

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE FORMIGA - UNIFOR-MG
CURSO ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
RICARDO LUIZ SOARES

ESTUDO DE CASO SOBRE A IMPORTÂNCIA DA MANUTENÇÃO PREDITIVA
EM UMA EMPRESA DE CAL NA REGIÃO CENTRO OESTE-MG

FORMIGA - MG
2011

RICARDO LUIZ SOARES

ESTUDO DE CASO, EM UMA EMPRESA DE CAL NA REGIÃO CENTRO OESTE-MG,
SOBRE A IMPORTÂNCIA DA MANUTENÇÃO PREDITIVA

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia de Produção da UNIFOR-MG, como requisito parcial para obtenção de título de bacharel em Engenharia de Produção.
Orientador: Prof. Marcelo Carvalho Ramos.

FORMIGA - MG
2011

RICARDO LUIZ SOARES

ESTUDO DE CASO SOBRE A IMPORTÂNCIA DA MANUTENÇÃO PREDITIVA
EM UMA EMPRESA DE CAL NA REGIÃO CENTRO OESTE-MG

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Coordenação Geral de Graduação do UNIFOR-MG, como requisito parcial para obtenção de título de bacharel em Engenharia de Produção.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Marcelo Carvalho Ramos.

Orientador

UNIFOR-MG

UNIFOR-MG

Formiga, 30 de junho de 2011.

AGRADECIMENTOS

"Agradecer é admitir que se precisou de alguém."

Gostaria de agradecer a Deus, que na sua imensa misericórdia, permitiu, guiou, orientou, iluminou, para que eu chegasse até aqui.

Ao meu amor (Martinha), por estar comigo em todos os momentos, por me impulsionar, por literalmente me empurrar nesta jornada, e não me deixar abater pelo cansaço, pelas dificuldades. Por estar sempre do meu lado com paciência, carinho e amor. E por acreditar em mim, mais do que eu mesmo, por ser minha inspiração e fazer realizar este sonho que é nosso.

Aos meus filhos João Pedro e Vinícius, por suportarem minha ausência nestes anos e por me esperarem sempre com tanto amor e com tanta saudade todos os dias.

Ao meu amigo Walison (Chuchu), companheiro de estrada, que sempre fez a diferença pela generosidade, pela amizade, pelo respeito e pelo carisma.

Aos meus colegas de sala, com quem compartilhei não somente o aprendizado, mas o companheirismo, a amizade, a ajuda, a generosidade, a cumplicidade, a paciência e o respeito.

Aos professores, pelo incentivo, pela paciência, pela força, por ensinarem não só o conhecimento, mas muitas vezes a sabedoria. Que Deus continue a iluminá-los.

"Para alcançar conhecimento, adicione coisas todo dia. Para alcançar sabedoria, elimine coisas todo dia." (Lao-Tsé).

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo estudar a importância da manutenção preditiva dentro de um processo produtivo, podendo ser feita por meio do uso desta tecnologia empregada, tanto para aumentar a confiabilidade dos equipamentos, como para aumentar a disponibilidade das instalações. Ao longo deste estudo procurou-se identificar as principais formas de manutenção preditiva nos equipamentos, bem como demonstrar como a manutenção preditiva pode auxiliar no plano de manutenção industrial e como pode ser um fator determinante na tomada de ação para paradas programadas. Para se atingir este objetivo, foi preciso abranger todos os tipos de manutenção através de um estudo bibliográfico, exemplificando-se como é feita a análise de óleo, análise de vibração e termografia. Com os resultados quantitativos obtidos através de um estudo de caso em uma empresa de cal na região centro-oeste de MG, encontrou-se benefícios consideráveis para manutenção e para produção, predizendo um defeito em transformador de suma importância para o processo produtivo, predizendo o possível travamento de um soprador através da evolução de uma vibração e predizendo uma consequência maior em um circuito elétrico por um ponto quente consequente de mal contado, antecipando assim, paradas não programadas, que é o objetivo maior da manutenção e da produção.

Palavras-chave: Manutenção preditiva. Análise de óleo. Análise de vibração. Termografia.

ABSTRACT

The present work aims to study the importance of predictive maintenance in a production process and can be done through the use of the technology employed, both to increase the reliability of equipment, such as to increase the availability of facilities. Throughout this study sought to identify the main forms of predictive maintenance on equipment as well as demonstrate how predictive maintenance can help in the industrial maintenance plan and how it can be a determining factor in taking action to shutdowns. To achieve this goal, we needed to cover all types of maintenance through a bibliographic study, illustrating how it is done in oil analysis, vibration analysis and thermography. With the quantitative results obtained through a case study in a company of lime in the midwestern region of MG, we found significant benefits for maintenance and production, predicting a defect in manufacturing critical to the production process, predicting the possible crash of an air current through the development of a vibration and predicting a major consequence in an electrical circuit for a hot spot resulting from bad spot, thus anticipating, unscheduled downtime, which is the major purpose of maintenance and production.

Keywords: Predictive maintenance. Oil analysis. Vibration analysis. Thermography.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 Ciclo de controle PDCA (Modificado pelo autor).....	25
FIGURA 2 Controle de Manutenção 2011 - Disponibilidade Elétrica Moagem A3.....	33
FIGURA 3 Relatório de Inspeção Mecânica área Moinho.....	35
FIGURA 4 Fluxograma da Ordem de Manutenção.....	35
FIGURA 5 Legenda da Condição da Máquina e Ações Recomendadas.....	44
FIGURA 6 Relatório do Equipamento F9-SD01.....	45
FIGURA 7 Relatório do Equipamento F9-EX03.....	48
FIGURA 8 Câmera para Termografia.....	49

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 Critério de identificação de falha de Doernenburg	37
TABELA 2 Critério de identificação de falha de Roger.....	38
TABELA 3 Classificação dos Equipamentos.....	43
TABELA 4 Fator de Criticidade/Diagnóstico.....	48
TABELA 5 Análise de Resultados de Óleo	50
TABELA 6 Laudo de Ensaio em Óleo Isolante.....	51
TABELA 7 Laudo de Ensaio em Óleo Isolante.....	51

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 Análise de Vibração (Modificado pelo autor).....	43
GRÁFICO 2 Relatório do Equipamento F9-SD01 (Modificado pelo autor).....	46
GRÁFICO 3 Condição Geral dos Equipamentos (Modificado pelo autor).....	47

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AC - Aquecimento corrigido.

CCM - Centro de controle de motores.

CFCA- Critério flexível de classificação de aquecimentos.

CV - Cavalos.

FC - Fator de criticidade. FIG-

Figura.

GRAF- Gráfico.

MAA- Maximo aquecimento admissível.

OM- Ordem de manutenção. TAB- Tabela.

Tag - Nome dado ao equipamento.

QDBT - Quadro de distribuição de baixa tensão.

QDL- Quadro de distribuição de iluminação.

QDMT- Quadro de distribuição de media tensão.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
1.1 Problema.....	15
1.2 Justificativa.....	15
1.3 Hipóteses.....	16
2 OBJETIVOS.....	17
2.1 Objetivo geral.....	17
2.2 Objetivos específicos.....	17
3 REFERENCIAL TEÓRICO.....	18
3.1 Tipos de manutenção.....	18
3.1.1 Manutenção Corretiva.....	18
3.1.2 Manutenção corretiva planejada.....	19
3.1.3 Manutenção corretiva não-planejada.....	20
3.2 Manutenção Preventiva.....	20
3.2.1 Manutenção Preditiva.....	21
3.3 Ciclo (PDCA).....	25
3.4 A importância dos equipamentos e suas disponibilidades	26
3.4.1 Diferença entre eficiência e eficácia.....	26
3.5 Conceito de manutenibilidade e manutenção.....	27
3.5.1 Falhas.....	29
3.5.2 Causas de Falhas.....	30
3.5.3 Eficácia da manutenção.....	32
3.5.4 Planos de manutenção.....	34
3.5.5 Ensaio Cromatográfico.....	36
4 METODOLOGIA.....	39

4.1 Tipos de Pesquisa.....	39
4.2 Método de Trabalho.....	40
4.3 Objeto de Pesquisa.....	41
5. ANALISE E RESULTADOS.....	42
5.1 Coleta de Dados.....	42
5.1.1 Análise de Vibração.....	42
5.2 Termografia.....	47
5.3 Análise de óleo.....	50
6 CONCLUSÃO.....	52
REFERÊNCIAS.....	54

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho propõe demonstrar que a manutenção preditiva é uma ferramenta muito eficaz para auxiliar a administrar o plano de manutenção, podendo auxiliar em todos os tipos de manutenção e, principalmente, aplicar a engenharia de manutenção. Esta por sua vez, atua no equipamento na hora certa, ou seja, é o conjunto de atividades que permite que a confiabilidade seja aumentada e a disponibilidade garantida. Tal manutenção pode ser adiantada ou atrasada conforme as análises apresentadas pela manutenção preditiva, gerando uma economia muito significativa para a manutenção.

Pretende-se, também, ressaltar que a manutenção preditiva não substitui totalmente os métodos mais tradicionais de gerência de manutenção. Trata-se de um meio de se melhorar a produtividade, a qualidade do produto, o lucro, e o funcionamento excelente para as plantas industriais. A manutenção preditiva não é meramente monitoramento de vibração ou análise de óleo lubrificante, tampouco de imagens térmicas ou qualquer das outras técnicas de detectar um problema antes que ele ocorra. A manutenção preditiva é uma nova filosofia de se fazer manutenção reduzindo custos e auxiliando a todos os demais tipos de manutenção.

Ao invés de se basear em estatísticas de vida média na planta industrial (que pode ser medida por tempo médio para falha), a manutenção preditiva usa o monitoramento direto das condições mecânicas, rendimento do sistema e outros indicadores para determinar o tempo médio para falha real ou perda de rendimento para cada máquina e sistema na planta industrial.

Os métodos tradicionais baseiam-se principalmente nas recomendações dos fabricantes dos equipamentos, através de manuais ou da própria assistência técnica, acionados por um tempo que garante um guia/manual para intervalos "normais" de vida da máquina dizendo o momento ideal para a manutenção atuar.

A adição de um programa de manutenção preditiva abrangente pode fornecer dados sobre a condição mecânica real de cada máquina e o rendimento operacional de cada sistema de processo. Estes dados subsidiarão o gerente de manutenção a programar atividades de manutenção de forma muito mais efetiva em termos de custo.

Um programa de manutenção preditiva pode minimizar o número de quebras de todos os equipamentos mecânicos/elétricos da planta industrial e assegurar que o equipamento reparado esteja em condições mecânicas aceitáveis. Ele pode identificar problemas da máquina antes que se tornem sérios, já que a maioria dos problemas pode ser minimizada se forem detectados e reparados com antecedência.

Existem cinco técnicas que são usadas pela manutenção preditiva: monitoramento de vibração (com espectros de corrente elétrica), análise de óleo, termografia, ultrassom, e inspeção visual. Cada técnica tem um conjunto único de dados que assistirá o gerente de manutenção na determinação da necessidade real de manutenção. Hoje, alguns fornecedores

já prestam esta manutenção preditiva a fim de fornecer um serviço completo e um diferencial muito importante para a decisão de optar por um equipamento.

A manutenção preditiva que utiliza análise de vibração é predicada em dois fatos básicos: todos os modos de falha comuns possuem componentes distintos de frequência de vibração que podem ser isolados e identificados, e a amplitude de cada componente distinto de vibração permanecerá constante a menos que haja uma mudança na dinâmica operacional da máquina.

A manutenção preditiva que utiliza rendimento de processo, perda de calor, ou outras técnicas não destrutivas, pode quantificar o rendimento operacional de equipamentos ou sistemas não mecânicos da planta industrial.

Porém, não é possível monitorar todos os equipamentos de uma planta industrial. Então se elege os prioritários ou ainda através de dispositivos especiais de monitoramento, faz-se uma leitura em tempo real através da instrumentação e através da automação, monitorando-se vibrações, temperatura, corrente elétrica de determinados equipamentos, considerados essenciais para a produção.

Os custos de manutenção correspondem à parte principal dos custos operacionais totais de todas as plantas industriais de manufatura e de produção. Dependendo da indústria específica, os custos de manutenção podem representar entre 15% a 30% do custo dos bens produzidos.

Recentes pesquisas da efetividade da gerência da manutenção indicam que um terço de todos os custos de manutenção é desperdiçado como resultado de manutenção desnecessária ou inadequadamente realizada. O impacto sobre a produtividade e o lucro que é representado pela operação de manutenção se torna claro.

1.1 Problema

Quais são os benefícios que o uso da manutenção preditiva pode trazer para uma indústria de Cal na Cidade de Pains-MG?

1.2 Justificativa

As empresas, em geral, diante da competitividade e otimização da produção, cada vez mais investem em equipamentos de última geração, buscando uma maior confiabilidade e disponibilidade. Para isto, é preciso buscar também uma forma de preservar estes equipamentos e ao mesmo tempo conseguir o melhor funcionamento possível para estes.

Com isto, a manutenção tornou-se uma ferramenta fundamental para alcançar este objetivo. Partindo desta idéia, vê-se uma preocupação de investimentos e melhorias neste

setor, tentando buscar a excelência desta assistência técnica e dos equipamentos em geral.

Ocorre-se então, uma melhoria na estrutura das empresas em termos materiais (máquinas, equipamentos, ferramentas, matéria-prima, produtos etc.) e em termos humanos (mantenedores), aprimorando suas capacitações pessoais envolvendo conhecimentos, habilidades e atitudes, gerando um incremento da qualidade e produtividade.

Porém, a manutenção gera custos altos que podem afetar no custo total da produção de forma significativa quando ocorre, principalmente, a necessidade de uma manutenção corretiva. Diante desta necessidade, surgiu uma forma de manutenção que prevê os problemas antes mesmo que estes ocorram podendo-se, assim, ser planejados e conseqüentemente gerar menos custos: a manutenção preditiva.

A relevância deste trabalho é demonstrar a importância da manutenção preditiva dentro de qualquer organização e principalmente dentro da própria manutenção, bem como demonstrar sua importância na redução de custos globais de manutenção da empresa e tornando a manutenção em geral, como uma parceira decisiva para obtenção de alta produtividade.

Desse modo, o trabalho consta de um estudo minucioso sobre a manutenção preditiva no segmento de empresas industriais, limitando-se a apresentar conceitos e exemplos de suas formas, exemplificando a forma como ela é empregada.

1.3 Hipóteses

A identificação dos equipamentos relevantes para a produção e implementação de estratégias na manutenção, por meio da manutenção preditiva, que prediz a vida útil destes equipamentos, podem conseguir índices satisfatórios de disponibilidade e conseqüentemente a confiabilidade dos equipamentos, conseguindo assim:

- Aumento de produtividade, pois quanto menos os equipamentos pararem por falhas, maior a produção alcançada.
- Aumento da confiabilidade dos equipamentos, uma vez que quanto menos falhas um equipamento apresentar, maior é o grau de confiança sobre o seu funcionamento.
- Redução de custos com manutenção, pois com uma manutenção previsível e planejada pode-se programar os custos com a manutenção, antecipando-a ou atrasando-a.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Estudar a importância da manutenção preditiva dentro de um processo produtivo por meio do uso da tecnologia empregada, visando um alto índice de confiabilidade e redução de custos com a manutenção em geral.

2.2 Objetivos específicos

- Identificar as principais formas de manutenção preditiva nos equipamentos.
- Verificar os benefícios gerados com o uso da manutenção preditiva dentro de um processo industrial.
- Demonstrar como a manutenção preditiva pode auxiliar no plano de manutenção industrial e como pode ser um fator determinante na tomada de ação para paradas programadas.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Tipos de manutenção

Segundo Lafraia (2008), muitos autores classificavam a manutenção somente como corretiva e preventiva, porém, ao longo do tempo, surgiram outros tipos de manutenção. Visando a previsão de falhas e correções, surgiu a manutenção preditiva, que quer dizer prever a uma falha.

De acordo com Lafraia (2008), a manutenção preditiva procura manter um sistema em estado disponível, ou seja, operacional, e através de inspeções, controles e serviços como limpeza, calibração, monitoramentos, análises de óleo, termografia, raios-X e ultrassom, é possível prever a estas falhas.

3.1.1 Manutenção Corretiva

Segundo Viana (2009), a manutenção corretiva é a manutenção efetuada após a ocorrência de uma falha, ou seja, um problema que interrompa o funcionamento normal de operação. Esse tipo de manutenção, para Nepomuceno (1989), tem como objetivo reparar ou acertar um defeito que apareceu de maneira inesperada como: motor queimado, rolamento quebrado, eixo deformado, dentre outras avarias.

Em compensação, pode causar grandes perdas por interrupção da produção, a opção por este método deve levar em conta os fatores econômicos. (XENOS, 2004).

Para Souza (2009) a Manutenção Corretiva pode ser considerada como sendo aquele trabalho ou operação que mantém a máquina ou equipamento produtivo em funcionamento, sendo esta intervenção realizada no menor prazo possível, para que se possa voltar ao funcionamento normal da linha de produção.

A manutenção corretiva é toda manutenção com a intenção de corrigir falhas em equipamentos, componentes, módulos ou sistemas, visando restabelecer sua função. Este tipo de manutenção, normalmente implica em custos altos, pois a falha inesperada pode acarretar perdas de produção e queda de qualidade do produto. As paralisações são quase sempre mais demoradas e a insegurança exige estoques elevados de peças de reposição, com acréscimos nos custos de manutenção.

A manutenção corretiva pode ser dividida em duas classes que serão explicitadas a seguir:

- Manutenção corretiva planejada;
- Manutenção corretiva não planejada.

3.1.2 Manutenção corretiva planejada

Conforme Pinto e Xavier (2001), consiste na atuação para correção de uma falha ou do desempenho menor que o esperado no equipamento. Caracteriza-se pela ação programada, sempre após a detecção de uma possível falha, levando em conta fatores técnicos e econômicos.

Na adoção de uma política de manutenção corretiva planejada devem-se levar em consideração os seguintes fatores, segundo Pinto e Xavier (2001): possibilidade de compatibilizar a necessidade da intervenção com os interesses da produção, ou seja, uma possível negociação; aspectos relacionados com a segurança, a falha não provoca nenhuma situação de risco para o pessoal ou para a instalação, também passível de uma negociação; melhor planejamento dos serviços; garantia da existência de sobressalentes, equipamentos e ferramental, ou seja, mesmo com o problema identificado, é possível um planejamento desta manutenção; existência de recursos humanos com a tecnologia necessária para a execução dos serviços e em quantidade suficiente, que podem, inclusive, ser buscados externamente a organização.

A manutenção corretiva planejada é aquela efetuada após a verificação de uma falha do equipamento ou em um de seus componentes, que foram diagnosticadas em uma rota de inspeção ou por operador. Neste caso, é possível estabelecer uma data coerente para substituição deste componente afim de não prejudicar o fluxo contínuo de produção. (SOUZA, 2009).

3.1.3 Manutenção corretiva não-planejada

A ocorrência de uma falha ou quebra no equipamento pode ser considerada como uma manutenção não planejada, pois é removida a possibilidade de uma preparação ou planejamento antecipado. Geralmente ocorre de forma súbita e imprevisível, gerando uma ação de emergência ou de urgência para a equipe de manutenção. (SOUZA, 2009).

É baseado em agir num fato já ocorrido, nesse caso como o próprio nome adverte, não há tempo para preparação e planejamento dos serviços. A falha que não puder ser adiada ou planejada deve ser considerada como manutenção corretiva não planejada ou de emergência, ou seja, aconteceu agora e preciso fazer agora. (BRANCO, 2008, p. 35).

Infelizmente ainda é praticado por diversas empresas, implicando indiretamente em custos elevados, sem contar nas perdas por produção e qualidade. Pinto e Xavier (2001, p.38)

ressaltam que:

Quando uma empresa tem a maior parte de sua manutenção corretiva na classe não planejada, seu departamento de manutenção é comandado pelos equipamentos e o desempenho empresarial da Organização, certamente, não está adequado às necessidades de competitividade atuais.

3.2 Manutenção Preventiva

Consiste em ações antecipadas, através de procedimentos diversos, para manter funcionando um determinado equipamento ou máquina. Normalmente abrange ações sistemáticas envolvendo reparos, inspeções e substituições de peças danificadas.

Segundo Nepomuceno (1989, p. 41), a manutenção preventiva é fundamentada em suprir um defeito em períodos regulares, assim como a execução de reparos e consertos devido a quebras ou falhas imprevistas. Como as falhas e rupturas para serem evitadas exigem um intervalo de tempo conservativo, a manutenção preventiva é executada com muito maior frequência que o necessário. Esse tipo de manutenção deve ser a atividade principal de manutenção em qualquer empresa, uma vez estabelecida deve ter caráter obrigatório. Sem uma boa manutenção preventiva as falhas tendem a aumentar e ocupar todo o tempo do pessoal de manutenção.

A essência da manutenção preventiva é a substituição de peças ou componentes antes que estes atinjam a idade em que passam a ter risco de quebra. A base científica da manutenção preventiva é o conhecimento estatístico da taxa de defeito das peças, equipamentos ou sistemas ao longo do tempo. A manutenção preventiva também é chamada de manutenção baseada em intervalos/tempo.

Ao contrário da manutenção corretiva, a manutenção preventiva procura evitar e prevenir antes que a falha efetivamente ocorra. A definição da NBR 5462 (1994) para a manutenção preventiva é "manutenção efetuada em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescritivos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item".

3.2.1 Manutenção Preditiva

Segundo Viana (2009), da manutenção preditiva podem-se obter várias definições. Olhando-se de dentro da própria manutenção, a manutenção preditiva pode ser definida como aquela que monitora a vibração da maquinaria rotativa numa tentativa de detectar problemas prevendo uma falha drástica no equipamento. Também pode ser definida como o

monitoramento das imagens infravermelhas de circuitos, de chaves elétricas, motores, e outros equipamentos elétricos para detectar problemas em desenvolvimento.

Para o autor acima, a definição mais comum para a manutenção preditiva é a inspeção ou o monitoramento regular da condição mecânica real. O rendimento operacional, e outros indicadores da condição de operação das máquinas e sistemas de processo, fornecerão os dados necessários para assegurar o intervalo máximo entre as manutenções programadas. Ela também pode minimizar o número e os custos de paradas não programadas criadas por falhas da máquina.

Para Viana (2009), a Manutenção preditiva corresponde a tarefas de manutenção preventivas que visam acompanhar a máquina ou as peças, por monitoramento, por medições ou por controle estatístico e tentam prever a proximidade da ocorrência da falha. O objetivo de tal tipo de manutenção é determinar o tempo correto da necessidade da intervenção mantenedora, com isto, evitam-se desmontagens para inspeção e utiliza-se o componente até o máximo de sua vida útil.

Ainda segundo o mesmo autor, existem quatro técnicas preditivas bastante usadas nas indústrias nacionais que optaram por um programa desta envergadura, são elas: Ensaio por ultrassom; Análise de vibrações mecânicas; Análise de óleo lubrificante e Termografia.

O ensaio por ultrassom caracteriza-se num método não destrutivo que tem por objetivo a detecção de defeitos ou discontinuidades internas, presentes nos mais variados tipos ou formas de materiais ferrosos ou não ferrosos. Tais defeitos são caracterizados pelo próprio processo de fabricação de peça ou componente a ser examinado como, por exemplo: bolhas de gás em fundidos, dupla laminação em laminados, micro trincas em forjados, escoria em uniões soldadas e muitos outros.

Hoje, na indústria moderna o exame ultra-sônico constitui uma ferramenta indispensável para a garantia de qualidade/funcionalidade, através do monitoramento de peças de grandes espessuras, geometria complexa de juntas soldadas e chapas. (VIANA, 2009, p.12).

Como afirma Viana (2009), como toda técnica, o ultrassom tem suas vantagens e desvantagens. Sua gradual vantagem está no fato de o método possuir alta sensibilidade na detectabilidade de pequenas discontinuidades internas. Para interpretação das indicações, dispensa processos intermediários, agilizando, assim, a inspeção.

Suas desvantagens são basicamente: requer grande conhecimento teórico e experiência por parte do inspetor, o registro permanente do teste não é facilmente obtido, faixas de espessuras muito finas constituem uma dificuldade para a aplicação do método e, por último, requer o preparo da superfície para sua aplicação.

Segundo Viana (2009), a vibração mecânica é uma oscilação em torno de uma posição

de referência. Consiste em um fenômeno cotidiano, e nós a encontramos em nossas casas, durante as viagens e no trabalho. Ela se constitui freqüentemente em um processo destrutivo, ocasionando falhas nos elementos de máquinas por fadiga, ou seja, diminuição da resistência de um material por efeito de solicitações repetidas.

De acordo Nepomuceno (1989), o movimento vibratório de uma máquina é o resultado das forças dinâmicas que a excitam. Essa vibração se propaga por todas as partes da máquina, bem como para as estruturas interligadas a ela. Geralmente um equipamento vibra em várias frequências e amplitudes correspondentes. Os efeitos de uma vibração são o desgaste e a fadiga, que certamente são responsáveis por quebras definitivas do maquinário.

Conforme Nepomuceno (1989), colocando-se acelerômetros em pontos pré-determinados do equipamento, aqueles captarão as vibrações recebidas por este. A análise destas vibrações, observando a evolução do seu nível no tempo, fornecerá uma série de dados, orientando sobre o estado funcional de um determinado componente.

De acordo com Viana (2009, p. 14), "termografia é a técnica de ensaio não destrutivo que permite o sensoriamento remoto de pontos ou superfícies aquecidas por meio da radiação infravermelha". Em qualquer programa de manutenção preditiva, a termografia se apresenta como técnica de grande utilidade, uma vez que permite a realização de medições sem contato físico com a instalação (segurança), a verificação de equipamentos em pleno funcionamento (não interferindo na produção), e proporciona inspeções de grandes superfícies em pouco tempo (alto rendimento).

Segundo Viana (2009), as principais aplicações da termografia na indústria incluem as instalações elétricas, em que é importante a localização de componentes defeituosos sem contato físico, e as áreas siderúrgicas e petroquímicas, nas quais é grande o número de processos envolvendo vastas quantidades de calor. Nesses locais, problemas operacionais podem ser relacionados diretamente com as distribuições externas de temperatura nos equipamentos.

Para se entender a metodologia aplicada nas termografias de acordo com o Relatório de Termovisão Sistemas Elétricos de uma fábrica de Cal da região Centro-Oeste-MG 10/02/2011, é preciso antes entender em que fator de Criticidade (FC) é baseado na seguinte fórmula: condição operacional do sistema inspecionado é definida $FC = AC / MAA$, onde:

- AQUECIMENTO CORRIGIDO (AC): Temp. Máx. Medida, vezes o Fator de Correção de Carga, menos a Temp. Ambiente.
- MÁX. TEMPERATURA ADMISSÍVEL (MTA): Temp. Máx. Admissível para o componente.
- MÁX. AQUECIMENTO ADMISSÍVEL (MAA): Temp. Máx. Admissível para o componente, menos a Temp. Ambiente. Temp. Máx. Admissível para o componente,

menos a Temp. Ambiente.

Estes termos acima foram retirados do Relatório de Termovisão Sistemas Elétricos de uma fábrica de Cal da região Centro-Oeste-MG 10/02/2011.

Analisando o relatório do equipamento F9-EX03 (FIG. 7), verifica-se uma necessidade de intervenção imediata no equipamento.

Ainda de acordo com Viana (2009), a análise de óleo lubrificante tem dois objetivos: determinar o momento exato da troca do lubrificante e identificar sintomas de desgaste de um componente. Isto é possível devido ao monitoramento quantitativo de partículas sólidas presentes no fluido, aliando análise de suas características físicas e químicas. São elas:

- Nível de contaminação de água;
- Quantidade de resíduos de carbono;
- Viscosidade do óleo;
- Acidez;
- Ponto de congelamento;
- Ponto de fulgor.

Segundo Siqueira (2005), por definição, uma inspeção preditiva é qualquer inspeção programada com a finalidade de detectar uma condição de falha potencial. Se nesta inspeção for constatada uma condição de falha potencial, então uma ação corretiva é tomada ou programada. Caso contrário, o item permanece em operação, sem atividade Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC), como outra atividade. Recomenda-se que esta distinção seja considerada também na classificação das ordens de serviço da manutenção, para garantir o acompanhamento correto da incidência de defeitos e outras estatísticas.

Conforme Siqueira (2005), a característica típica da inspeção preditiva relaciona-se a medição de um parâmetro correlacionado a falha. O termo medição deve ser usado no sentido amplo, significando a aferição física do parâmetro quanto à observação, ou mesmo cálculo, baseado em outros dados do processo. O parâmetro deve ser capaz de diagnosticar o sintoma do modo de falha, servindo também para acompanhamento da sua evolução. Em geral, estas inspeções são realizadas com o item em operação, ou seja, não disponibilizam o equipamento para a operação durante sua execução.

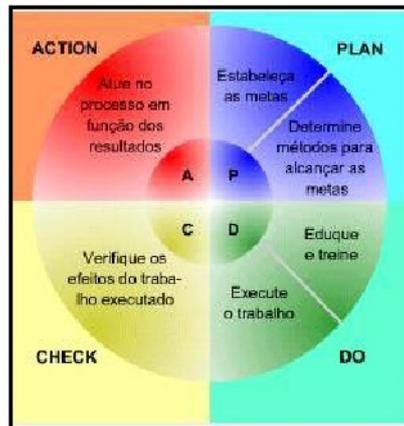
Um fator essencial para a implantação da inspeção preditiva é o estabelecimento de limites para o parâmetro medido, além dos quais se devem realizar ou programar a intervenção corretiva.

Para Siqueira (2005) a escolha do indicador é a decisão mais importante em um projeto de inspeção preditiva. Esta decisão afetará não só o custo e viabilidade da tarefa, mas também os limites estabelecidos para o acionamento de atividades corretivas.

3.3 Ciclo (PDCA)

Segundo Campos (1997), o ciclo de controle PDCA é composto de quatro fases básicas, que são responsáveis pelo nome PDCA (FIG. 1).

FIGURA 1 - Ciclo de controle PDCA



Fonte: CAMPOS, 1997.

Plan: de Planejar ou planejamento. Nesta fase estabelecem-se metas, estabelece-se o caminho (método) para se atingir a meta estipulada.

Do: Executar. Executa as tarefas exatamente como foi prevista ou planejada na etapa anterior.

Check: Checar. Nesta etapa, avalia-se a partir da execução e verifica-se sua eficácia. Compara-se o resultado alcançado com a meta planejada.

Action: Ação. Esta é a etapa onde se detecta os desvios do planejado para o alcançado e onde atuará no sentido de fazer as correções definitivas, de modo que o problema nunca volte a ocorrer.

Segundo Campos (1997), ocorre muitas vezes de ter que se rodar o PDCA várias vezes até conseguir sanar o problema definitivamente. A manutenção preditiva tem como objetivo identificar um possível problema antes que ele ocorra, ou até mesmo acompanhar um problema existente e sua evolução sem interferir na produção, dizendo o momento ideal para intervenção.

A manutenção preditiva é imprescindível em todas as etapas do ciclo PDCA, pois ela define o planejamento, a hora de executar, checar a eficiência da intervenção e a ação a ser tomada como medida definitiva da solução de um determinado problema.

3.4 A importância dos equipamentos e suas disponibilidades

Segundo Mirshawka e Olmedo (1993), os objetivos da manutenção moderna são:

- Maximizar a disponibilidade da produção com o menor custo e a mais alta qualidade do serviço sem infringir normas de segurança e causar danos ao meio ambiente;
- Estabelecer logística adequada para a aquisição de peças e serviços;
- Manter registros de manutenção por equipamentos. A ordem de serviço ou de manutenção é o documento base e o histórico é fundamental;
- Continuamente identificar e recomendar reduções de custo, tais como: racionalização de uso da energia, eliminação de custos da não eficácia, modernização dos equipamentos, diminuição de custos próprios, etc;
- Conhecer a matriz de custos da manutenção bem como custos da empresa, principalmente custos da produção parada.

3.4.1 Diferença entre eficiência e eficácia

Segundo Mirshawka e Olmedo (1993), eficiência está diretamente ligada a fazer corretamente as coisas através de:

- Solução de problemas;
- Economia de recurso;
- Cumprimento com as obrigações;
- Diminuição dos custos;
- Caracterização como ganhador.

Ainda de acordo com os mesmos autores, eficácia seria fazer as coisas corretas, o que significa manter uma postura voltada para:

- Antecipação aos problemas;
- Otimização da utilização dos recursos;
- Obtenção de resultados;
- Aumento de lucros.

3.5 Conceito de manutenabilidade e manutenção

Para Mirshawka e Olmedo (1993), manutenabilidade é uma característica do projeto de equipamento e instalação que pode ser expressa em termos de facilidade de economia de manutenção, disponibilidade do equipamento, segurança e precisão na execução de ações de

manutenção. A manutenibilidade, resumidamente, pode ser definida como a facilidade com que o equipamento dá para a execução da manutenção.

Para os mesmos autores, manutenção pode ser definida como um conjunto de atividade e recursos aplicados aos sistemas ou equipamentos, visando garantir a disponibilidade, a qualidade do produto final e atingir a vida útil adequada dos equipamentos.

De acordo com Mirshawka e Olmedo (1993), uma manutenção bem executada é fundamental para que possamos maximar ou estender esta vida útil, pois o grande desafio da manutenção é evitar ao máximo a degradação dos equipamentos, procurando mantê-los sempre nas mesmas condições de desempenho de projeto ou de fabrica.

Porém, para isto, segundo Mirshawka e Olmedo (1993) é importante estar sempre alerta para não cometer o erro de insistir na manutenção de equipamentos ou sistemas que tenha, há muito tempo, passado de sua vida útil, o que pode acabar se tornando antieconômico.

Resumindo, a manutenibilidade e a manutenção devem observar:

- Que a capacidade de recursos e de atividades tem limite;
- Que os índices de desempenho devem ser dimensionados ou bem estimados;
- Que os índices de desempenho implicam diretamente nos índices de custo;
- Que se deve estabelecer índices adequados.

A manutenção preditiva tem o objetivo de prever falhas e evitar que estas afetem no processo, podendo proporcionar um planejamento e um controle da manutenção preventiva ou corretiva. A manutenção preditiva tem o objetivo de prever uma determinada falha que pode estar vinculada ao projeto, na seleção de materiais, na fabricação ou até mesmo na operação do equipamento.

Segundo Affonso (2006), falhas de projeto são oriundas da existência de detalhes de projeto sujeitos a problemas. Esses defeitos nascem com o desenho do equipamento. Critérios de projeto inadequado são especialmente freqüentes no caso de equipamentos que são especificados e projetados para serviços específicos, como é o caso da maioria dos equipamentos encontrados nas indústrias de processo. Esses equipamentos costumam ser fabricados sob encomenda, o que limita a possibilidade de testes em condições reais de funcionamento e aumenta a probabilidade da ocorrência de solicitações não previstas. Equipamentos projetados e fabricados para serviços comuns, ou seja, máquinas de uso geral estão menos sujeitos a esses problemas.

Para falhas na seleção de materiais, Affonso (2006) relata que embora o material para construção das peças das máquinas seja escolhido na fase de projeto, esse caso é citado separadamente da situação onde temos um defeito em função do desenho do equipamento. Falhas na seleção de materiais de construção de um equipamento são relacionadas com

incompatibilidade das propriedades do material com as necessidades do serviço. Alguns exemplos são como segue abaixo:

- Normalmente um material estrutural é especificado com base na resistência a tração.
- Se for utilizado um material de alta resistência a tração a tenacidade pode ser baixa, o que pode levar a ocorrência de trincas se isso não for considerado no projeto do equipamento.
- Critério para seleção de materiais - Para cada mecanismo de falha existem critérios para seleção do ótimo material. Quando mais de um mecanismo de falha está presente um compromisso pode ser necessário.
- Solicitação não prevista pode levar um componente a sofrer falha. Exemplo: As falhas causadas por uma seleção inadequada de materiais de construção são aquelas evitáveis pela simples modificação do material da peça.

Para Affonso (2006), muitas falhas têm início em imperfeições do material. Defeitos internos e externos reduzem a resistência mecânica das peças, servem como caminhos preferenciais para propagação de trincas ou proporcionam locais para início de corrosão localizada. As imperfeições no material estão intimamente ligadas a falhas de processamento durante a fabricação da matéria-prima para a construção dos componentes.

O projeto das peças deve considerar a possibilidade da ocorrência dos problemas característicos de cada processo de fabricação, sendo o formato da peça e as inspeções de fabricação adequadas ao processo.

Conforme Affonso (2006), as deficiências de fabricação nem sempre são fáceis de diferenciar das falhas de material, como descrito anteriormente. A sua distinção pode ser importante para definir a ação corretiva adequada. Outro fator que proporciona falhas detectadas com a manutenção preditiva são erros de montagem ou instalação, muitas vezes ligados a erros humanos.

Encontramos esse tipo de problema em qualquer tipo de peça, sendo clássicos os exemplos relacionados à montagem de rolamentos (impactos, sujeira), no ajuste de folgas de peças móveis, em parafusos frouxos, mancais e eixos montados desalinhados, tubulações que exercem esforços excessivos nos bocais do equipamento, etc.

3.5.1 Falhas

Segundo Siqueira (2005), prevenir e corrigir falhas constitui os objetivos primários da manutenção. Para isto é necessário conhecer as formas como os sistemas falham. De uma maneira geral, uma falha consiste na interrupção da capacidade de um determinado equipamento desempenhar sua função esperada. Ainda segundo o referido autor, as falhas podem ser classificadas sob vários aspectos, tais como origem, extensão, velocidade,

manifestação, criticidade ou idade.

- Quanto à origem: falhas podem ter origem primária, quando decorrem de uma deficiência do próprio equipamento ou componente deste equipamento. Podem ainda ocorrer dentro dos limites normais de operação, ou fora dos limites normais, como sobrecargas, entupimentos, descargas atmosféricas. Podem ainda ocorrer por falhas errôneas do operador ou uso inadequado pelo usuário.
- Quanto à extensão: as falhas podem ser de extensão parcial, quando resultam do desvio de alguma característica funcional do item, além dos limites especificados, nas perdas totais de sua funcionalidade.
- Quanto à velocidade: falhas podem ser classificadas de acordo com a velocidade com que ocorrem. Serão falhas graduais, quando estas podem ser previstas ou percebidas por uma inspeção.
- Quanto à manifestação: este tipo de falha ocorre de acordo com a degradação, podendo ocorrer de forma gradual ou parcial. Existem ainda, falhas intermitentes, que vem e somem sem nenhuma intervenção.
- quanto à idade: falhas influem na vida útil do equipamento. de prematuras, quando ocorrem durante o período inicial da vida do equipamento, geralmente por motivo de defeito de fabricação. Podem ser ainda aleatórias, sem muita previsão, ou progressiva, à medida que o equipamento envelhece.
- Quanto ao projeto: falhas podem ser originadas ainda no projeto onde não se tem um envolvimento entre o projetista e o operacional, causando erros que só depois de em operação, serão detectados e identificados.

3.5.2 Causas de Falhas

Para Siqueira (2005), é importante distinguir o modo de falha e a causa da falha. O modo descreve o que está errado. Para a causa, é o porquê está ocasionando a falha. Esta distinção é de suma importância para a correção da falha. A função da manutenção é combater o modo da falha (sempre que ela ocorra) e assim combatê-la de uma vez por todas. Cabe à manutenção identificar as modificações necessárias para eliminar de vez a causa da falha.

Portanto, é importante identificar o que está causando e o porquê está causando para a eliminação definitiva da falha.

Dentre os modos de falhas mais comuns destaca-se o modo de falha humana. Este, segundo Siqueira (2005), é um dos modos mais difíceis de serem classificados, para isto é preciso classificá-los de acordo com atenção, esquecimento, conhecimento e intenção.

- Distração: falta de atenção, onde o que era previsto não é executado.
- Lapso: falha por esquecimento de executar o que estava planejado.
- Engano: Falha por falta de conhecimento, ou erro de interpretação do que lhe foi passado.
- Violação: quebra das regras, práticas, procedimentos e normas estabelecidas.
- Existem ainda quatro mecanismos que usualmente identificados em componentes industriais:
- Desgaste progressivo: ocorre uma diminuição gradativa da capacidade funcional ao longo de sua vida útil.
- Falha intempestiva: quando ocorre perda brusca ou total da capacidade funcional.
- Falha por fadiga: ocorre quando há uma diminuição gradativa do número de ciclos necessários para falha.

Como afirma Affonso (2006), a operação do equipamento em condições severas de velocidade, carga, temperatura e ataque químico, ou sem monitoração, inspeção e manutenção, contribui grandemente para falhas em serviços. Tem especial importância a operação de equipamentos rotativos em condições diferentes daquelas para as quais ele foi projetado. Essa ocorrência é bastante comum na indústria de processo e é causa de uma significativa parcela das falhas de máquinas. Segue abaixo os principais motivos das falhas de máquinas numa indústria:

- Partida do equipamento é especialmente crítica, pois, nesta situação, ele é submetido a condições não existentes durante a operação normal, incluindo mudanças rápidas de condições de operação, grandes gradientes de temperatura e outras condições anormais.
- Parada de um equipamento também é um evento crítico, pois ele fica exposto às mudanças citadas acima e está sujeito às condições de preservação durante o período de inatividade. Deve ser considerado se o projeto do equipamento e do sistema permite uma conservação adequada em períodos de inatividade.
- Manutenção inadequada é uma grande causa de falhas de equipamentos. Os procedimentos de manutenção devem ser revistos sempre que houver uma falha, para avaliar a contribuição deste item.

Erros de operação podem acontecer, seja pela inexistência/inadequação de procedimentos, falta de treinamento ou por negligência. Assim, é necessária constante avaliação dos procedimentos de operação.

De acordo com Affonso (2006), a análise de falha de equipamento deve consistir em percorrer a história do equipamento ou componente no sentido inverso até atingir um ponto onde será possível implementar ações preventivas que evitarão a sua repetição. Essa busca do ponto ideal às vezes é dificultada pela impossibilidade de ação nas causas básicas, por elas estarem fora do alcance do analista.

As causas das falhas estão diretamente ligadas aos relatórios de inspeção preditiva que além de prever esta falha, buscam uma solução para o problema detectado. Por isso a importância da análise de falhas em um equipamento de um processo industrial.

Conforme Siqueira (2005), para a aplicação da inspeção preditiva a um modo de falha, algumas questões devem ser respondidas antes da sua implantação:

- Que característica de degradação será usada como um indicador da resistência ou evolução da falha do item?
- Qual a definição do limite da falha funcional?
- Qual a definição do limite da falha potencial?
- Qual o intervalo entre falhas potenciais e falha funcional e quão consistente e estável ele é?
- É possível desenvolver a tarefa (monitorar) com um intervalo tecnicamente viável?
- Estas questões servem para confirmar os quatro critérios seguintes, exigidos para aplicabilidade da inspeção preditiva em um item:
- Existe algum parâmetro correlacionado com a evolução da falha?
- É possível definir um valor limite deste parâmetro que identifique a falha potencial?
- Existe técnica de medição deste parâmetro sem necessidade de falha?
- O intervalo entre a falha potencial e a falha funcional é suficiente para uma ação de prevenção?

3.5.3 Eficácia da manutenção

Segundo Mirshawka e Olmedo (1993), a disponibilidade de um equipamento ou de uma máquina, ou determinado setor de operação, pode definir a aptidão destes para estar no estado que permita cumprir uma função exigida nas condições estabelecidas, durante certo momento, durante um intervalo de tempo dado, supondo que o fornecimento dos meios externos esteja assegurado.

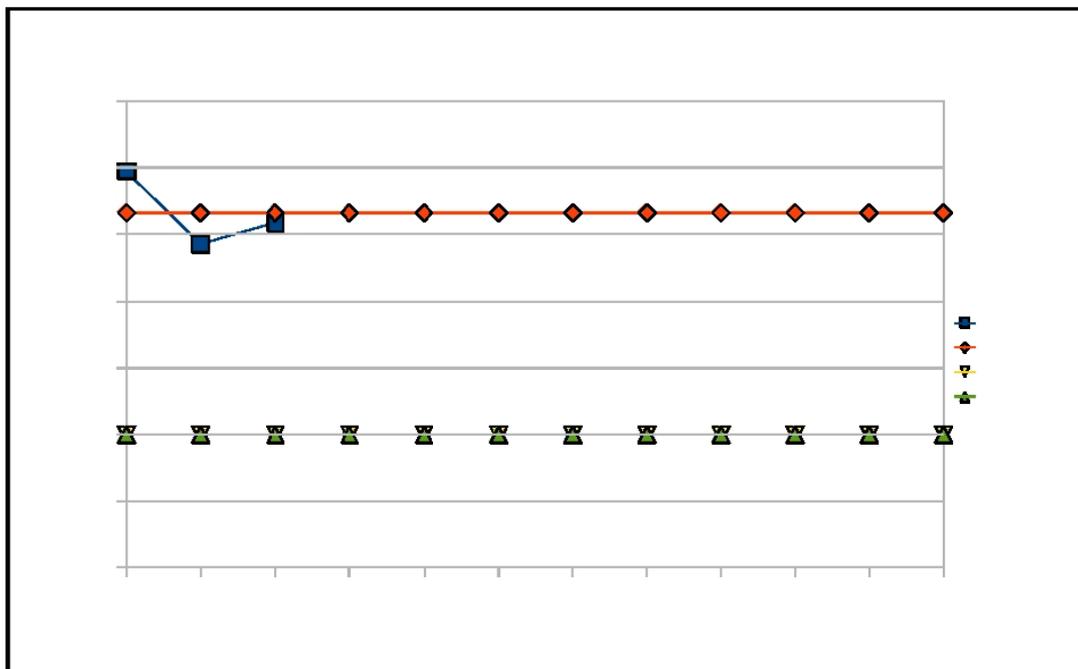
A disponibilidade é medida por meio de um quociente como Tempo efetivo de disponibilidade/Tempo requerido ou ainda Tempo de funcionamento/tempo de funcionamento + tempo próprio de indisponibilidade.

O Tempo de funcionamento caracteriza-se como a parte efetiva de disponibilidade durante o qual a entidade está desempenhando a função requerida. Já o Tempo requerido, diz de um período pelo qual o usuário da entidade exige que a mesma esteja em condições de cumprir a função requisitada. O Tempo efetivo de disponibilidade é a parte do tempo exigido durante o qual está efetivamente apta a desempenhar. Tempo próprio de indisponibilidade trata-se da parte do tempo durante o qual ocorre efetivamente a indisponibilidade, quando não oferece condições de cumprir a exigida função devido à causa inerente ao sistema em questão

Segue abaixo, um exemplo de controle de Disponibilidade Elétrica de um determinado setor de uma indústria de cal na cidade de Pains-MG (FIG. 2). Neste caso a meta a ser atingida é 95%, considerando o mês de março que tem 30 dias, teremos 720 horas, então 95% destes dias, corresponde a 684 horas, ou seja, se caso a elétrica conforme o exemplo ter 36 horas de parada, a planta terá uma disponibilidade de 96%. Para se calcular a disponibilidade do setor, basta pegar 720 horas - horas paradas por motivo elétrico/720 horas e multiplicar por 100 para se ter o valor.

A manutenção preditiva auxilia a evitar essas horas paradas por motivos não planejados e esperados. A disponibilidade é o fator que mede a eficiência da manutenção no processo produtivo.

FIGURA 2 - Controle de manutenção 2011 - Disponibilidade Elétrica Moagem A3



Fonte: Plano de Manutenção da Fábrica de Cal na Região Centro-Oeste - MG

3.5.4 Planos de manutenção

Segundo Viana (2009), os planos de manutenção são o conjunto de informações necessárias para orientação perfeita da manutenção preventiva, que podem ser baseadas na experiência dos mantenedores e nos manuais dos próprios equipamentos. Os mesmos representam na prática, o detalhamento da estratégia de manutenção assumida por uma empresa. A sua disposição no tempo e no espaço, e a qualidade de suas instruções, determinam o tratamento dado pelo organismo mantenedor para com sua ação preventiva.

De acordo com o mesmo autor, a primeira categoria de planos de manutenção é a mais básica, mas não menos importante: as inspeções visuais rotineiras dos equipamentos e o relatório de anomalias. Através deste tipo de exame simples, podemos detectar através dos cinco sentidos do mantenedor, falhas em equipamentos de fácil resolução no estágio de gravidade em que se encontra.

Para Viana (2009), na prática, a inspeção consiste na observação de certas características dos equipamentos, tais como ruídos, temperatura, condições de conservação, vibração, etc. Esta observação deve ser periódica (prevista no plano de manutenção), e a sua eficiência consiste nesta constância na observação, pois tal como um médico de família atua diante de uma mudança mínima de uma característica de seu paciente, a qual na última visita não existia, a manutenção também fará ante seus equipamentos visitados.

Assim, o autor citado acima ressalta que as inspeções visuais devem, como já foi dito, acompanhar aspetos do funcionamento dos equipamentos, com uma periodicidade padronizada, desta forma detectando alguma mudança de pequena proporção. Para uma melhor eficiência deste acompanhamento, necessitamos de uma ferramenta bastante simples, que é a rota de inspeção. A rota de inspeção (prevista no plano de manutenção) consiste em um mapeamento de uma seção, dividindo-os respeitando a sua natureza elétrica ou mecânica, e distribuindo-os de forma a garantir sua inspeção pela área, sem ultrapassar um tempo máximo de rotina de uma hora e meia, verificando aspetos relevantes do maquinário, tendo como ferramenta os cinco sentidos do operador.

De acordo com Viana (2009), a periodicidade recomendada para tais rotas é de um mês, conforme FIG. 3, que mostra o exemplo de uma inspeção. Poderíamos amarrar a horas operadas do equipamento, mas como estamos falando de vários equipamentos, sendo visitados em uma mesma oportunidade, torna-se mais viável amarrar tal periodicidade em faixa de tempo, e não de utilização, visto que em uma mesma rota podemos ter equipamentos

sendo utilizados durante 24 horas por dia, e outros não.

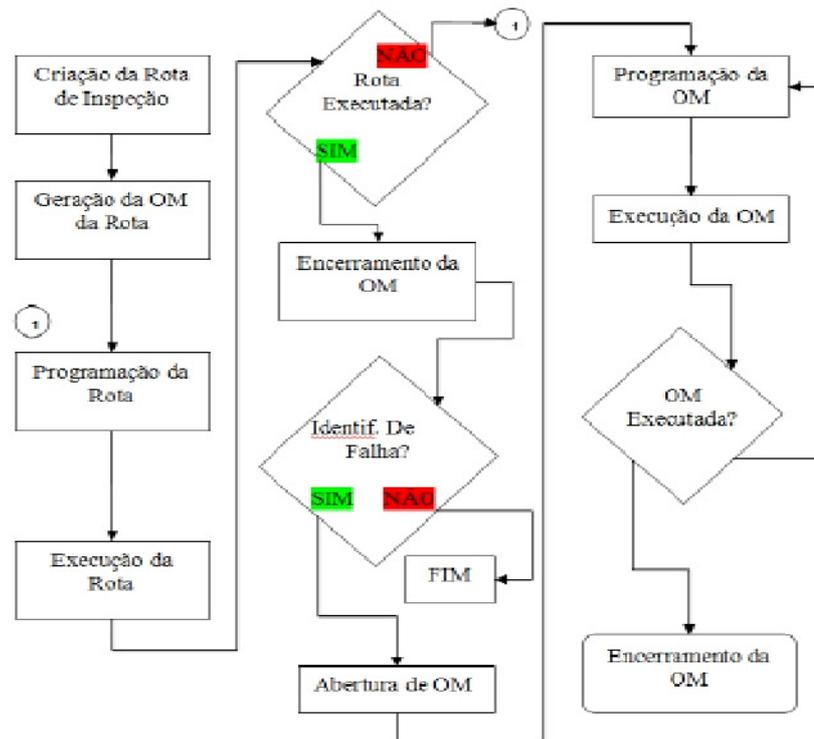
Figura 3 - Relatório de inspeção mecânica área moinho estocagem

EQUIPAMENTO	S1T001	S1T002	S1T003	S1T004	S1T005	S1T006
VAZAMENTO NO REDUTOR						
DESALINHAMENTO						
EMENDA						
MANTA						
TEMPERATURA REDUTOR						
RUIDO						
SUJEIRA						
MANCAIS DO TRIPER						
ESTADO CONSERVAÇÃO DA MANTA						
NÍVEL DE ÓLEO DO REDUTOR						
ROLETES						
ROLO DE CARGA						

Fonte: Viana, 2002.

Para Viana (2009), a rota de inspeção poderá ser executada por operadores e mantenedores, sendo que o planejador deverá também executar algumas, no sentido de correção e verificação de procedimentos adotados pelos executantes pertinentes na rota, bem como para não perder o contato com os equipamentos de sua responsabilidade. Segue abaixo um exemplo de um fluxograma da OM (ordem de manutenção) (FIG. 4).

Figura 4 - Fluxograma da Ordem de Manutenção



Fonte: Viana, 2009 .

Para Viana (2009), os planos preditivos não podem diferir quanto à forma dos planos preventivos, pois os mesmos requisitos estabelecidos nestes serão levados a cabo naqueles. A diferença será no conteúdo, já que, enquanto um estabelece ações de intervenção real nos equipamentos, o outro tem a proposta de monitorar a maquinaria, de forma a acompanhar os seus sintomas avaliando-os na busca de possíveis anormalidades.

O conteúdo das tarefas do plano será basicamente os procedimentos adotados por cada técnica preditiva, no acompanhamento de um equipamento, com uma ou outra nuance entre as várias máquinas presentes na planta.

3.5.5 Ensaio Cromatográfico

De acordo com a apostila da Fluilab de treinamento (2007): Análises Preditivas em Óleo Isolante/Características e Manutenção em/Transformadores Refrigerados a Óleo/Ferramentas para o Monitoramento da Vida Útil de Transformadores, durante a operação de um equipamento elétrico, e em função dos esforços térmicos e elétricos a que são submetidos, o óleo e outros materiais dielétricos sofrem processos de decomposição química, que resultam na formação de gases que se dissolvem total ou parcialmente no óleo dependendo do volume e da velocidade com que são gerados.

Os principais gases formados são: Hidrogênio, Monóxido de Carbono, Dióxido de Carbono, Metano, Etileno, Etano e Acetileno. De acordo com a apostila Fluilab de treinamento (2007), a análise cromatográfica torna possível o monitoramento desses gases, permitindo detectar defeitos ainda incipientes e acompanhar seu desenvolvimento.

Quando um equipamento apresenta um defeito incipiente, normalmente, a produção de gás é lenta e em pequeno volume. Por esta razão, ele não é detectado pelos equipamentos de proteção usuais, como o relé BUCHHOLZ.

No entanto, de acordo com a apostila da Fluilab de treinamento (2007), este defeito poderá ser a origem de uma falha grave e a análise cromatográfica dos gases dissolvidos no óleo é sensível para detectá-lo.

Alguns exemplos típicos de defeitos incipientes são:

- Sobreaquecimento local (pontos quentes) de condutores ou de seção do núcleo;
- Pequenas descargas em bolhas de ar (corona), no interior do isolamento sólido ou do óleo isolante;
- Arco no óleo e/ou no isolamento celulósico.

Portanto, de acordo com a apostila da Fluilab de treinamento (2007), a avaliação da quantidade e perfil da composição da mistura gasosa dissolvida no óleo permite a identificação da natureza e gravidade do problema.

A análise cromatográfica requer somente uma amostra de 20 ou 50 ml do óleo isolante em seringa de vidro, sendo desnecessário o desligamento do equipamento para coleta ou o transporte de aparelhagem para o local.

A técnica de análise consta de três fases distintas: coleta da amostra de óleo em seringa, extração dos gases dissolvidos e análise cromatográfica da mistura gasosa. Outra vantagem apresentada por este ensaio é de ordem econômica por evitar despesas com grandes reparos ou com a perda total do equipamento.

Para a Fluilab de treinamento (2007), ao comparar a evolução dos gases dissolvidos no óleo isolante através dos resultados obtidos pela análise cromatográfica é correlacioná-los com critérios preestabelecidos; - Rogers (TAB. 4), Dornenberg (TAB. 3), sendo possível identificar a falha incipiente que está se desenvolvendo, bem como sua gravidade, antes que danos maiores possam ocorrer ao equipamento.

O laboratório químico, Fluilab, processa a análise quantitativa em nove gases: Hidrogênio (H₂), Metano (CH₄), Etano (C₂H₆), Acetileno (C₂H₂), Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Carbono (CO₂), Oxigênio (O₂) e Nitrogênio (N₂). Sendo os seis primeiros gases combustíveis e o somatório de suas concentrações designado "Total de Gases Combustíveis".

Tabela 1 - Critério de identificação de falha de Doernenburg

Relação entre Concentração de gases	Principais gases		Relações auxiliares	
	CH ₄ /H ₂	C ₂ H ₂ /C ₂ H ₄	C ₂ H ₆ /C ₂ H ₂	C ₂ H ₂ /CH ₄
tipo de falha				
ponto quente	>1	<0.7	>0.4	<0.3
descarga parcial	<0.1	Não Significativo	>0.4	<0.3
outros tipos de descarga	<1 e >0.1	>0.7 <0.4	>0.3	

Fonte: Apostila da Fluilab modificada pelo autor

Tabela 2 - Critério de identificação de falha de Doernenburg

Relação entre concentração de gases	C ₂ H ₂ /C ₂ H ₄	CH ₄ /H ₂	C ₂ H ₄ /C ₂ H ₆
Condições normais	<0.1	>0.1 e <1.0	<1.0

Fonte- apostila da Fluilab modificado pelo autor

4 METODOLOGIA

Segundo Gil (1996), pesquisa científica é um conjunto de procedimentos sistemáticos, baseados no raciocínio lógico, que tem por objetivo encontrar soluções para os problemas propostos mediante o emprego de métodos científicos.

Para se definir o tipo de pesquisa, conforme afirma Silva (2006), deve ser feita desde a elaboração do problema, hipóteses levantadas até a delimitação do tema. Neste caso utilizando mais de um método e mais de uma técnica para a realização do projeto, a metodologia relaciona-se com os objetivos e a finalidade do mesmo. Deve descrever os passos dados para alcançar os objetivos.

De acordo com o autor, para se definir a metodologia de pesquisa, fazem-se necessários as seguintes indagações: como, com o que ou com quem, onde? Podendo-se assim traçar os objetivos e a finalidade do trabalho.

4.1 Tipos de Pesquisa

De acordo com a abordagem do problema, as pesquisas poderão ser classificadas em dois tipos, como cita Silva e Menezes (2001):

- Pesquisa quantitativa: os autores consideram como pesquisa quantitativa tudo aquilo que se podem traduzir em números, utilizando métodos estatísticos, as opiniões e informações obtidas através de pesquisa de campo ou boletins de informações, a fim de facilitar a análise dos dados encontrados, e;
- Pesquisa qualitativa: pode ser considerada como qualitativa tudo aquilo onde se encontra afinidade ativa entre o modo em que vivemos (real) e o sujeito, criando um vínculo entre ambas as partes e que não pode ser mensurado ou transformado em números.

As pesquisas podem ser classificadas quanto ao seu objetivo em três grupos. A pesquisa exploratória tem como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a construir hipóteses. O planejamento de pesquisas exploratórias é bastante flexível, sendo que na maioria dos casos, assume a forma de pesquisa

bibliográfica ou estudo de caso.

Gil (1996) define a pesquisa exploratória como a que tem como principal finalidade desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e idéias, com vistas à formulação de problemas mais precisos ou hipóteses pesquisáveis para estudos posteriores.

A pesquisa descritiva tem como objetivo primordial a descrição das características de determinada população ou fenômeno, podendo também estabelecer relações entre variáveis. Assume em geral a forma de levantamento. Para Gil (1996), as pesquisas destes tipos têm como objetivo primordial a descrição das características de determinada população ou fenômeno ou o estabelecimento de relações entre variáveis.

Na pesquisa explicativa, há uma preocupação central em identificar os fatores que determinam ou que contribuem para a ocorrência dos fenômenos. Esse tipo de pesquisa é o que mais aprofunda o conhecimento da realidade, porque explica a razão, o porquê das coisas. Pode-se dizer que o conhecimento científico está assentado nos resultados oferecidos pelos estudos explicativos.

4.2 Método de Trabalho

Para a realização deste trabalho, foram utilizados os métodos de pesquisa quantitativa, descritiva, bibliográfica e análise documental, para análise de um estudo de caso.

Primeiramente foi realizada uma revisão bibliográfica sobre o tema Manutenção Industrial, abrangendo os tipos de manutenção e suas definições, para depois tratar especificamente a Manutenção Preditiva, que é o foco deste trabalho. Como a Manutenção Preditiva é uma manutenção voltada para a antecipação de falhas, correção de problemas de manutenibilidade, oportunidades de melhoria, disponibilidade, será preciso abranger cada um destes assuntos para se entender a importância da Manutenção Preditiva dentro de um plano de manutenção industrial.

Em seguida foram abordados e analisados os tipos de manutenção preditiva disponíveis a serem utilizadas, mostrando de forma específica uma revisão bibliográfica detalhada sobre as técnicas de análise de vibrações, termografia, análise de óleo e inspeções visuais.

Por fim, foram analisados os resultados obtidos com as técnicas de manutenção preditiva dentro de uma indústria e serão discutidos os dados obtidos, fazendo recomendações e considerações das vantagens do uso da Manutenção Preditiva para uma determinada empresa.

4.3 Objeto de Pesquisa

O estudo de caso foi desenvolvido em uma empresa situada na região centro-oeste do estado de Minas Gerais, do ramo de mineração, tendo como principais atividades a produção de Cal Dolomítica e Calcítica e a produção de calcário.

5 ANÁLISE E RESULTADOS

Este trabalho demonstrará a importância do uso da manutenção preditiva auxiliando a Manutenção Industrial, conseguindo evitar perdas de produção e conseqüentemente o ganho de produção e disponibilidade, tanto para o setor de manutenção, como para a indústria em si, quando se consegue antecipar os defeitos ou conviver com eles de forma racional e programada.

Com base em relatórios de inspeção interna e externa, o estudo mostra ao longo deste trabalho como a empresa se beneficiou com a utilização da manutenção preditiva, tornando-se os defeitos mais previsíveis e controlados, ao invés de trabalhar de forma corretiva, "apagando incêndios", comprometendo todo o processo produtivo, afetando todos os setores, por um defeito de equipamento, interrompendo o processo produtivo.

5.1 Coleta de Dados

5.1.1 Análise de Vibração

A primeira coleta de dados foi realizada através de análise de vibração realizada por uma empresa terceirizada, onde foram encontradas todas as informações necessárias para realização deste estudo, como os códigos de análise e as ações a serem realizadas. Para tal análise é preciso antes compreender como funciona um relatório de análise de vibração. Para isto é preciso antes analisar a TAB. 1, o GRAF.1, a legenda de recomendações (FIG. 4), para posteriormente analisar o relatório de vibração de um determinado equipamento em condições críticas de funcionamento escolhido como exemplo, conforme FIG. 5.

Na TAB. 1, de acordo com a Norma ISO 2372, foi observada a potência do motor que, para o caso da nossa análise, trata-se de um motor de 150 cv, referente ao tag F8-SD01 e a vibração admissível medida em velocidade (mm/s).

TABELA 3 - Classificação dos Equipamentos

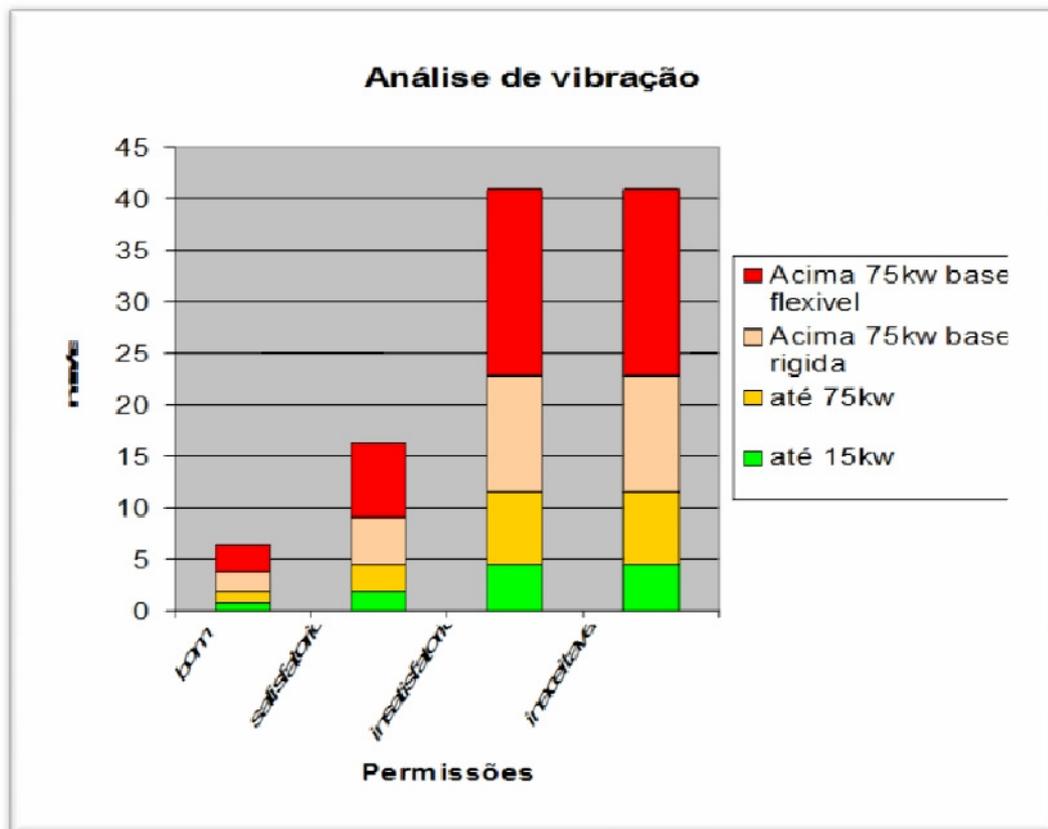
Norma ISO 2372 para Balanceamento

NÍVEL	CLASSIFICAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS			
	CLASSE I Até 15 KW (20 CV).	CLASSE II 15 A 75 KW (20 - 100 CV)	CLASSE III Acima de 75 KW base rígida	CLASSE IV Acima de 75 KW base flexível
VALOR RMS DA VELOCIDADE DE VIBRAÇÃO (mm/s).				
A - Bom	até 0,71	até 1,12	até 1,8	até 2,8
B - Satisfatório	0,71 a 1,8	1,12 a 2,8	1,8 a 4,5	2,8 a 7,1
C - Insatisfatório	1,8 a 4,5	2,8 a 7,1	4,5 a 11,2	7,1 a 18,0
D - Inaceitável	Acima de 4,5	acima de 7,1	acima de 11,2	acima de 18,0

Fonte: Norma ISO 2372 para Balanceamento

Para melhor analisar a TAB.1, temos o GRAF. 1, que ajuda entender até que nível de vibração é considerado admissível, aceitável e crítico.

Gráfico 1 - Análise de Vibração (Modificado pelo autor)



Fonte: Relatório de Medição de Vibração Fábrica de Cal na região Centro-Oeste - MG.

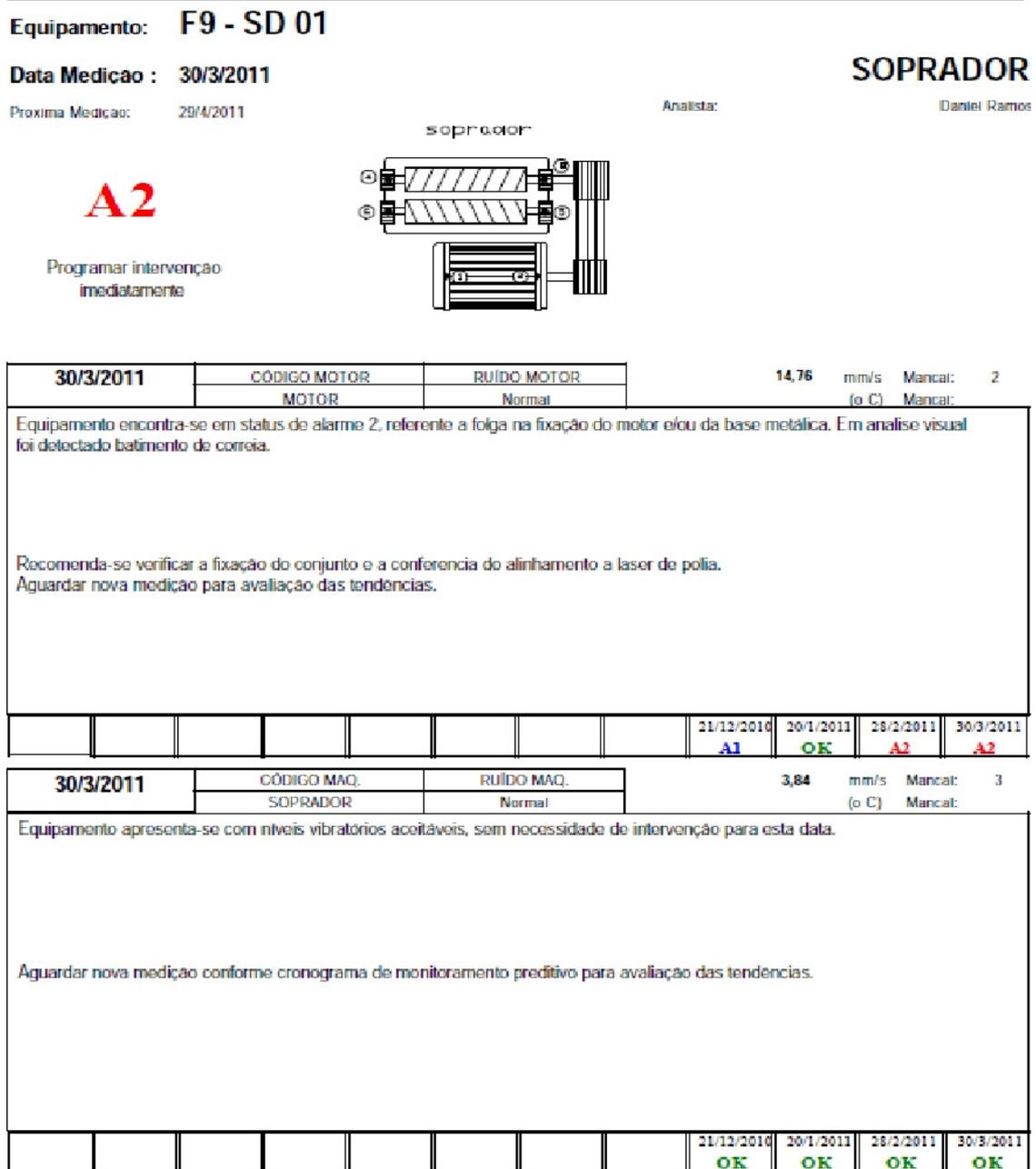
Figura 5 - Legenda da Condição da Máquina e Ações Recomendadas

LEGENDA DA CONDIÇÃO DA MÁQUINA E AÇÕES RECOMENDADAS:
OK - Equipamento em condição normal, sem necessidade de intervenção.
A1 - Equipamento em condição de operar por um período limitado de tempo, devendo ser observado o diagnóstico sobre recomendações de ações preventivas ou corretivas. A2 - Equipamento operando em condição crítica e sujeito a danos inesperados. Deve-se parar o equipamento e providenciar reparo.
FO - Equipamento Fora de Operação, não disponível para coleta de dados.

Fonte: Relatório de Medição de Vibração Fábrica de Cal na região Centro-Oeste - MG.

Analisando o relatório do equipamento F9-SD01 (FIG.6), verifica-se uma necessidade de intervenção imediata no equipamento. O mancal 2 deste equipamento atinge ao nível de 14,76mm/s, considerando ser de base flexível.

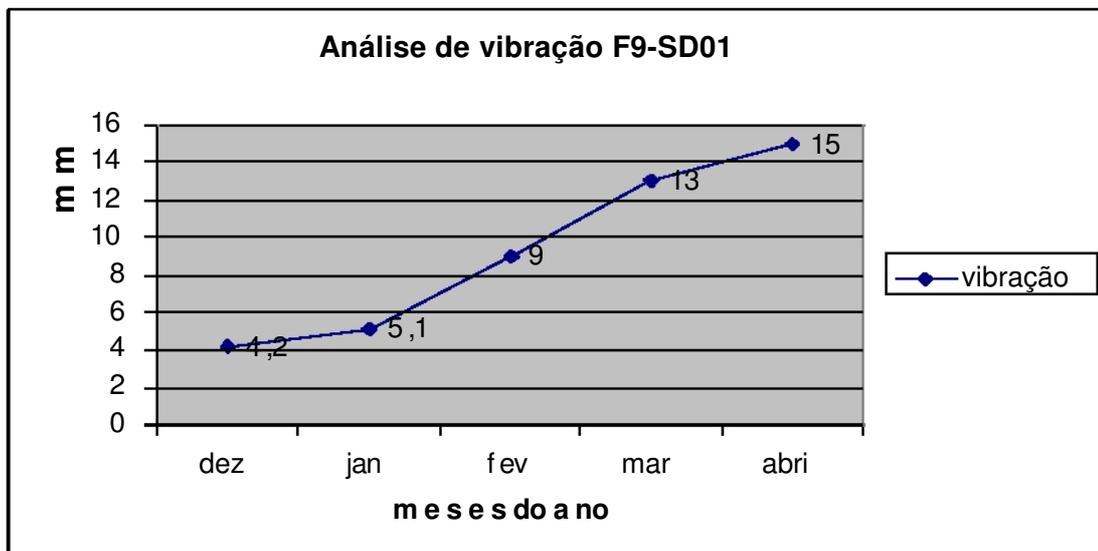
Figura 6 - Relatório do Equipamento F9-SD01



Fonte: Relatório de Medição de Vibração Fábrica de Cal na região Centro-Oeste - MG.

Analisando o GRAF. 2 nota-se que o equipamento vem em uma evolução de vibração importante e gradativa que pode chegar a níveis inadmissíveis, podendo gerar uma parada não planejada, ou seja, uma corretiva, gerando uma manutenção não previsível que significa custo alto e interfere no planejamento da manutenção.

Gráfico 2 - Relatório do Equipamento F9-SD01 (Modificado pelo autor)



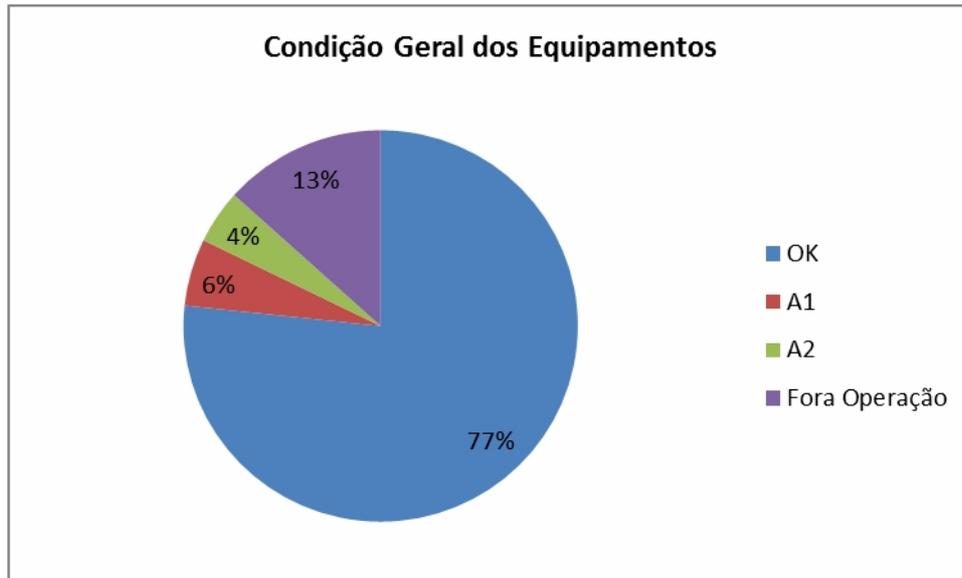
Fonte: Relatório de Medição de Vibração Fábrica de Cal na região Centro-Oeste - MG.

Neste caso, o projeto contempla o conceito de manutenibilidade, pois o processo possui equipamentos reservas que o substituem de acordo com a necessidade, não interferindo no processo produtivo. Resumindo, é possível executar uma manutenção programada neste equipamento sem interferir na disponibilidade da produção ou da manutenção, mas é importante salientar que toda manutenção para ser eficaz tem que estar devidamente programada.

O GRAF. 3 é uma condição geral dos equipamentos submetidos a esta análise de vibração, sendo um total de 55 equipamentos. Nota-se que 5 % destes equipamentos solicita-se uma intervenção e 22% apenas atenção.

Portanto, será gerada uma OM, que de acordo com o planejamento da manutenção será revisto fixação do motor, esticamento das correias de transmissão e verificar possíveis melhorias no equipamento em questão.

Gráfico 3 - Condição Geral dos Equipamentos (Modificado pelo autor)



Fonte: Relatório de Medição de Vibração Fábrica de Cal na região Centro-Oeste - MG.

5.2 Termografia

A segunda coleta de dados foi realizada através de análise de termografia realizada por uma empresa terceirizada nas instalações elétricas, especificamente. Neste relatório, foram encontradas todas as informações necessárias para a realização deste estudo, como os códigos de análise e as ações a serem realizadas.

Para tal análise é preciso, primeiramente, compreender como funciona um relatório de análise de Termografia. Antes é preciso analisar a TAB. 2, onde se aplica o Critério Flexível de Classificação de Aquecimentos - CFCA, Norma N-2475 (Petrobrás) e PN-T12 (Eletronuclear), onde se leva em consideração a temperatura ambiente, a carga a qual o equipamento é submetido e o componente elétrico em questão. Esta análise de termografia é feita somente nos acionamentos elétricos dos equipamentos que se encontram dispostos nos CCMs, QDL's, QDMT's e QDBT's desta mesma empresa.

FATOR DE CRITICIDADE	DIAGNÓSTICO
AC \leq 0,3 MAA	NORMAL/ LIGEIRAMENTE AQUECIDO
0,3 MAA < AC \leq 0,6 MAA	AQUECIDO
0,6 MAA < AC \leq 0,9 MAA	MUITO AQUECIDO
AC > 0,9 MAA	SEVERAMENTE AQUECIDO

TABELA 4 - Fator de Criticidade/Diagnóstico

Fonte: Relatório de Termovisão Sistemas Elétricos Fábrica de Cal na região Centro-Oeste - MG.

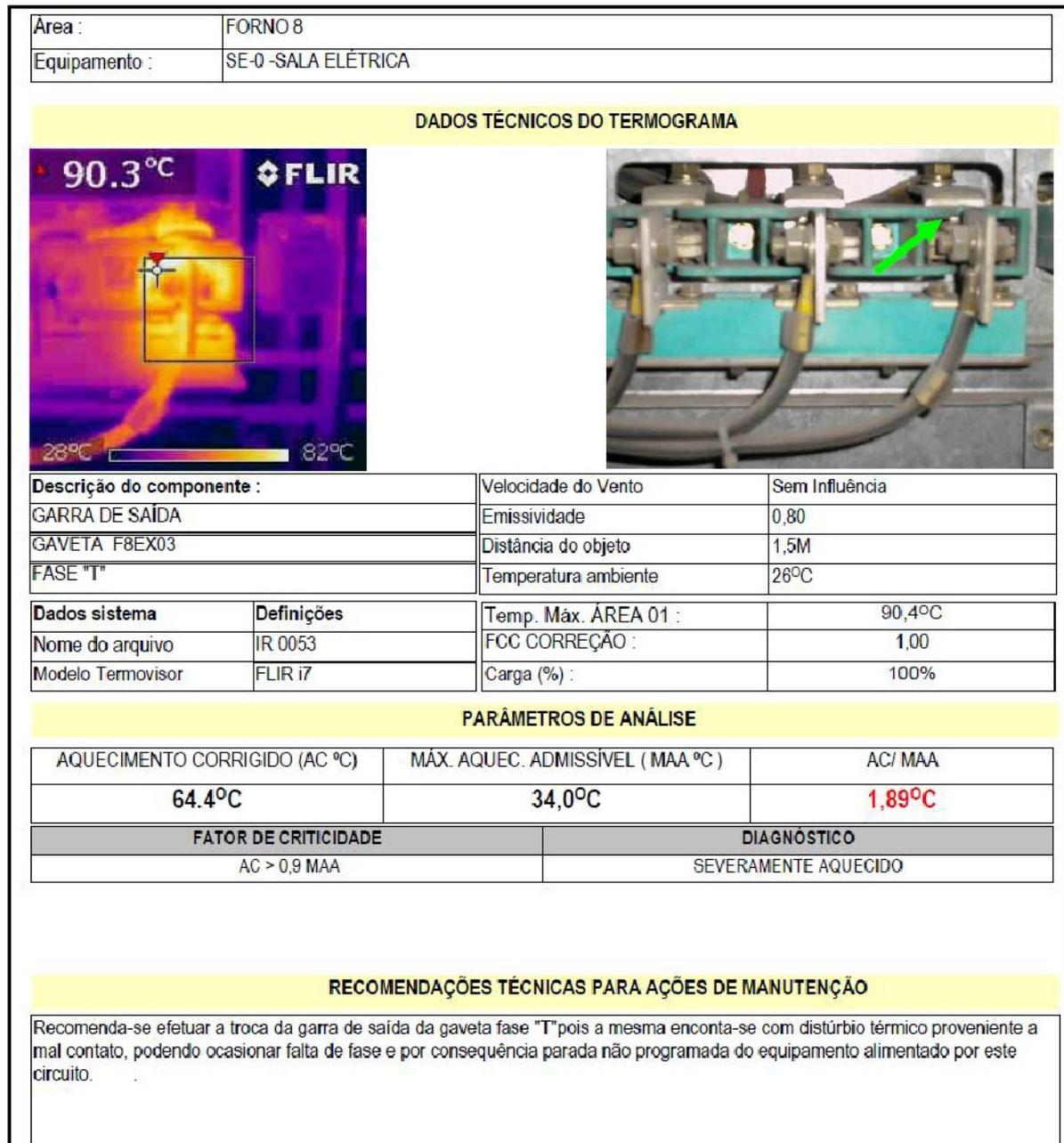


FIGURA 7 - Relatório do Equipamento F9-EX03

Fonte: www.flir.com

O ponto quente tem grau severamente aquecido conforme TAB. 2, atingindo ao FC de 1,89°C. Para entender a metodologia utilizada no relatório, conforme a FIG. 7, considerando a temperatura ambiente em 26°C, foi utilizada uma câmera especial (FLIR i7, através do site www.flir.com) de gravação infravermelha conforme FIG. 8, que é uma Câmera específica para termografia que detecta a área mais quente da imagem e através de um softer específico grava esta imagem apontando o ponto mais quente.



FIGURA 8 - Câmera para Termografia
Fonte: www.flir.com

Através desta imagem adquirida, que foi de 90,4°C foi subtraído os 26°C ambiente e obteve-se AC de 64,4°C; considerando o MAA como o Máximo Aquecimento Admissível de 34°C, o $FC=AC/MAA$ que foi de 1,89°C muito acima do máximo permitido, que é o de 0,99, conforme a TAB. 2.

De acordo com os resultados obtidos, será aberta uma OM e o equipamento será submetido a uma manutenção programada, sendo que este tipo de programação não pode ser muito postergado, pois ponto quente em sistema elétrico significa principalmente sinal de mau-contato, o que pode provocar até um incêndio dependendo das instalações. Hoje em dia custos com energia são os principais custos a serem evitados em um processo produtivo.

Sistemas elétricos não aceitam erros e como o relatório acima (FIG. 7), pode ocorrer o rompimento da fase T, conseqüentemente ficando o motor com duas fases. Em um caso específico de falta de fase o motor pode até queimar o que é um transtorno muito grande tanto para a manutenção como para a indústria.

Portanto, diante de falhas detectadas em análises de termografia têm que se tomar medidas corretivas planejadas, principalmente de forma rápida e eficaz. Por isso, como na análise de vibração, não se faz gráficos com tendências, pois as correções e as ações têm que ser rápidas.

5.3 Análise de óleo

A terceira e última coleta de dados foi realizada através de análise de óleo realizada por um laboratório terceirizado, que através de um plano de manutenção gera as OM's de coleta de óleo, onde se tem o procedimento correto da coleta de óleo para não interferir no resultado da análise.

Após a coleta, este óleo é encaminhado para o laboratório que após a análise emite um relatório (FIG. 9 e 10). Este relatório pode ser submetido a uma contraprova, que é a análise do mesmo óleo para confirmação do resultado.

No caso estudado, foi constatado um aumento significativo de alguns resultados na análise do óleo, de acordo com a TAB. 5 (Análise de resultados de Óleo). Principalmente na análise cromatográfica, de acordo com a norma NBR7070, houve um aumento significativo em todas as análises e em alguns casos aumentos enormes de acordo com a TAB. 5, sendo decisivo na tomada de direção da manutenção em parar o transformador para submetê-lo à manutenção imediata, evitando assim a sua queima e um custo muito maior e um tempo de reparo também muito maior do que o previsto.

TABELA 5 - Análise de Resultados de Óleo

Relação entre Concentração de	Análise	Condições Normais
C ₂ H ₂ /C ₂ H ₄ gases	0,47	<0.1
CH ₄ /H ₂	1,26	>0.1 e <1.0
C ₂ H ₄ /C ₂ H ₆	3,81	<1.0

Fonte- Criada pelo autor

TABELA 6 - Laudo de Ensaio em Óleo Isolante

ANÁLISE	HISTÓRICO DE RESULTADO			Taxa de	
	RESULTADO			Crescimento	
CROMATOGRÁFICA	-	24/03/5	03/09/09		
	02/10/05				
Hidrogênio (H2)	-	12	ND	-	1520
Oxigênio (O2)	-	16230	37680	-3,65	20130
Nitrogênio (N2)	-	5366	90230	-2,24	63630
Metano (CH4)	-	3	7	2140,4	2006
Monóxido de Carbono (CO)	-	9	129	10,57	308
Dióxido de Carbono (CO2)	-	1390	1424	7,85	2893
Etileno (C2H4)	-	ND	ND	-	1435
Etano (C2H6)	-	ND	ND	-	320
Acetileno (C2H2)	-	ND	ND	-	706
Total de Gases	-	71385	129470	-2,15	92948
Total de Gases Combustíveis	-	105	136	344,82	6295

Fonte: Relatório de Análise de Óleo O.S. CR. 4830/09 em 21/11/2009.

TABELA 7 - Laudo de Ensaio em Óleo

Isolante

ANÁLISE	HISTÓRICO DE RESULTADO			Taxa de	
	RESULTADO			Crescimento	
COMATOGRÁFICA				02/10/05	
Hidrogênio (H2)	1146/05	3742/08	3995/09	-14,46	1183
Oxigênio (O2)	12	ND	1520	-5,41	18460
Nitrogênio (N2)	16230	37680	20130	22,81	85880
Metano (CH4)	53660	90230	63630	-16,74	1491 Monóxido
Etileno (C2H4)	1390	1424	2893	-13,59	1136
Etano (C2H6)	ND	ND	1435	-4,48	298
Acetileno (C2H2)	ND	ND	320	-16,07	532
Total de Gases	ND	ND	706	13,41	
	112054				
Total de Gases Combustíveis	71385	129470	92948	-14,21	4923

Fonte: Relatório de Análise de Óleo O.S. CR 4830/09 em 21/11/2009.

6 CONCLUSÃO

Através deste estudo, pode-se concluir que a manutenção preditiva é uma ferramenta muito eficaz dentro de um processo produtivo, pelo fato deste tipo de manutenção predizer o momento certo de uma intervenção da manutenção, seja ela preventiva ou corretiva, podendo esta ser planejada e feita no momento mais oportuno.

Conclui-se também que, a manutenção preditiva é a manutenção mais estratégica dentro da própria manutenção. Como ela determina o momento certo da manutenção intervir, consegue-se um planejamento do setor interagindo com a produção. Na manutenção, tendo a produção como principal cliente, é imprescindível que um planejamento entre os dois setores estejam devidamente alinhados, para que uma falha inesperada não interfira na produtividade e no funcionamento excelente da planta.

Através dos estudos de caso propostos neste trabalho, pode-se dizer que os resultados obtidos como monitoramento de vibração, termografia de circuitos elétricos e a análise de óleo de um transformador, foram determinantes na tomada de ação por parte da manutenção.

Nota-se que no caso da análise de vibração, a vibração do equipamento em questão vinha numa evolução importante e chegando ao limite permitido, sendo determinante para o momento da intervenção. Já nos circuitos elétricos, onde não se permite esperar uma evolução do quadro e sim uma intervenção imediata, a termografia é uma ferramenta muito importante e muito eficaz, pode além de prever uma falha, evitar sobreaquecimentos que podem gerar prejuízos imensuráveis para toda uma instalação.

Na análise de óleo, trabalha-se também com a evolução de um possível problema, que permitiu evitar a queima de um transformador e trazer uma consequência muito grande para toda fábrica.

Prova-se através deste trabalho que, a manutenção preditiva vem alertar que somente os métodos tradicionais, que se baseiam nas recomendações dos fabricantes dos equipamentos, através de manuais ou da própria assistência técnica (característica marcante da manutenção preventiva), não condicionam os equipamentos à melhor condição. É preciso inspecioná-los periodicamente, sejam inspeções através de empresas especializadas, seja através de inspeções internas, ambas supervisionadas por um plano de manutenção.

Para finalizar pode-se afirmar que a manutenção preditiva é uma ferramenta importantíssima no conceito manutenção e que a sua existência é tão importante quanto à manutenção preventiva. Pode-se afirmar, também, que a manutenção preditiva dita os passos não só da manutenção como de todo o processo industrial, servindo como uma ferramenta importantíssima nas tomadas de decisões seja ela no momento exato de parar um equipamento para submetê-lo à manutenção ou como uma oportunidade de melhoria do equipamento, visando aumentar sua vida útil.

REFERÊNCIAS

AFFONSO, Luiz Otávio Amaral. **Equipamentos mecânicos: análise de falhas e solução de problemas**. 2.ed- Rio de Janeiro: Qualitymark, 2006. 336p.

APOSTILA DE TREINAMENTO FLUILAB, Análises Preditivas em Óleo Isolante/Características e Manutenção em/Transformadores Refrigerados a Óleo/Ferramentas para o Monitoramento da Vida Útil de Transformadores, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 5462: **Confiabilidade e manutenibilidade**. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

BRANCO, Gil Branco Filho. **A Organização, o planejamento e o controle da manutenção**. 1º ed. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2008.

Câmeras Infravermelhas FLIR i5 e FLIR i7. Disponível em: www.flir.com. Acesso em **23 abr. 2011**

CAMPOS, Vicente Falconi. **TQC: Controle de Qualidade Total**. BM: Fund. Cristiano Ottoni. Escola de Engenharia da UFMG, 1997.

GIL, Antonio Carlos. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 3ª Ed. São Paulo: Atlas, 1996.

LAFRAIA, João Ricardo Barusso. Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade. Rio de Janeiro: Qualitymark. Petrobrás, 2001.

MIRSHAWKA, Victor; OLMEDO, Napoleão Lupes. **Manutenção-Combate ao Custo da Não Eficácia- A vez do Brasil**- Editora McGraw-Hill Ltda. São Paulo 1993. 373p

NEPOMUCENO, Lauro Xavier. **Técnicas de Manutenção Preditiva**. Volume 1. 1ª Ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1989.

PINTO, A.K; XAVIER, J. de A.N. **Manutenção - Função Estratégica**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001

SILVA, Antonio Carlos Ribeiro da. **Metodologia da pesquisa aplicada à contabilidade: orientações de estudos, projetos, artigos, relatórios, monografias, dissertações, teses**. - 2.ed- São Paulo : Altas, 2006.

SILVA, Edna Lúcia da; MENEZES, Estera Muskat. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 3. ed. rev. e atual. Florianópolis: Laboratório de Ensino

à Distância da UFSC, 2001.

SIQUEIRA, Iony Patriota de. **Manutenção centrada na confiabilidade: manual de implantação.** - 2.ed.- Rio de Janeiro: Qualitymark, 2005, 408p.

SOUZA, Valdir Cardoso. **Organização e Gerência da Manutenção - Planejamento, Programação e Controle da Manutenção.** 3ª Ed, revisada. São Paulo: All Print, 2009. 285 p.

VIANA, Herbert Ricardo Garcia. **PCM: planejamento e controle de manutenção.** Rio de Janeiro: Qualitymark. Ed. 2002. 192p. : il; Obs: impresso no Brasil 2009.

XENOS, Harilaus. G. **Gerenciamento da Manutenção Produtiva.** Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento, 1998.