

## **Manutenção proativa pode economizar 10 vezes mais do que práticas de manutenção preditiva/preventiva convencionais**

*Por: James C. Fitch, P.E.*

### **Introdução**

O custo crescente de manutenção é um problema sério para os negócios. De acordo com a Dupont “manutenção é a maior despesa independente controlável numa fábrica: em muitas empresas freqüentemente excede o lucro líquido anual”. Um dos grandes fabricantes de automóveis americano possui uma equipe de manutenção entre 15.000 e 18.000 funcionários em todas as suas fábricas. Eles dizem que “85 a 90 % é tempo ocioso”. A manutenção preventiva, quando bem implantada, mostrou gerar economias acima de 25 por cento, além disso, seus benefícios alcançam rapidamente o ponto de retomo dos investimentos. De acordo com um estudo da revista Forbes, um de cada três dólares gasto em manutenção preventiva é desperdiçado. Uma grande empresa de reparos relata que “60 por cento das bombas hidráulicas enviadas para reparo não têm nada de errado com elas”. Essas ineficiências são o resultado da manutenção executada de acordo com uma programação (trabalho de suposição) em oposição às verdadeiras condições e necessidades da máquina.

Mais recentemente, a manutenção preditiva (também conhecida como monitoramento da condição operacional) tem liderado o caminho para economias adicionais em relação à manutenção preventiva, O uso de tempo real ou instrumentos portáteis, tais como monitores de vibração, termografia, ferrografia, etc. têm sido eficazes no reconhecimento de sintomas de falha iminente da máquina. O maior benefício é a disponibilidade de um alerta anterior, de umas poucas horas a poucos dias, que reduzem o número de falhas “catastróficas”.

Geralmente, a manutenção preditiva é implantada juntamente com a manutenção preventiva e objetiva tanto os sinais de alerta de falha iminente como o reconhecimento de falhas pequenas que iniciam a reação em cadeia que leva às falhas grandes (isto é, controle de danos).

### **Manutenção Proativa de “Extensão da Vida Útil”**

A manutenção proativa tem recebido atenção mundial como o meio mais importante de alcançar economias inalcançáveis pelas técnicas de manutenção convencionais. A abordagem substitui a filosofia de manutenção de “falha reativa” pela de “falha proativa” evitando as condições subjacentes que levam a falhas e degradação da máquina. Ao contrário da manutenção preditiva/preventiva, a manutenção proativa cria ações conetivas que objetivam as causas da falha-raiz, não apenas sintomas. Seu objeto central é aumentar a vida da máquina mecânica ao invés de (1) fazer reparos quando em geral nada está quebrado, (2) aceitar a falha como rotina e normal (3) substituindo a manutenção de falha de crise pela manutenção de falha programada.

Enquanto as causas-raiz da falha são muitas, ou pelo menos se presume que são, é geralmente aceito que 10 por cento das causas da falha são responsáveis por 90 por cento das ocorrências. Na maioria dos casos, os sintomas da falha mascaram a causa raiz ou são eles próprios considerados como a causa. Por exemplo, a falha súbita de um rolamento é com freqüência considerada como causada por lubrificante de má qualidade ou ruim. A causa- raiz, por outro lado, é contaminação no lubrificante ou instalação defeituosa do rolamento.

Quando uma máquina é bem projetada e bem construída, as causas da falha podem se reduzidas

geralmente a aplicação indevida da máquina ou contaminação. E, entre as duas, a contaminação é claramente a mais comum e mais séria culpada pela falha. Uma grande quantidade de provas de laboratório e confirmações de campo estão agora disponíveis para comprovar este fato. Portanto, a abordagem inicial lógica para a manutenção proativa é a implantação de programas de controle rigoroso da contaminação para fluidos lubrificantes, hidráulicos, líquidos arrefecedores, ar e combustível. A propriedade e veracidade desta estratégia de manutenção é enfatizada abaixo.

- A) De acordo com a divisão de rolamentos da TRW, “contaminação é a causa número um de avaria de rolamento que leva à troca prematura”.
- B) A revista *Machine Design* relata que “menos de 10 por cento de todos os roletes e esferas dos rolamentos atingem o limite de fadiga porque a contaminação causa desgaste ou falha prematura por fragmentação”.
- C) De acordo com a Caterpillar, “sujeira e contaminação são de longe a causa número um das falhas do sistema hidráulico”. A J. 1. Case diz que “uma coisa é verdadeira sobre sistemas hidráulicos: os sistemas devem ser mantidos limpos — imaculadamente limpos — a fim de atingir a produtividade que são capazes”.
- D) Estudos proativos da Marinha americana mostram que o custo por hora da contaminação em equipamento naval e aeronáutico excede 60 por cento do custo por hora de combustível do mesmo equipamento.
- E) O Massachusetts Institute of Technology declara que “seis a sete por cento do produto nacional bruto (US\$ 240 bilhões) é requerido somente para reparar avarias causadas por desgaste mecânico”. O desgaste ocorre como resultado da contaminação.
- F) A Oklahoma State University relata que quando o fluido é mantido 10 vezes mais limpo a vida das bombas hidráulicas é aumentada 50 vezes.

### **Medicina Humana Comparada com Estratégias de Manutenção**

O corpo humano oferece muitas comparações com a manutenção de máquinas. De fato, com uma boa observação dos avanços da medicina humana podemos obter uma excelente percepção de estratégias eficientes na manutenção de máquinas.

A maioria das máquinas são sistemas dependentes de fluidos, como o corpo humano. Fluidos tais como lubrificantes, fluidos hidráulicos, líquidos refrigerantes, combustíveis e ar carregam e transportam os contaminantes dentro do sistema. A presença anormal de contaminação num sistema pode ser descrita como a etapa inicial da falha, significando que, apesar da máquina ainda não apresentar perda de desempenho ou degradação do componente no momento, as condições que levam à falha e vida operacional reduzida estão presentes e sem defesa. Níveis de contaminantes altos são semelhantes a apresentar níveis de colesterol e pressão sanguínea altos:

mais cedo do que o esperado você morre. E de maneira semelhante ao colesterol, contaminação alta é uma condição corrigível.

### **Tipos de Falhas Induzidas por Contaminante**

Há muitos tipos de falhas de máquinas induzidas por contaminantes. As mais comuns são desgaste, atrito estático, engripamento, erosão e corrosão. Os contaminantes envolvidos incluem partículas sólidas, umidade, ar, produtos químicos e outros materiais estranhos ao sistema. Dos tipos de falha, no entanto, o desgaste abrasivo causado por partículas sólidas, é substancialmente o mais sério. De acordo com a divisão Vicckers da TrinovalAeroquip, “desgaste abrasivo é responsável por cerca de 90% das falhas devidas à contaminação”. Este desgaste abrasivo é o resultado de partículas (muito pequenas

para serem vistas) que cortam e sulcam superfícies de rolagem e deslizantes.

A taxa com que a contaminação entra nos fluidos de máquinas hidráulicas é geralmente muito subestimada e minimizada. Da mesma maneira, a eficiência dos filtros para remover contaminantes dos fluidos dos sistemas no campo é superestimada. De acordo com um estudo de equipamento hidráulico feito pela Oklahoma State University, “tem sido demonstrado que taxas de ingresso de IOa 100 milhões de partículas maiores do que 10 micra (por minuto) caracterizam os sistemas no campo”.

Portanto, o filtro, se existente, é desafiado com a formidável tarefa de remover partículas do fluido com mesma taxa que entram. Testes dos fabricantes de máquinas mostram que os filtros têm grande dificuldade de executar essa tarefa no campo, onde são submetidos a condições de mudanças frequentes de temperatura, viscosidade do fluido, pressão e fluxo, mais os efeitos de choque, vibração e fadiga. Outros problemas comuns são válvulas de derivação que emperram abertas, juntas de filtro avariadas ou faltantes e filtros instalados ao contrário ou tortos. Assim sendo, os prejuízos e idiosincrasias das situações de campo são muitos. Como resultado, os níveis de contaminação dos fluidos deve ser monitorados com frequência para verificar o desempenho do filtro e prover o retomo essencial que dá integridade a um programa de controle da contaminação.

### **Economia da Manutenção dos Sistemas Hidráulicos**

Tratando-se de controle de contaminação da manutenção proativa, os japoneses talvez sejam os líderes mundiais. Eles escolheram claramente a abordagem do “faça, não fale somente”. A evidência disto vem dos relatórios de duas das maiores siderúrgicas mundiais, Nippon Steel e Kawasaki Steel, ambas no Japão:

- A) Depois que a Nippon implantou um programa de controle da contaminação de sistemas hidráulicos em toda a fábrica, envolvendo ambos: filtragem melhorada e monitoramento rigoroso da limpeza do fluido — a frequência de troca de bombas foi reduzida a um quinto e a frequência acumulada de todas as falhas devidas a desgaste e contaminação foram reduzidas a um décimo.
- B) Da mesma maneira, a Kawasaki Steel, para não ser ultrapassada, implantou um programa de controle de contaminação similar e conseguiu uma redução quase inacreditável de 97% nas falhas de componentes hidráulicos. Declarações como estas estimularam a British Hydromechanics Research Association (BHRA) e a Marinha americana a conduzirem seus próprios estudos para comprovar os benefícios do controle de contaminação da manutenção proativa:
  - 1) O estudo da BHRA cobriu um período de 3 anos e baseou-se numa experiência de campo com 117 máquinas hidráulicas, cuidadosamente monitoradas, de oito categorias (moldagem por injeção, máquinas ferramentas, movimentação de material, móvel/ construção, marítimo, trabalho com metal, bancadas de teste e diversos). Os resultados do estudo mostraram uma relação expressiva entre níveis de contaminação do fluido e vida útil. Limpeza melhorada do sistema atingiu tempo médio entre falhas (mean time between failures - MTBF) real aumentado de 10 a 50 vezes, dependendo da limpeza.
  - 2) Um estudo do Naval Air Development Center em Warminster, Pennsylvania (EUA), realizado em bombas hidráulicas de avião, mostrou um aumento de aproximadamente 4 vezes na vida útil com 66 por cento de melhoria na filtragem e aumento de 13 vezes na vida útil com 93 por cento de melhoria na filtragem.

### **Economia na Vida dos Mancais**

De acordo com a Divisão de Rolamentos da TWR, “contaminação é a causa número um de avarias de rolamentos... o montante da avaria causada por contaminantes sólidos que passam entre as superfícies de rolagem e deslizantes de um mancal anti-fricção é proporcional ao tamanho e concentração dos contaminantes”. Ao contrário das avarias originadas abaixo da superfície associadas comumente a fadiga, a contaminação causa aos rolamentos avarias originadas na superfície. Este desgaste induzido por contaminante reduz a vida do rolamento a apenas cinco por cento da vida estimada, de acordo com pesquisadores japoneses. Outros estudos na fábrica também são ressoantes:

- 1) O programa de controle de contaminação relatado pela Nippon Steel incluiu sistemas de lubrificação envolvendo mancais fixos e de roletes. Durante os três anos do período de estudo conseguiram 50 por cento de redução nas compras de mancais na fábrica.
- 2) A International Paper Company relatou uma redução aproximada de 90 por cento nas falhas de mancais em apenas 6 meses depois que implantaram filtragem melhorada e controle de contaminação na sua fábrica de papel em Pine Buff (EUA).
- 3) De acordo com pesquisa pós-venda de um conhecido fabricante de mancais de encosto e fixos, “sujeira foi responsável por 85 por cento ou mais dos problemas de seus clientes”. Isso parece indicar que 85 por cento dos problemas com mancais podem ser eliminados se os níveis de contaminantes forem reduzidos e controlados.

### **Economia na Manutenção de Motor Diesel e Turbina a Gás**

Os benefícios associados ao controle de contaminação proativo de óleos lubrificantes de motor diesel são grandes. Historicamente, houveram muitos mal entendidos em relação à influência da contaminação na vida útil dos motores. Por conseguinte, filtros com eficiência muito baixa foram e continuam a ser especificados para óleos lubrificantes de motores. Entretanto, com base em inúmeros estudos importantes de campo e laboratório, podemos concluir que a contaminação do óleo lubrificante é a principal causa do desgaste dos motores provocando falhas em “efeito dominó”.

Nos motores diesel, altos esforços locais associados com desgaste por atrito resultam em remoção abrasiva de material das superfícies. Quando as cargas estão concentradas na área efetiva de uma pequena partícula, os esforços superficiais resultantes podem ser maiores do que 500.000 psi, muito além do limite de elasticidade dos materiais. A espessura da película de óleo entre a qual as partículas podem alcançar e atacar a superfície, estão tipicamente na faixa de 10 micra. Isso explica porque, de acordo com um estudo do desgaste da Cummins Engine, partículas menores do que 10 micra geraram cerca de 3,5 vezes mais desgaste (bielas, anéis e mancais principais) do que partículas maiores do que 10 micra. Outros estudos importantes bem documentados estão descritos abaixo:

- 1) A Pall Corporation, com participação da Detroit Diesel Allison (DDA), investigou a influência da limpeza melhorada do óleo lubrificante no desempenho e confiabilidade de caminhões diesel de 150 toneladas, operando em mina a céu aberto. O estudo revelou reduções substanciais nas concentrações de desgaste metálico.
- 2) A AC Delco, Division da General Motors, também testou motores DDA e encontrou melhoria de oito vezes nas taxas de desgaste e vida útil do motor com níveis de contaminantes de óleo lubrificante mais baixos. Num estudo relacionado de motores diesel e automotivos, a General Motors relata, “comparado com um filtro de 40 micra, o desgaste do motor foi reduzido em 70% com filtragem de 15 micra”.

- 3) Um estudo conduzido pela cadeia de supermercados Albertson's Inc., numa série de motores Cummins para cavalo-mecânico, encontrou taxas de desgaste acentuadamente reduzidas com maior limpeza do óleo lubrificante. Depois de analisar seis motores com 600.000 milhas de operação, Albertson's relata "os munhões do virabrequim do motor apresentaram apenas 0,0005 de polegada de desgaste. Os mancais de biela e principais não tinham gasto nem a camada de cobre. O desgaste dos anéis de compressão e de óleo era inexpressivo".
- 4) Estudo de uma universidade Européia independente, conforme publicado na revista *Lubrication Engineer*, relata redução no desgaste dos motores diesel, com fator 14, quando é feita melhor limpeza do óleo lubrificante. O estudo também iguala a redução do atrito resultante com um aumento de 5 por cento na economia de combustível.

Com referência a motores de turbinas a gás, o U. S. Department of Defense relata que "aproximadamente 30 por cento de todas as falhas dos motores são causadas por contaminação de partículas metálicas nos sistemas de óleo lubrificante". Estudos mais precisos, se realizados, provavelmente provariam que a verdadeira porcentagem seria bem e maior. Afinal de contas, o processo de desgaste e falhas das turbinas a gás, por projeto, deve ser semelhante às falhas do motor diesel e mancais, conforme relatado e documentado anteriormente.

É interessante notar que, atualmente, nos Estados Unidos, é analisado um volume anual estimado de 25 a 50 milhões de amostras de óleo lubrificante pelos laboratórios. Ainda assim, apesar do fato da contaminação ser o maior contribuinte da falha de motor, menos de 5 por cento desses laboratórios fazem contagem de partículas nas amostras de óleo lubrificante. A análise de metais de desgaste e análise de elementos são muito freqüentemente confundidas como sendo indicadoras dos tamanhos e concentrações de partículas nos óleos lubrificantes. Apenas dispositivos precisos de contagem de partículas podem determinar isso.

### **Passos para Implantação do Controle de Contaminação da Manutenção Proativa**

O controle de contaminação, como alicerce da manutenção proativa, é implantado em três passos simples:

- 1) Estabelecer os níveis-alvo de limpeza do fluido para cada máquina e sistema.
- 2) Selecionar e instalar equipamento de filtração (ou melhorar a classificação atual do filtro) e técnicas de eliminação de contaminante para atingir os objetivos de níveis de limpeza.
- 3) Monitorar a limpeza do fluido em intervalos regulares para assegurar que os objetivos sejam atingidos. Ajustar as técnicas de filtração e eliminação de contaminante, conforme requerido, para estabilizar os objetivos de limpeza.

A explicação detalhada para implantar cada um desses passos é encontrada no livro *Fluid Contamination Control*, de Dr. Ernest C. Fitch.

É importante notar que um mito comum entre o pessoal responsável pela manutenção de máquinas é a crença de que os custos incrementais superam os benefícios de atingir a limpeza do fluido. Esses custos são associados à adição ou melhoria dos filtros e/ou a troca de fluidos com maior freqüência. Apesar de não ser intenção deste artigo detalhar o elenco de técnicas para implantar o controle de contaminação de fluidos, deve ser observado que se forem requeridos custos originados pelo programa, são, em geral, absorvidos muito rapidamente pelas economias no custo de manutenção. Além dos custos de

implantação, somente devem ser esperados custos operacionais incrementais para certas aplicações de ingresso alto de contaminantes, tipicamente menos de 10 por cento dos casos. Fora isso, a economia geralmente ultrapassa os custos com margens grandes.

De maneira geral, os fluidos e lubrificantes têm vida infinita quando protegidos de calor excessivo, umidade, ar e partículas. Como são sujeitos à contaminação, seu monitoramento deve fazer parte do programa de controle de contaminação. De fato alguns óleos lubrificantes de sistemas de geração de energia, atingiram vida útil de mais de 10 anos. Em relação ao relatório da Nippon Steel, eles declaram que a influência de práticas de controle de contaminação rígidas contribuiu para a redução de 83 por cento de consumo de óleo. A Pal! Corporation diz que com a melhoria da limpeza dos fluidos, os intervalos de troca de óleo podem ser aumentados de duas vezes ou mais.

Devido a taxas de desgaste significativamente menores (geração de partículas), a Pal! também declara que os intervalos de troca de filtros também podem ser aumentados em duas vezes. Estes podem ainda ser aumentados adotando medidas para restringir a entrada de contaminantes no fluido. Economia adicional pode ser conseguida através do monitoramento rotineiro dos níveis de contaminação do fluido a fim de programar as trocas de filtro em pontos ótimos.

### **O Monitoramento da Contaminação é Essencial para o Sucesso do Controle de Contaminação**

Inegavelmente, o monitoramento da contaminação é um elemento operativo para atingir o objetivo de aumento de vida útil da máquina. Os níveis de contaminantes da máquina, como afetados pelo ingresso e filtragem, são extremamente dinâmicos. E não é anormal os níveis variarem duas a três ordens de grandeza num período de dias ou mesmo de horas. Conseqüentemente, o monitoramento de contaminante fecha o circuito oferecendo retorno essencial, e portanto, o controle. Pilotar um avião numa tempestade sem altímetro, ou um navio no mar sem bússola, ou dirigir um carro num ralí sem marcador de combustível são algumas analogias que se pode usar para tentar fazer manutenção sem monitoramento.

O monitoramento de contaminante no fluido pode ser feito no campo ou na fábrica retirando amostras do fluido em frascos para análise em laboratório ou instrumentos portáteis na própria máquina. Recentemente há uma tendência de fugir da amostragem em frascos e análise de laboratório para monitoramento rotineiro de contaminante devido ao alto custo associado, menor precisão e demora. Em seu lugar estão em uso monitores portáteis que recebem o fluido diretamente das máquinas para análise no local.

Um instrumento vendido pela Diagnostics, denominado digital Contam-Alert (dCA), é operado por bateria e extremamente leve. Consiste de um sensor acoplado a um computador de mão por um cabo. Durante o teste, o sensor é colocado momentaneamente numa porta de diagnóstico instalada permanentemente na máquina. Uma pequena amostra do fluido sob pressão passa pelo sensor e depois de um ou dois minutos a contagem das partículas é exibida na tela do computador.

A unidade pode ser usada com uma variedade de óleos lubrificantes e líquidos arrefecedores. Após cada teste, o cabo do sensor é comprimido, o que expõe a amostra, tomando-o imediatamente pronto para uso. Os dados de contagem de partícula podem ser facilmente armazenados no computador, rotulados com a identificação da máquina, data e comentários do usuário. Depois, os dados podem ser impressos com uma impressora portátil ou baixados para um computador pessoal de mesa.

O uso do monitor de contaminação portátil oferece manutenção proativa ou preditiva na fábrica ou no campo. Os operadores de manutenção podem simplesmente andar de máquina em máquina para verificar os níveis de contaminante no fluido e compará-los com objetivos padrões. As ordens de serviço de manutenção podem então ser emitidas para corrigir os sistemas fora de especificação.

### **Comparação entre Monitoramento de Contaminante com Técnicas de Manutenção Preditiva Típicas**

Além de sua utilidade como ferramenta de manutenção proativa, o monitoramento de contaminante pode ser igualmente eficaz como primeiro alerta para falhas iminentes da máquina, isto é, manutenção preditiva. Quando uma falha de máquina está em progresso, há geração abrupta de resíduos de desgaste resultando em presença anormal de partículas nos fluidos. Essa reação em cadeia de poucas partículas gerando mais e mais partículas é uma indicação incontestável de falha em progresso. O uso de monitores de contaminantes portáteis, mudanças distintas nos níveis de contaminante podem ser facilmente reconhecidos, geralmente com tempo suficiente para programar a manutenção.

Esta técnica tem inúmeras vantagens em relação a outras técnicas de manutenção preditiva:

#### **Monitoramento de Vibração**

De acordo com a obra “Hanbuch der Schadenverhutung”, 63% das falhas de compressores e 78% das falhas de turbina não causam alteração na vibração. Além disso, nas tentativas de detectar falhas de compressor centrífugo usando monitoramento de vibração, a Chevron relata que, “muitas falhas de mancal de encosto ocorrem instantaneamente, permitindo apenas segundos entre a primeira indicação do problema e o contato interno das peças rotativas e estacionárias”. Eles dizem mais, “as órbitas de vibração sempre surgem pouco antes da falha catastrófica súbita, excedendo o limite de desligamento em ambas as direções X e Y”.

O desgaste ocorre bem antes do aparecimento da vibração na maioria das máquinas. O nível acelerado de partículas no óleo lubrificante é, portanto, o primeiro sinal de falha iminente. Fora isso, há muitos tipos de equipamento em que o sinal de vibração é muito complexo para monitorar sem software sofisticado de computador para decifrar a assinatura. Até agora, por exemplo, as tentativas para usar monitoramento da vibração em equipamento hidráulico não tem tido muito sucesso.

#### **Análise Ferrográfica**

Ferrografia é o processo de depositar partículas magnéticas numa lâmina de laboratório e observá-la no microscópio. Seu uso é limitado à análise de laboratório de amostras em frascos, visto não ser portátil. É mais freqüente, devido ao alto custo do equipamento analítico da ferrografia, enviar as amostras para laboratórios comerciais onde os resultados podem demorar de alguns dias a várias semanas. Além do mais, a ferrografia analítica não é uma técnica quantitativa e não avalia a presença de partículas não magnéticas, tais como alumínio, latão, cobre e cromo. A ferrografia analítica pode, no entanto, ser muito útil como ferramenta suplementar para localizar falhas e interpretar os processos de desgaste, uma vez que a indicação inicial seja dada pelo monitoramento de contaminante.

#### **Análise Espectrográfica de Elementos**

A análise espectrográfica tem sido usada desde a Segunda Guerra Mundial para estabelecer e quantificar a presença de metais de desgaste e aditivos nos óleos lubrificantes e fluidos hidráulicos. Tem havido muitos estudos conflitantes em relação à utilidade e precisão da análise espectrográfica. Os que duvidam dizem que a técnica não pode detectar partículas maiores do que 10 micra e que não

determina dados quantitativos referentes a tamanho e contagem de partículas. Um estudo publicado na revista *Lubrication Engineering* envolvendo mais de 150 amostras de óleo usado coletadas de caixas de engrenagens industriais, compressores, transmissões e sistemas hidráulicos, concluiu que:

- 1) “Altos níveis de contaminação nesses sistemas contribui para níveis maiores de desgaste, aceleram o processo de desgaste e resultam em falha prematura”.
- 2) “Quando a análise de metais sozinha (confrontada com monitoramento de contaminante) indica aumento de desgaste, o processo abrasivo pode ser irreversível e o sistema pode, de fato, estar no ponto de falha total”.
- 3) “É interessante notar que os resultados da análise espectroscópica do desgaste de metais NÃO MUDARAM significativamente (apesar da filtragem altamente melhorada), entretanto, foi obtida uma redução geral no desgaste total depois de vários meses de monitoramento do sistema”.

Outro estudo ainda, mostrou que “a análise espectrográfica não previu a falha de componentes banhados a óleo da aeronave”. Surpreendentemente, depois de analisar uma amostra de óleo de um gerador elétrico em outro relatório, os resultados espectrográficos indicaram “sem maiores problemas”. De fato, a amostra foi colhida DEPOIS da falha total, um ponto em que níveis exorbitantes de metal de desgaste deveriam ter sido detectados.

### **Hierarquia de Monitoramento do Sistema**

Foi dito que o propósito fundamental do controle de contaminação e monitoramento de contaminante é obter tempo médio entre falhas (MTBF) largamente aumentado, não controle de dano. Entretanto, quando condições anormais estão presentes, como indicado antes, análises adicionais usando ferrografia ou vibração podem identificar a fonte do problema.

São estabelecidas três linhas de base para cada aplicação. A primeira é a linha de base do monitoramento de rotina do contaminante, que satisfaz os principais requisitos de monitoramento do sistema. Estabelece o objetivo de nível de limpeza, para o qual o aumento de vida útil desejado para a máquina pode ser conseguido. A segunda linha de base é definida acima da primeira na escala do nível de contaminante e representa condições anormais que requerem análise adicional. O autor prefere a ferrografia como o meio para localizar e explicar a fonte de contaminação.

No exemplo é mostrada a falha de um retentor raspador de cilindro. Esse tipo de falha não afeta o desempenho operacional de imediato, mas resulta em alta taxa de entrada de partículas. Uma vez corrigida, os níveis de contaminantes voltam ao normal, abaixo da primeira linha de base. O segundo movimento além da primeira linha de base, é um filtro gasto, que foi substituído. Em ambos os casos, a ferrografia falhou na confirmação dos níveis anormais de detritos de desgaste, direcionando a pesquisa de falhas para outro lugar.

Uma terceira linha de base é estabelecida para alguns sistemas onde pode ser usado monitoramento de vibração. Se os níveis de contaminante progredirem nessa região e a ferrografia confirma desgaste abrasivo ou anormal, então a análise de vibração pode ser empregada como técnica de controle de avaria. Outros métodos, tais como análise volumétrica ou análise espectrográfica também podem ser úteis. Uma vez identificado o componente problema, a manutenção pode ser programada prontamente.

A hierarquia de monitoramento do sistema deve ser personalizada para os requisitos adequados do usuário e da aplicação. É projetada para servir as necessidades combinadas da manutenção proativa e

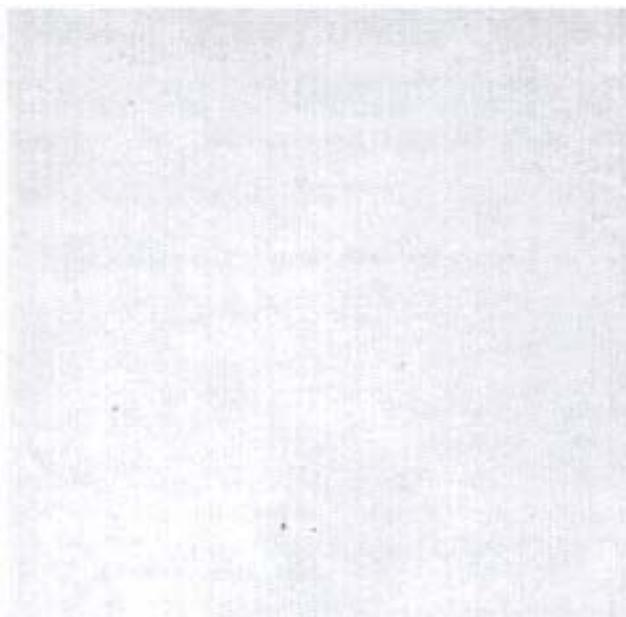
preditiva para obter o máximo de economia possível. A título de orientação, a chave para a implantação eficaz é 90 por cento planejamento e 10 por cento ação.

### Sumário e Conclusões

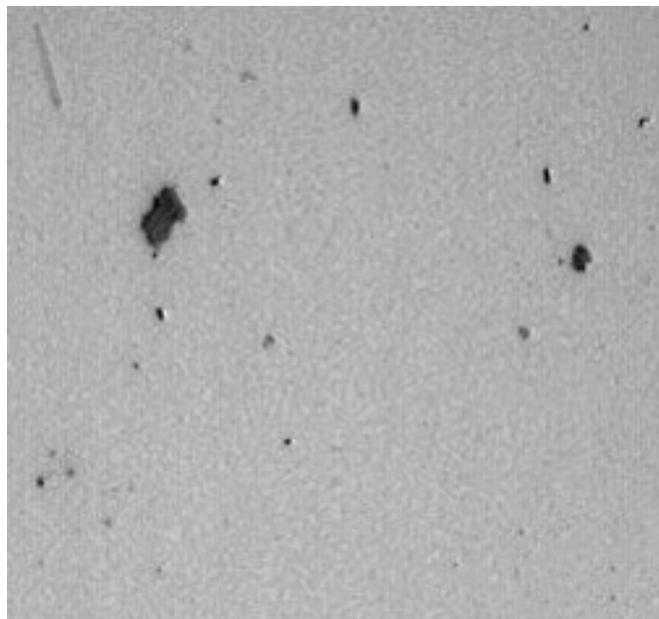
A manutenção proativa é apresentada como meio importante para curar as causas da falha raiz e aumentar a vida útil da máquina. O controle da contaminação dos fluidos é estabelecido como técnica essencial para implantar a manutenção proativa. Economia substancial em sistemas hidráulicos, mancais, motores e turbinas a gás são confirmados com base em estudos de caso envolvendo aplicações. São dados numerosos exemplos de melhorias de dez vezes nos custos de manutenção.

O monitoramento de contaminante é citado como sendo chave para conseguir controle de contaminação e manutenção proativa, em oposição à manutenção preditiva tradicional. É discutida a comparação do monitoramento de contaminante com outras técnicas preditivas. Conclui que o monitoramento de contaminante oferece a “primeira defesa” contra falhas mecânicas, seguida por ferrografia e monitoramento de vibração.

Finalmente, parece inevitável que as máquinas futuras incluam sensores de contaminante a bordo, para manutenção proativa e controle de condição em tempo real. Softwares de sistemas inteligentes combinados com sensores e transdutores (por exemplo, pressão, temperatura, vibração, viscosidade, detritos do desgaste e umidade) localizados estrategicamente, oferecerão monitoramento compreensivo da saúde da máquina para as mais sofisticadas aplicações futuras.



Representação microscópica do óleo limpo ISO 16/13.

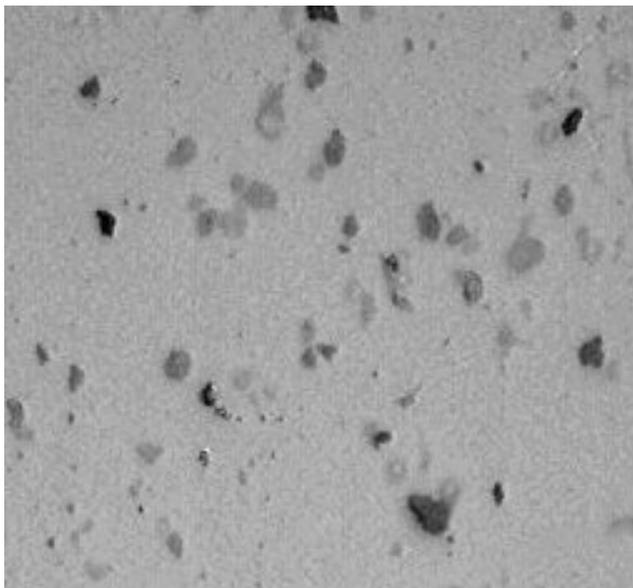


Representação microscópica do óleo em operação normal, ISO 18/15, com valores dentro do padrão.

**A meta de contagem de partículas, recomendada pela Caterpillar para óleos de hidráulico, transmissão e comando final é ISO 16/13 ou mais limpo.**

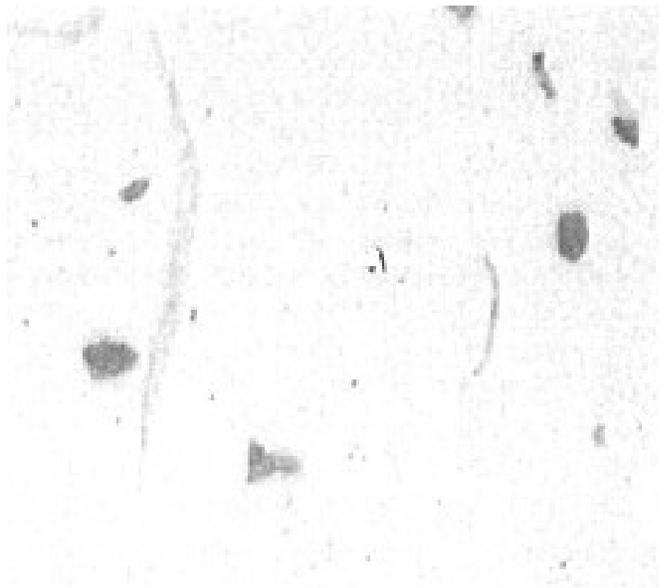
**Valores-alvo para máquinas Caterpillar em operação no campo:**

- **Sistemas Hidráulicos ..... ISO 18/15**
- **Sistemas de Transmissões ..... ISO 18/15**



Contagem de partículas ISO 21/18 contém sujeira e areia.

**Representa contaminação 38 vezes maior do que o óleo limpo ISO 16/13.**



Representa contagem de partículas ISO 18/14.

**Microscopia do óleo novo, contaminado por sujeira e outros detritos.**

## Referências

- Beercheck, Richard C. "How Dirt and Water can Slash Bearing Life". *Machine Design*. July 6, 1978.
- Bertele, Otto V "Why Condition Monitor"? 3rd international Conference on Condition Monitoring. October 15-16, 1990.
- Blok, Peter Jim C. Fitch, and Kim A. Hodgson. "Measuring Contaminant Level in the Field (Bestimmung der Oireinheitsgrades on Ort und Stelle)". *Olhydraulik und Pneumatik*. 34. No. 5. 1990.
- Chaplin, James. "improving Vehicle Productivity Through Better Contamination Control". SAE Paper No. 861300. September 1986.
- Cooper, Richard. "Prevention of Ball Bearing Failures". *Plant Services*. December, 1985.
- Cunningham, Ernest R. "Contaminant Removal Methods and Equipment for Cleaning Hydraulic Fluids". *Plant Engineering*. June 11, 1987.
- Dodd Ray V. "Condition Monitoring of Major Turbomachinery Cuts Costs Over 4-year Period". *Oil and Gas Journal* March, 12, 1984.
- Editor "Early Warning Helps Avoid Costly Repairs". *Heavy Eguipment Maintenance*. April, 1989.
- Editor "Troubleshooting Hydraulics". *Eguipment Management*. January, 1991.
- Farris, John A. "Controlling Contamination in Hydraulic Systems". *Contractors and Engineers*

Magazine. May, 1974.

- Fitch, E. C. "A Perspective of Contamination Control Economics". The BFPR Journal. 1978, 11, 1: 49-53.
- Fitch, E. C. "An in-line Contaminant Monitor for Fluid Power and Lubrication Systems". The Fluid Power Research Center, OSU. 1982.
- Fitch, E. C. Fluid Contamination Control. Sillwater: FES, Inc., /988.
- Fitch, J. C. "Hydraulic Fluid Analysis - Avoiding the Potential Pitfalls". Hydraulics and Pneumatics Magazine. Part 1, December, 1987. Part 2, January, 1988.
- Fitch, J. C. "Quantifying the Contaminant Tolerance of Hydraulic Systems Using the Contaminant Life index". National Conference on Fluid Power. 1986.
- Hankins, Carrol F. "Increasing Bearing Life in Paper Machines by Contamination Control". PALL Symposium on Contamination and Wear 1984.
- Hitchcox, A. L. "Portable Equipment Evaluates Hydraulic Performance". Hydraulics and Pneumatics Magazine. July, 1987.
- Jones, H. J. "Coming to Terms with Contamination in Naval Hydraulic Systems". IMECHE, C243/84. 1984
- Krivejko, Gary E. "Increasing Cash Flow by Contamination Control in Hydraulic Lubricating Systems in the Steel industry". Association of Iron and Steel Engineers. September 1983.
- Leugner L. O. "The Use of Oil Contamination Testing Combined with Improved Filtration Will Optimize Both Lubricant and Equipment Life". Lubrication Engineering. October, 1989.
- Needelman, William M. "Review of Lubricant Contamination and Diesel Engine Wear". SAE Paper No. 881827. 1988.
- Ohlson, John. "Effect of Contamination and Filtration Level on Pump Wear and Performance". SAE A6 Committee Meeting No. 96.
- Oishi, Naoki. "Contamination Control Benefits at Nagoya Works, Nippon Steel". Internal report. 1989.
- Poley, Jack. "Oil Analysis for Monitoring Hydraulic Oil Systems, a Step-Stage Approach". Journal of the Society of Tribologists and Lubricating Engineers. January, 1990.
- Rabinowicz, Ernest. "Graduate Level Course Outline in Tribology, Friction, Wear and Lubrication". Massachusetts Institute of Technology. 1986.
- Roe, John. "Determining Financial Benefits for Predictive Maintenance and Developing Management Support". PPM Technology May/June, 1990.
- Rosen, Jerome. "Power Plant Diagnostics Go On-line". Mechanical Engineering. December, 1989.
- Siegel, Stewart. "High-Efficiency Filtration - Reducing Engine Wear". Fleet Owner. February, 1990.
- Spencer John. "Effective Contamination Control in Fluid Power Systems". Sperry Vickers. 1980.
- Staley, David R. "Correlating Lube Oil Filtration Efficiencies with Engine Wear". NonWovens Conference, TAPPI 1989.
- Tessmann, R. K. and E. C. Fitch. "Field Contaminant Ingression Rates - How Much"? Eighth Annual Fluid Power Research Conference, OSU. Paper No. P74 -47. October 8-9, 1974.

- *Unknown author "How DuPont Can Stop Maintenance Costs from Eating Away Your Profits". Commercial literature. 1983.*
- *Unknown author "Quantitative Lubricating Oil Debris Monitoring and Analysis". N89-123, Program Solicitation, SBIR, Department of Defense. 1989.*
- *Verdegan, Barry M., Laura Thibodeau and Stephen L. Fallon. "Lubricating Oil Condition Monitoring Through Particle Size Analysis". SAE Paper NO. 881824. 1988.*



**www.sotreq.com.br**  
**SAC: 0800-220080**