudança na base química do óleo (uma mudança na estrutura molecular do óleo), ou devido ao ingresso de contaminantes.

Mudanças na viscosidade requer testes adicionais, tais como: número de ácidos (AN) e espectroscopia infravermelho com a transformada de Fourier (FTIR), para confirmar a incipiente oxidação; teste de contaminantes para identificar a presença de água, fuligem ou ingresso de glicol; ou outro teste menos comumente usado, tal como o teste de ultracentrífuga ou cromatografia a gás (GC), para identificar uma mudança na base química do óleo.

A Viscosidade é uma propriedade física importante que deve ser monitorada e controlada cuidadosamente, devido ao seu impacto no óleo e o impacto do óleo na vida útil dos equipamentos. Medindo-se a viscosidade diretamente no local usando um de muitos instrumentos de análise de óleo capazes de determinar a mudança de viscosidade com precisão, ou se enviando amostras habitualmente para um laboratório, é importante para aprender como a viscosidade é determinada, e como mudanças podem incidir na confiabilidade do equipamento. Uma medida proativa deve ser tomada para determinar a condição de alma do equipamento – o óleo!

2.3 – Partículas de Desgaste

O comportamento ao desgaste dos materiais é ditado pelos mecanismos atuantes de desgaste (abrasão, adesão, corrosão, fadiga), os quais dependem da estrutura do tribosistema (corpo, contra-corpo, interface, meio ao redor), a forma de ação dos elementos tribológicos (rolamento, deslizamento, impacto, escoamento) e dos parâmetros de operação (carga, velocidade, temperatura, tempo).

Ludema(1996) relaciona 34 termos diferentes ao discutir a nomenclatura para descrever o desgaste. Já Rabinowicz (1995) identificou quatro formas principais de desgaste: adesivo, abrasivo, corrosivo e por fadiga, além de uns processos marginais que são freqüentemente classificados como formas de desgaste. Cada processo de desgaste obedece suas próprias leis, e em muitas ocasiões um dos modos de desgaste atua de tal modo que influencia os outros. Desta forma, na análise de uma situação complexa, é crucial encontrar a causa primária do desgaste.

Oxidação, erosão, erosão por cavitação e impacto, são às vezes classificados como tipos de desgaste, embora Rabinowicz considere que na realidade nenhum deles seja uma forma de desgaste. Cada um deles descreve uma maneira diferente em que ocorrem a carga e a ação de deslizamento necessários aos desgaste. Na maioria dos casos todas as formas de desgaste podem resultar da introdução de energia mecânica num sistema. Assim, pode-se ter desgaste adesivo por erosão, abrasão por erosão e assim por diante, todas se dando dentro do mesmo processo erosivo.

Em certos tipos de engrenagens como coroa-sem fim, ou engrenagens hipóides, existe uma combinação de rolamento e escorregamento, o que facilita o surgimento de trincas superficiais; desgaste por adesão, por abrasão, por corrosão ou por fadiga superficial são modos potenciais de falha. Portanto, resultados satisfatórios de operação em elementos potencialmente sujeitos a fadiga superficial somente podem ser obtidos com um projeto adequado, com uma manufatura cuidadosa e com o uso do lubrificante próprio para as condições de trabalho.

2.4 – Padrões de Limpeza dos Fluidos

A contagem de partículas é o método comum mais usado para classificar padrões de limpeza. Muitos instrumentos ópticos sensíveis são usados na contagem do número de partículas em diferentes faixas de tamanho. Esta contagem informa o número de partículas maiores que um certo tamanho encontrado em um volume especificado de fluido.

A nova ISO 11171 (Organização Internacional de Normas Técnicas) substituiu a ISO 4406 em aceitação da ISO MTD (Teste Médio de pó) como uma substituição da ACFTD. A maioria das versões extensamente usadas desta norma técnica, referem ao número de partículas maiores que 4,

6, e 14 micrómetros em 1 mililitro de fluido. O número de partículas 4+ e 6+ são usados como um ponto de referência de partículas. O tamanho 14+ indica a quantidade de partículas grandes presentes, as quais contribuem grandemente para a possível falha catastrófica da máquina.

A Figura 1 e Tabela 2 abaixo representam um exemplo de medida, onde o resultado é obtido através de um código ISO.

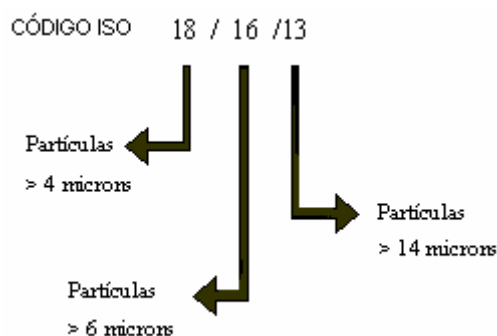


Figura 1 - Exemplo de um Código ISO obtido, (Catalogo PARKER).

Tabela 2 - Classificação e definição pela ISO, (Catalogo PARKER).

Numero	Mícron	Partícula Real Intervalo de Contagem(por ml)
18	4+	1,300 – 2,500
16	6+	320 – 640
13	14+	40 - 80

2.5 – Análise do óleo lubrificante

Considerando que o lubrificante é o vetor das partículas de desgaste geradas por uma máquina, o estudo da evolução da concentração de partículas em suspensão, da natureza de sua constituição, de suas dimensões e de sua morfologia é um procedimento eficaz para identificar e afastar alguma anomalia.

A *análise da natureza da partícula* serve para identificar sua origem e é fundamental para definir qual componente da máquina se está monitorando.

O *estudo das dimensões* das diferentes partículas serve para identificação dos diferentes níveis de desgaste

A *morfologia da partícula* ajuda na identificação do modo de desgaste.

Desta forma pode-se dizer que a análise dos óleos permite identificar os primeiros desgastes de um componente. A identificação é feita a partir do estudo das partículas sólidas que ficam misturadas com os óleos. A análise é realizada por meio de técnicas laboratoriais, dentre as quais tem-se a ferrografia a mais importante.

2.5.1 – Ferrografia

A ferrografia é uma técnica de monitoramento e diagnose de condições de máquinas. A partir da quantificação e análise da morfologia das partículas de desgaste (limalhas), encontradas em amostras de lubrificantes, determinam-se: tipos de desgaste, severidade, contaminantes, desempenho do lubrificante etc. Com estes dados torna-se possível à tomada de decisão quanto ao tipo e urgência de intervenção de manutenção necessária.

Há dois níveis de análise ferrográfica. Uma quantitativa que consiste numa técnica de avaliação das condições de desgaste dos componentes de uma máquina por meio da quantificação das partículas em suspensão no lubrificante, e uma analítica que utiliza a observação das partículas em suspensão no lubrificante.

A ferrografia quantitativa consiste na quantificação do tamanho e número de partículas em suspensão no óleo lubrificante. Através desta técnica pode-se obter informações sobre o grau de severidade do desgaste presente na máquina. A quantificação é feita utilizando-se o contador de partículas, que permite quantificar as partículas grandes e pequenas de modo rápido e objetivo.

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 a Figura 2 a seguir, chamado gráfico de tendências, é obtido por meio da ferrografia quantitativa.

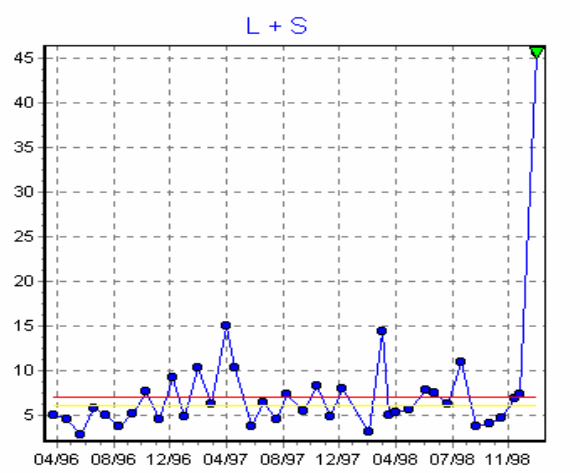


Figura 2 - Gráfico de tendência de um componente de máquina, (www.huno.com.br).

A ferrografia analítica é feita por meio do exame visual da morfologia, cor das partículas, verificação de tamanhos, distribuição e concentração no ferrograma. Esta técnica é importante na obtenção das causas do desgaste, ou seja, os mecanismos geradores de desgaste. Cada tipo de desgaste pode ser identificado pelas diferentes formas que as partículas adquirem ao serem geradas.

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

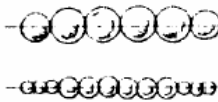
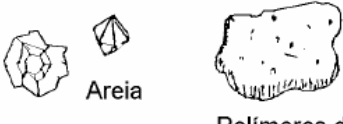
1	ESFOLIAÇÃO  * Escamas * Superfície lisa * 0,5 ~ 5µm	2	CORTE POR ABRASÃO  * Cavacos * Existência de areia * 10 ~ 100µm
3	FADIGA (rolamento e engrenagem)  * Esferas * ~ Regulares * ~ 3µm	4	ARRASTAMENTO (engrenagens)  * Superfície rugosa * Coloração por temperatura * >20µm
5	DESGASTE SEVERO POR DESLIZAMENTO  * Estrias * Corte reto * > 20µm	6	PARTÍCULAS DIVERSAS  Areia Polímeros de fricção

Figura 3 - Esquemas das partículas de desgaste, (www.bibvirt.futuro.usp.com.br).

3. ANÁLISE DE VIBRAÇÕES

O princípio de análise de vibrações está baseado na idéia de que as estruturas das máquinas, excitadas pelos esforços dinâmicos, dão sinais vibratórios cuja frequência é idêntica àquelas dos esforços que os tenham provocado; e a medida global tomada em algum ponto é a soma das respostas vibratórias da estrutura aos diferentes esforços excitadores (Wang e Williang, 1995).

Pode-se, pois, graças a captadores colocados em pontos particulares, registrar as vibrações transmitidas pela estrutura à máquina, e graças, ainda, à sua análise, identificar a origem dos esforços aos quais ela está submetida (Mirshawka, 1991), (Diana e Cheli, 1995).

Dessa forma, assim que se obtém a "assinatura" vibratória da máquina quando ela era nova ou reputada como em bom estado de funcionamento, poder-se -á, por comparação, apreciar a evolução de seu estado e identificar o aparecimento de esforços dinâmicos novos, consecutivos a uma degradação em processo de desenvolvimento (Azovtsev e Barkov, 1998).

Pode-se representar um nível vibratório de várias formas e a mais importante é a Representação Espectral (ou frequencial) (Mirshawka, 1991).

Para descrever completamente o sinal é suficiente conhecer a amplitude máxima A , a frequência do sinal f , e fase φ ; conforme Figura 4.

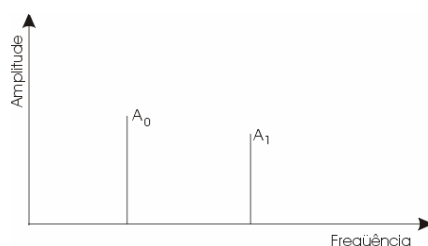


Figura 4 - Espectro de frequência simplificado

Na maior parte das medidas de vibração é mais fácil trabalhar no domínio das frequências que no domínio do tempo (Breitenbach, 1999).

Um sinal no domínio do tempo enviado por um transdutor é convertido em suas componentes de frequência.

As forças existentes podem ser (Saavedra e Espinoza, 1987):

- i) cíclica: desbalanceamento, ou forças da malha de engrenamento que desenvolvem um espectro em forma de linha;
- ii) impulsiva: pitting nos mancais, dente de engrenagem quebrado que desenvolve um espectro modulado;
- iii) Randônica: fricção, cavitação que geram espectro contínuo.

Em um espectro, todos os componentes de um nível vibratório são representados sob a forma de "picos" e pode-se seguir individualmente uma variação de amplitude, sem que se tenha, como acontece na medida global, o efeito de mascarar, com o que se corre o risco de não notar um defeito em desenvolvimento. A Figura 5 apresenta um espectro em frequência.

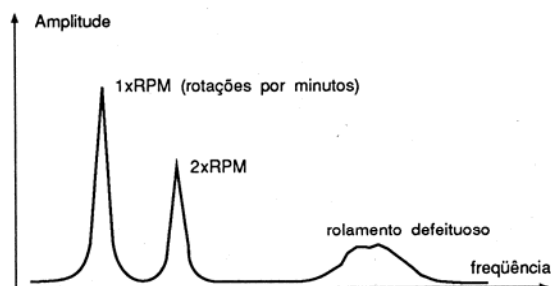


Figura 5 - Exemplo típico de traçado de um espectro de rolamento (Mirshawaka, 1991)

A medida do valor global é um método de análise aproximado do sinal, que faz abstrações do parâmetro frequencial, mensurando a amplitude avaliada de diferentes formas. Esta leva em conta:

a) O valor pico a pico, isto é, mede-se a amplitude máxima da onda fundamental, que é útil, por exemplo, quando o deslocamento vibratório de uma máquina é crítico em relação às restrições de carga máxima ou de "jogo mecânico"

b) O valor de crista (ou de pico), é uma medida importante para indicar, por exemplo, o nível de um choque de curta duração.

c) O valor eficaz, medida que leva em conta a avaliação do valor das componentes harmônicas diretamente relacionadas ao conteúdo energético da vibração.

O problema de se analisar e estabelecer comparações entre diversos sinais de vibração não pode ser resolvido com base no simples conhecimento de valores de sua amplitude e frequência.

Uma forma de resolver este problema foi o estabelecimento de algumas medidas, cuja definição permite o cálculo de valores quantitativos globais para um movimento vibratório $x(t)$ qualquer, descrito no domínio do tempo. Estes valores são: valor eficaz ou RMS, valor médio, fator de forma e fator de crista cujas expressões são dadas pelas Equações 1, 2, 3 e 4 respectivamente.

$$\chi_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T \chi^2(t) dt} \quad (1)$$

$$\chi_m = \frac{1}{T} \int_0^T |\chi(t)| dt \quad (2)$$

$$F_f = \frac{\chi_{RMS}}{\chi_m} \quad (3)$$

$$F_C = \frac{\chi_{pico}}{\chi_{RMS}} \quad (4)$$

Estes parâmetros são ilustrados para um sinal complexo na Figura 6.

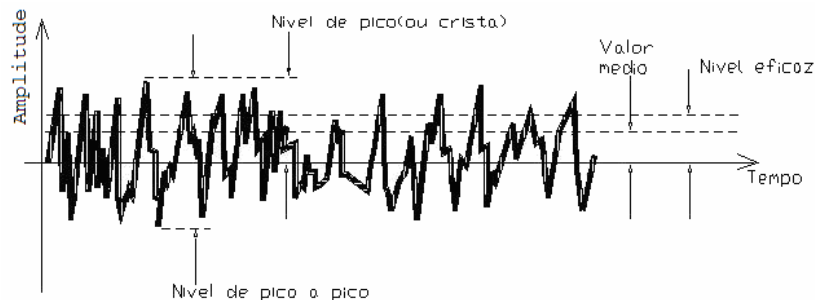


Figura 6. Valores globais de medida de vibração para um sinal de vibração complexo.

O sinal no domínio da frequência ou espectro de frequência é um gráfico de amplitude da resposta de vibrações pela frequência e pode ser derivado utilizando-se a transformada rápida de Fourier (FFT) da forma de onda no tempo. O espectro de frequência fornece uma informação valiosa sobre a condição de uma máquina.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Para se estudar a eficiência da integração da análise de vibrações com a análise da partícula de desgastes, um experimento será conduzido. Este consistirá de um motor acoplado a um redutor de velocidade. Uma foto deste conjunto é mostrada na Figura 7. O motor é da marca WEG com 0.5 CV e 1720 RPM. O redutor é da marca Macopema com redução de 1:30. O redutor é do tipo sem-

fim coroa, com o sem fim feito de liga de aço e o pinhão de bronze. Uma carga será aplicada ao eixo de saída do redutor para simular uma condição real de uso do mesmo.



Figura 7: Conjunto motor redutor.

A carga aplicada será uma massa excêntrica no eixo de saída do redutor, provocando assim um momento com características senoidais neste.

Os estudos serão realizados sob quatro ou cinco condições de operação. As quatro condições que necessariamente ocorrerão serão:

1) Operação normal do sistema motor-redutor, isto é, com óleo recomendado pelo fabricante do redutor;

2) Uso de lubrificantes não apropriados, tais como, com viscosidades inferiores e óleos sem aditivos de extrema pressão;

3) Com a presença de água, em várias porcentagem, como contaminante; e

4) Com engrenagens de acabamento e dureza superficial variada.

Se, após estas condições, o redutor estiver em condições de uso uma quinta condição poderá ser experimentada:

5) Com pequenas quantidades de areia (ou outros abrasivos) acrescentadas ao lubrificante para simular uma partícula abrasiva.

Em cada caso o banco de ensaio funcionará por 672, sendo as amostras de óleos e as medidas de vibrações serão coletadas regularmente de 168 em 168 horas.

As medidas de vibrações serão coletadas na parte frontal e traseira do redutor, tanto nas direções horizontal como na vertical e na longitudinal. Estas análises serão feitas no tempo e na frequência para se determinar o princípio e a severidade do desgaste ativo e para ajudar na diagnose da causa fonte do desgaste.

Partículas de desgastes geradas destes ensaios serão separadas através do depositador rotativo de partículas (RPD) e filtros de partículas e analisadas através de microscópio ótico e monitor de partículas

Vários ensaios serão realizados, sendo que o conjunto destes determina o estado do óleo e do motor. A realização deste trabalho seguirá os Materiais e Métodos descritos a seguir.

4.1 – Análise das Partículas.

Será feita por ferrografia com o depositador rotativo de partículas e com o Monitor de partículas. Também será utilizado Aparelho de Espectroscopia.

Com o RPD é possível realizar exames com campo claro, campo escuro, fotografias e análise óptica de partículas de desgaste. Neste Depositador a amostra de óleo será depositada numa placa quadrada de vidro que gira em um campo magnético. As partículas serão separadas pelo campo magnético e se alojarão em três diferentes espaços reservados a tamanhos diferentes. Usando microscópio as morfologias destas partículas serão determinadas.

O Monitor de Partículas Ferrosas será utilizado para medir automaticamente e quantitativamente as partículas de desgaste ferrosas nas amostras de óleos lubrificantes.

Para analisar em detalhes as partículas serão utilizados filtros de partículas e contador de partículas.

Os microscópios utilizados serão os "Neophot 21" da marca Carl Zeiss de Jena. Essas bancadas de microscópio permitem aumentos de até 2.000 vezes, com imersão em óleo especial para microscopia óptica.

4.2 - Análise de Vibrações

Primeiramente serão feitos estudos dos tipos de defeitos que podem existir no sistema motor-redutor e quais as frequências características destes defeitos. Um bom parâmetro de comparação é a Tabela 3.

Tabela 3 - Faixa de frequência em que ocorrem as falhas (Lanim,1995)

Faixa de Frequência	Baixa	Média	Alta
Tipo de Falha	•Desbalanceamento •Desalinhamento •Folgas Mecânicas •Chicoteamento do óleo.	•Falha de acoplamento •Falhas de engrenamento •Falhas nos mancais	•Falhas nos mancais

Quanto à obtenção dos sinais, estes serão adquiridos utilizando-se dois acelerômetros piezoelétricos, um microcomputador do tipo Notebook e o sistema de aquisição de dados DaqBook. As frequências iniciais de amostragem serão de 500 Hz, 1 kHz, 5 kHz, 10 kHz, 20 kHz e 50 kHz. Os filtros analógicos iniciais serão de 141 Hz, 281 Hz, 2250 Hz, 4500 Hz, 9 kHz e 18 kHz. Para cada frequência serão tomadas 10 amostras de 2048 pontos cada. Posteriormente os sinais adquiridos serão processados e analisados em laboratório através do "software" DASYLab para processamento de espectros do sinal e os valores mais expressivos serão estudados.

6. RESULTADOS ESPERADOS

Com o uso dessas duas técnicas preditivas pretende-se diagnosticar a condição de operação do redutor, tanto a operação normal de funcionamento quanto algum eventual defeito. Pretende-se verificar o período de amaciamento do redutor principalmente através da análise de óleo. Pretende-se verificar um aumento de desgaste quando utilizar-se óleo inadequado e/ou contaminado com água. Sabe-se que análise de partículas é vantajosa para se monitorar máquinas de baixa velocidade onde é difícil aplicar a análise de vibrações. Sabe-se também que embora a técnica de análise de partículas no óleo possa detectar defeitos de rolamentos, estes são melhores observados pela análise de vibrações.

6. AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Capes pela bolsa de mestrado (Processo: 02/11607) e ao CNPq pela bolsa de Iniciação Científica.

7. REFERÊNCIAS

- ABNT - P -TB -116., 1975, "Confiabilidade de Equipamentos e Componentes Eletrônicos: Termos Básicos e Definições".
- Azovtey, A.; Barkov, A., 1998, "Development of Condition Diagnostics in Russia Using Vibration", Vibro Acoustical Systems and Technologies, Inc. (VAST), Saint Petersburg, Russia, 16p.

- Breitenbach, A., “Against spectral leakage”, Alpine Electronics Research of Europe, Germany, 12p, 1999.
- CPM – 1997, Programa de Certificação de Pessoal de Manutenção., “Mecânica de Lubrificação”. p. 22 e 23.
- Diana, G.; Chelif, F., 2003, “Vibration Mechanics”, SFM: Société Française des Mécaniciens, Acoustical and Vibratory Surveillance Methods and Diagnostic Techniques, Senlis, France, p.475-486, 10-12 October, vol 2/2.
- ISO 11171, 1999, “Hydraulic Fluid Power – Calibration of automatic particle counters for liquids”.
- ISO 4406, 1999, “Hydraulic Fluid Power – Fluids – Method for coding the level of contamination by solid particles”.
- Ludema, K., 1996, “Friction, Wear, Lubrication – A Textbook in Tribology”. CRC Press. Boca Raton.
- Mirshawha, V., 2001, “Manutenção Preditiva: Caminho para Zero Defeitos”, São Paulo, Makron, McGraw-Hill, 317p.
- Parker, 2000, “The Handbook of Hydraulic Filtration”, pg 12-19.
- POA, 2002, “Practicing Oil Analysis”, November – December, p. 46 – 50.
- Rabinowicz, E., 1995 “Friction and Wear of Materials”, 2nd ed. John Willey and Sons, Inc., Nova Iorque.
- Saavedra, P.; Espinoza, J., “Na Integrated Approach Method to Rotating Machinery Fault Diagnosis”, Condition Monitoring` 87, 1987, p.685-704.
- Wang, H.; Williams, K., 2003, “The Vibrational Analysis and Experimental Verification of a Plane Electrical Machine Stator Model”, Mechanical Systems and Signal Processing, p.429-438.
- Xavier, A. N., 1980, “Manutenção Classe Mundial”. Congresso Brasileiro de Manutenção. Salvador.

PREDICTIVE MAINTENANCE OF A REDUCER USING VIBRATION AND WEAR PARTICLES ANALYSIS

Eng. Daniel Fabiano Lago

lago@dem.feis.unesp.br

UNESP-University of the State of Sao Paulo - Campus Ilha Solteira. Department of Mechanical Engineering. Brazil Avenue, 56, Ilha Solteira, SP, Zip Cod: 15385000.

Prof. Dr. Aparecido Carlos Gonçalves

cido@dem.feis.unesp.br

Abstract. The analysis of wear particles is a strong indicator of tribological interaction where they are formed. The quantity of particles, size, form and composition give us clean information about the surfaces conditions in movement without the necessity of showing the group that these parts belong to. The study of vibrations analysis is another technique used to check the present state of machine and equipments in movement. The present tendency is the utilization, in-group, of both technique of predictive maintenance that was being studied separately. In this work to study the integration efficiency of vibrations analysis with wear particle analysis as predictive maintenance technique, it was built an apparatus formed by an engine linked to a speed reducer. The studies will be made with normal operation of the system motor-reducer, with the use of inappropriate lubricant and with the presence of water and contaminants purposely added at the lubricant. This work presents a discussion about the predictive maintenance through vibrations and wear particle analysis. More emphasis will be given at the analysis of wear particles in oil samples. However also they will be collected vibrations measurement, in the time and in frequency domain.

Keywords: Wear particle, vibrations, tribology, predictive maintenance.