

1 HISTÓRICO

A partir da década de 30, a manutenção tem passado por diversas transformações; podendo ser dividida em três gerações:

1.1 A PRIMEIRA GERAÇÃO

A primeira geração abrange o período antes da Segunda Guerra Mundial, quando a indústria era pouco mecanizada, os equipamentos eram simples e, na sua grande maioria, super dimensionados.

Aliado a tudo isso, devido à conjuntura econômica da época, a questão da produtividade não era prioritária. Conseqüentemente, não era necessária uma manutenção sistematizada; apenas serviços de limpeza, lubrificação e reparo após a quebra, ou seja, a manutenção era fundamentalmente corretiva.

1.2 A SEGUNDA GERAÇÃO

Esta geração vai desde a Segunda Guerra Mundial até meados dos anos 60. As pressões do período da guerra aumentaram a demanda por todo tipo de produtos, ao mesmo tempo em que o contingente de mão-de-obra industrial diminuiu sensivelmente. Como conseqüência, neste período houve um forte aumento da mecanização, bem como da complexidade das instalações industriais.

Começa a evidenciar a necessidade de uma maior disponibilidade, bem como maior confiabilidade, tudo isso na busca da maior produtividade; a indústria estava bastante dependente do bom funcionamento das máquinas. Isto levou à idéia de que falhas dos equipamentos poderiam e deveriam ser evitadas, o que resultou no conceito de manutenção preventiva.

Na década de 60 esta manutenção consistia de intervenções nos equipamentos feitas a intervalo fixo.

O custo da manutenção também começou a se elevar muito em comparação com outros custos operacionais. Esse fato fez aumentar os *sistemas de planejamento e controle de manutenção* que, hoje, são parte integrante da manutenção moderna.

Finalmente, a quantidade de capital investido em itens físicos, juntamente com o

nítido aumento do custo deste capital, levaram as pessoas a começarem a buscar meios para aumentar a vida útil dos equipamentos.

1.3 A TERCEIRA GERAÇÃO

A partir da década de 70 acelerou-se o processo de mudança nas indústrias. A paralisação da produção, que sempre diminui a capacidade de produção aumentou os custos e afetou a qualidade dos produtos, era uma preocupação generalizada. Na manufatura, os efeitos dos períodos de paralisação foram se agravando pela tendência mundial de se utilizar sistemas “just-in-time”, onde estoques reduzidos para a produção em andamento significavam que pequenas pausas na produção/entrega naquele momento poderiam paralisar a fábrica.

O crescimento da automação e da mecanização passou a indicar que a confiabilidade e disponibilidade tornaram-se pontos-chave em setores tão distintos quanto saúde, processamento de dados, telecomunicações e gerenciamento de edificações.

Maior a automação também significa que falhas cada vez mais freqüentes afetam nossa capacidade de manter padrões de qualidade estabelecidos. Isso se aplica tanto aos padrões do serviço quanto à qualidade do produto; por exemplo, falhas em equipamentos podem afetar o controle climático em edifícios e a pontualidade das redes de transporte.

Cada vez mais, as falhas provocam sérias conseqüências na segurança e no meio ambiente, em um momento em que os padrões de exigências nessas áreas estão aumentando rapidamente. Em algumas partes do mundo, estamos chegando a um ponto em que ou as empresas satisfazem as expectativas de segurança e de preservação ambiental, ou poderão ser impedidas de funcionar. Na terceira geração reforçou-se o conceito da manutenção preditiva.

1.4 A INTERAÇÃO ENTRE AS FASES

Da correta realização de cada fase-projeto, fabricação, instalação, operação e manutenção dependem a disponibilidade e a confiabilidade do sistema.

Na fase de projeto, o levantamento de necessidades, inclusive o envolvimento dos usuários (Operação e Manutenção), além dos dados específicos para sua elaboração, nível de detalhamento, dentre outros, são de fundamental importância, pois irão impactar diretamente nas demais fases, com conseqüências no desempenho e na economia.

Como desempenho podemos citar as questões ligadas a confiabilidade, produtividade, qualidade do produto final, segurança e preservação ambiental e as econômicas se referem ao nível de custo-eficiência obtido.

A escolha dos equipamentos deverá considerar a sua adequação ao projeto (correto dimensionamento), a capacidade inerente esperada (através de dados técnicos, TMEF – tempo médio entre falhas), qualidade, manutenibilidade, além do custo eficiência.

É importante considerar também, a padronização com outros equipamentos do mesmo projeto e de equipamentos já existentes na instalação, objetivando redução de estoque de sobressalentes e facilidades de manutenção e operação.

A fabricação deve ser devidamente acompanhada e incorporar os requisitos de modernidade e aumento da confiabilidade dos equipamentos, além das sugestões oriundas da prática de manutenção.

Todos esses dados, aliados ao histórico de desempenho de equipamentos semelhantes, dados estes subsidiados pelo grupo de Manutenção, compõem o valor histórico do equipamento, elemento importante para uma decisão em compras e futura política de peças de reposição.

A fase de instalação deve prever cuidados com a qualidade da implantação do projeto e as técnicas utilizadas para esta finalidade. Quando a qualidade não é apurada, muitas vezes são inseridos pontos potenciais de falhas que se mantêm ocultos por vários períodos e vêm a se manifestar muitas vezes quando o sistema é fortemente solicitado, ou seja, quando o processo produtivo assim o exige, ou seja, normalmente quando se necessita de maior confiabilidade.

As fases de manutenção e operação terão por objetivo garantir a função dos equipamentos, sistemas e instalações no decorrer de sua vida útil e a não degeneração do desempenho. Nesta fase da existência, normalmente são detectadas as deficiências geradas no projeto, seleção de equipamentos e instalação.

Não existindo a interação entre as fases citadas, nota-se que a manutenção encontrará dificuldades de desempenho das suas atividades, mesmo que se apliquem nelas as mais modernas técnicas. A confiabilidade estará num patamar inferior ao inicialmente previsto.

2 TIPOS DE MANUTENÇÃO

2.1 MANUTENÇÃO CORRETIVA

A manutenção corretiva é a atuação para a correção da falha ou do desempenho menor que o esperado. Ao atuar em um equipamento que apresenta um defeito ou um desempenho diferente do esperado estamos realizando manutenção corretiva. Sendo assim, a manutenção corretiva não é necessariamente, a manutenção de emergência.

Podemos ter duas condições específicas que levam à manutenção corretiva:

- O equipamento apresenta desempenho deficiente apontado pelo acompanhamento das variáveis operacionais.
- Ocorrência de falha.

Então a principal função da Manutenção Corretiva é **Corrigir** ou **Restaurar** as condições de funcionamento do equipamento ou sistema.

Podemos dividir a Manutenção Corretiva em duas classes:

- Manutenção Corretiva Não Planejada.
- Manutenção Corretiva Planejada.

2.1.1 MANUTENÇÃO CORRETIVA NÃO PLANEJADA

É a correção da falha de maneira aleatória, caracterizando-se pela atuação da manutenção em um fato já ocorrido, seja este uma falha ou um desempenho menor que o esperado. Não há tempo para a preparação do serviço. Infelizmente ainda é mais praticado do que se deveria.

Normalmente a manutenção corretiva não planejada implica em altos custos, visto que a quebra inesperada pode acarretar perdas de produção, perda na qualidade do produto e elevados custos indiretos de manutenção.

Além disso, quebras aleatórias podem ter consequências bastante grave para o equipamento, isto é, a extensão dos danos pode ser bem maior. Em plantas industriais de processo contínuo como, por exemplo: petróleo, petroquímico, cimento dentre outras, estão envolvidas no seu processo elevadas pressões, temperaturas, vazões, ou seja, a quantidade de energia desenvolvida no processo é considerável. Interromper tais processos de forma abrupta para reparar um determinado equipamento compromete a qualidade de outros que vinham operando em condições regulares, levando-os a colapsos

após a partida ou a uma redução da produção da planta. Exemplo típico é o surgimento de vibração em grandes máquinas que apresentavam funcionamento suave antes da ocorrência.

No caso de uma empresa ter a maior parte de sua manutenção corretiva na classe de não planejada, o seu departamento de manutenção acaba sendo comandado pelos equipamentos e o desempenho da empresa, certamente, não estará adequado às necessidades de competitividade atuais.

2.1.2 MANUTENÇÃO CORRETIVA NÃO PLANEJADA

A manutenção corretiva é a correção do desempenho menor que o esperado ou da falha, por decisão gerencial, isto é, pela atuação em função de acompanhamento preditivo ou pela decisão de operar o equipamento até a sua quebra.

Visto que um trabalho planejado é sempre mais barato, mais rápido e mais seguro do que um trabalho não planejado. E será sempre de melhor qualidade. A característica principal da manutenção corretiva planejada é função da qualidade da informação fornecida pelo acompanhamento do equipamento.

Mesmo que a decisão gerencial seja de deixar o equipamento funcionar até a quebra, esse é uma decisão conhecida e algum planejamento pode ser feito quando a falha ocorrer. Podemos citar, por exemplo, substituir o equipamento por outro idêntico, ter um Kit de reparo rápido.

A adoção de uma política desse tipo de manutenção pode se originar de vários fatores:

- Melhor planejamento dos serviços.
- Possibilidade de compatibilizar a necessidade da intervenção com os interesses da produção.
- Aspectos relacionados com a segurança-falha não provocam nenhuma situação de risco para o pessoal ou para a instalação.
- Garantia de equipamentos sobressalentes, equipamentos e ferramental.
- Ter recursos humanos com a tecnologia necessária para a execução dos serviços, que podem também ser terceirizados.

2.2 MANUTENÇÃO PREVENTIVA

Manutenção Preventiva é a atuação realizada de forma a reduzir ou evitar a falha ou queda no desempenho, obedecendo a um plano previamente elaborado, baseado em INTERVALOS definidos de TEMPO.

Inversamente à política de Manutenção Corretiva, a Manutenção Preventiva procura obstinadamente evitar a ocorrência de falhas, ou seja, procura **prevenir**. Em determinados setores, como na aviação, a adoção de manutenção preventiva é imperativa para determinados sistemas ou componentes, pois o fator segurança se sobrepõe aos demais.

Como nem sempre fabricantes fornecem dados precisos para a adoção nos planos de manutenção preventiva, além das condições operacionais e ambientais terem influência de modo significativo na expectativa de degradação dos equipamentos, a definição de periodicidade e substituição deve ser estipulada para cada instalação ou no máximo plantas similares operando também em condições similares.

Isso leva à existência de duas situações distintas na fase inicial de operação:

- a) Ocorrência de falhas antes de completar o período estimado, pelo mantenedor, para intervenção.
- b) Abertura do equipamento/reposição de componentes prematuramente.

Evidentemente, ao longo da vida útil do equipamento não pode ser detectada a falha entre duas intervenções preventivas, o que, obviamente, implicará uma ação corretiva.

Os seguintes fatores devem ser levados em consideração para adoção de uma política de manutenção preventiva:

- Quando não é possível a manutenção preditiva.
- Aspectos relacionados com a segurança pessoal ou da instalação que tornam necessária a intervenção, normalmente para substituição de componentes.
- Por oportunidade em equipamentos críticos de difícil liberação operacional.
- Riscos de agressão ao meio ambiente.
- Em sistemas complexos e/ou de operação contínua. Ex. petroquímica, siderúrgica, indústria automobilística, etc.

A manutenção preventiva será tanto mais conveniente quanto maior for a simplicidade na reposição; quantos mais altos forem os custos de falhas; quanto mais falhas prejudicarem a produção e quanto maiores forem as implicações das falhas na segurança pessoal e operacional.

Se, por um lado, a manutenção preventiva proporciona um conhecimento prévio

das ações, permitindo uma boa condição de gerenciamento das atividades e nivelamento de recursos, além de previsibilidade de consumo de materiais e sobressalentes, por outro promove, via de regra, a retirada do equipamento ou sistema de operação para a execução dos serviços programados. Assim, possíveis questionamentos à política de manutenção preventiva sempre serão levantados em equipamentos, sistemas ou plantas onde o conjunto de fatores não seja suficientemente forte ou claro em prol dessa política.

Outro ponto negativo em relação à manutenção preventiva é a introdução de defeitos não existentes no equipamento devido a:

- Falha humana.
- Falha de sobressalentes.
- Contaminações introduzidas no sistema de óleo.
- Danos durante partidas e paradas.
- Falhas dos Procedimentos de Manutenção.

2.3 MANUTENÇÃO PREDITIVA

A Manutenção Preditiva, também conhecida por Manutenção Sob Condição ou Manutenção com Base no Estado do Equipamento, pode ser definida da seguinte forma:

Manutenção Preditiva é a atuação realizada com base em modificação de parâmetro de CONDIÇÃO ou DESEMPENHO, cujo acompanhamento obedece a uma sistemática.

A Manutenção Preditiva é a primeira grande quebra de paradigma na Manutenção e tanto mais se intensifica quanto mais o conhecimento tecnológico desenvolve equipamentos que permitam avaliação confiável das instalações e sistemas operacionais em funcionamento.

Seu objetivo é prevenir falhas nos equipamentos ou sistemas através de acompanhamento de parâmetros diversos, **permitindo a operação contínua do equipamento pelo maior tempo possível**. Na realidade o tempo associado à Manutenção Preditiva é o de **predizer** as condições dos equipamentos. Ou seja, a Manutenção Preditiva dá preferência à disponibilidade à medida que não promove a intervenção nos equipamentos ou sistemas, pois as medições e verificações são efetuadas com o equipamento produzindo.

Quando o grau de degradação se aproxima ou atinge o limite previamente

estabelecido, é tomada a decisão de intervenção. Normalmente esse tipo de acompanhamento permite a preparação prévia do serviço, além de outras decisões e alternativas relacionadas com a produção. De forma mais direta, podemos dizer que a Manutenção Preditiva prediz as condições dos equipamentos e quando a intervenção é decidida o que se faz, na realidade, é uma manutenção corretiva planejada.

As condições básicas para adotar a Manutenção Preditiva são as seguintes:

- O equipamento, sistema ou instalação devem permitir algum tipo de monitoramento/medição.
- O equipamento, sistema ou instalação devem merecer esse tipo de ação em função dos custos envolvidos.
- As falhas devem ser oriundas de causas que possam ser monitoradas e ter sua progressão acompanhada.
- Seja estabelecido um programa de acompanhamento, análise e diagnóstico, sistematizado.

Os fatores indicados para análise da adoção de política de Manutenção Preditiva são os seguintes:

- Aspectos relacionados com a segurança pessoal e operacional.
- Redução de custos pelo acompanhamento constante das condições dos equipamentos, evitando intervenções desnecessárias.
- Manter os equipamentos operando, de modo seguro, por mais tempo.

A redução de acidentes por falhas “catastróficas” em equipamentos é significativa. Também a ocorrência de falhas não esperadas fica extremamente reduzida, o que proporciona, além do aumento de segurança pessoal e da instalação, redução de paradas inesperadas da produção que, dependendo do tipo de planta, implicam consideráveis prejuízos.

Os custos envolvidos na manutenção Preditiva devem ser analisados por dois ângulos:

- O acompanhamento periódico através de instrumentos/aparelhos de medição e análise não é muito elevado e quanto o maior o progresso na área microeletrônica, maior a redução dos preços. A mão-de-obra envolvida não apresenta custo significativo, haja vista a possibilidade de acompanhamento, também, pelos operadores.
- A instalação de sistemas de monitoramento contínuo “on line” apresenta um custo

inicial relativamente elevado. Em relação aos custos envolvidos, estima-se que o nível inicial de investimento é de 1% do capital total do equipamento a ser monitorado e que um programa de acompanhamento de equipamento bem gerenciado apresenta uma relação custo/benefício de 1/5.

No tocante à produção, a Manutenção Preditiva é a que oferece melhores resultados, pois intervém o mínimo possível na planta, conforme mencionado anteriormente. É fundamental que a mão-de-obra da manutenção responsável pela análise e diagnóstico seja bem treinada. Não basta medir; é preciso analisar os resultados e formular diagnósticos. Embora isto possa parecer óbvio é comum encontrar-se, em algumas empresas, sistemas de coleta e registro de informações e acompanhamento de Manutenção Preditiva que não produzem ação de intervenção com a qualidade equivalente aos dados registrados.

2.4 MANUTENÇÃO DETECTIVA

A Manutenção Detectiva começou a ser mencionada na literatura a partir da década de 90. Sua denominação Detectiva está ligada à palavra *Detectar* em inglês Detective Maintenance. Pode ser definida da seguinte forma:

Manutenção Detectiva é a atuação efetuada em sistemas de produção buscando detectar FALHAS OCULTAS ou não perceptíveis ao pessoal de operação e manutenção.

Desse modo, tarefas executadas para verificar se um sistema de proteção ainda está funcionando representam a Manutenção Detectiva. Um exemplo simples e objetivo é o botão de teste de lâmpadas de sinalização e alarme em painéis.

A identificação de falhas ocultas é primordial para garantir a confiabilidade. Em sistemas complexos essas ações só devem ser levadas a efeito por pessoa da área de manutenção, com treinamento e habilitação para tal, assessorado pelo pessoal de operação.

É cada vez maior a utilização de computadores digitais e instrumentação e controle de processo nos mais diversos tipos de plantas industriais.

“São sistemas de aquisição de dados, controladores lógicos programáveis, Sistemas Digitais de Controle Distribuído – SDCD, *multi-loops* com computador supervisor e outra infinidade de arquiteturas de controle somente possíveis com o

advento de computadores de processo. Sistema de *shut-down* ou sistema *trip* garantem a segurança do processo quando esse sai de sua faixa de operação segura. Esses sistemas de segurança são independentes dos sistemas de controle utilizados para otimização da produção. Equipamentos eletrônicos programáveis estão sendo utilizados para essas aplicações.”

Enquanto a escolha deste ou daquele sistema ou de determinados tipos de componentes é discutida pelos especialistas com um enfoque centrado basicamente na confiabilidade, são importantes que estejam bastante claras as seguintes particularidades:

- Os sistemas de *trip* ou *shut-down* são a última barreira entre a integridade e a falha. Graças a eles as máquinas, equipamentos, instalações e até mesmo plantas inteiras estão protegidos contra falhas e suas conseqüências menores, maiores ou catastróficas.
- Esses sistemas são projetados para atuar automaticamente na iminência de desvios que possam comprometer as máquinas, a produção, a segurança no seu aspecto global ou o meio ambiente.
- Os componentes dos sistemas de *trip* ou *shut-down*, como qualquer componente, também apresenta falha.
- As falhas desses componentes e, em última análise, do sistema de proteção, podem acarretar dois problemas:
 - ✓ Não atuação.
 - ✓ Atuação indevida.

A não atuação de um sistema *trip* ou *shut-down* é algo que jamais passa despercebido. É evidente que existem situações onde é possível contornar ou fazer um acompanhamento, mas em outra isso é definitivamente impossível.

O *trip* por alta vibração em máquinas rotativas pode deixar de atuar, desde que haja um acompanhamento paralelo e contínuo da equipe de manutenção. Na maior parte dos casos ocorre uma progressão no nível de vibração que permite acompanhamento. Entretanto, ou aumento na temperatura de mancal pode ser muito rápido, ou seja, se o sistema não atuar comandando a parada da máquina, as conseqüências podem ser desastrosas.

A atuação indevida de um sistema *trip* ocasiona, obviamente, a parada do equipamento e, conseqüentemente, a cessação da produção, na maioria dos casos. O que se segue, imediatamente à ocorrência (indevida) do *trip* é um estado de ansiedade generalizada para atender a ocorrência. Isso normalmente leva algum tempo, pois vários

checks devem ser feitos. O ideal seria não colocar uma máquina, um sistema ou unidade para operar sem que as razões que levaram à ocorrência do *trip* sejam descobertas e/ou confirmadas.

Em resumo, se a confiabilidade do sistema não é alta, teremos um problema de disponibilidade a ele associado, traduzido por excessivo número de paradas, não-cumprimento da campanha programada e outros.

- Finalmente, no caso de plantas de processo contínuo, como indústrias químicas, petroquímicas, fábricas de cimento e outras, a intervenção na planta ou unidade específica é feita em períodos previamente programados, que são as *Paradas de Manutenção*. “A grande parte dos elementos que compõe uma malha de intertravamento tem alto índice de confiabilidade, mas essa característica sofre distorção com o tempo, devido ao desgaste natural, vibrações etc., provocando um aumento de probabilidade de falha ao longo do tempo. Como a verificação de funcionamento é realizada somente na Parada de Manutenção podemos garantir que a probabilidade de falha é alta no final da campanha e baixa no início da campanha.

Fica evidente que a mudança do *status quo* é ter o domínio da situação. Essa modificação é obtida com a Manutenção Detectiva. Na Manutenção Detectiva, especialistas fazem verificações no sistema, sem tirá-lo de operação, capazes de *detectar* falhas ocultas, e preferencialmente podem *corrigir* a situação, mantendo o sistema operando.

2.5 ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO

É a segunda quebra de paradigma na Manutenção. Praticar a Engenharia de Manutenção significa uma mudança cultural.

É deixar de ficar consertando continuamente, para procurar as causas básicas, modificar situações permanentes de mau desempenho, deixar de conviver com problemas crônicos, melhorar padrões e sistemáticas, desenvolver a manutenibilidade, dar *feedback* ao Projeto, interferir tecnicamente nas compras.

Engenharia de Manutenção significa perseguir *benchmarks*, aplicar técnicas modernas, estar nivelado com a manutenção do Primeiro Mundo.

Alguém que esteja praticando Manutenção Corretiva não planejada terá um longo caminho a percorrer para chegar a praticar Engenharia de Manutenção. E o maior obstáculo a ser vencido estará na “cultura” que está sedimentada nas pessoas.

Suponha que uma determinada planta adota Manutenção Preventiva para um conjunto de redutores de uma torre de refrigeração. Sabemos que a estimativa mais acertada de tempo para as intervenções é extremamente difícil, porque nesse tipo de equipamento a vida de diversos componentes é diferente, apesar do pequeno número de componentes. Os rolamentos têm uma vida diferente dos retentores que, por sua vez, têm vida diferente das engrenagens. A experiência indica que mais intervenções que o necessário serão feitas e/ou um número elevado de troca de peças com “meia vida” ainda em bom estado será processado. Há que se compatibilizar aqui as vantagens x desvantagens entre custo desnecessário de utilização de alguns sobressalentes contra sucessivas intervenções nos equipamentos.

Quando a manutenção dessa planta passa adotar a Preditiva para o acompanhamento do conjunto de redutores, estará auferindo ganhos sensíveis, com melhores resultados globais. O número de intervenções cairá drasticamente, o consumo de sobressalentes também e o número de homens-hora alocado a esses equipamentos, conseqüentemente, também será reduzido. A Preditiva permite alcançar a máxima disponibilidade para a qual os equipamentos foram projetados, proporcionando aumento de produção e de faturamento. Outro aspecto interessante e inovador é que o Sistema de Acompanhamento Preditivo fornecerá todos os dados pertinentes ao acompanhamento, incluindo dados instantâneos, curvas de tendência, e tantos outros dados quantos sejam de interesse das pessoas que formam a Manutenção dessa planta. Esse sistema fornecerá, também, valores de alarme que guiarão as recomendações para intervenção em qualquer dos redutores, num tempo anterior à ocorrência de falha.

No momento em que a estrutura de Manutenção dessa planta estiver *utilizando* para análises estudos e proposição de melhorias, todos os dados que o Sistema de Preditiva colhe e armazena, estará praticando a Engenharia de Manutenção. A Engenharia de Manutenção utiliza dados adquiridos pela Manutenção, para melhorar sempre.

Se a Manutenção estiver vivendo o estágio de intervir corretivamente nas plantas, comandada pela quebra aleatória dos equipamentos, certamente não estará fazendo Manutenção Preditiva. E, infelizmente, com muito mais razão não terá ninguém para pensar em Engenharia de Manutenção.

3. ANÁLISE DO MODO E EFEITO DE FALHA – FMEA

Também bastante conhecida pelo seu nome em inglês, *Failure Mode Effect Analysis* – FMEA, é uma abordagem que ajuda a identificar e priorizar falhas potenciais em equipamentos, sistemas e processos. É geralmente utilizada como um degrau para o estabelecimento do programa de Análise das Causas-Raízes da Falha – RCFA ou *Root Cause Failure Analysis*.

FMEA é um sistema lógico que hierarquiza as falhas potenciais e fornece as recomendações para as ações preventivas. É um processo *formal* que utiliza especialistas dedicados a analisar as falhas e solucioná-las. No dia-a-dia, certamente vamos encontrar um grande número de pessoas nas plantas espalhadas pelo mundo, tentando decifrar por que um equipamento falhou repentinamente: de modo *informal e não sistematizado*. Especialistas indicam três níveis de FMEA: *projeto, processo e sistema*.

FMEA no projeto dedica-se a eliminar as causas de falha durante o projeto do *equipamento*, levando em consideração todos os aspectos, desde manutenibilidade até aspectos ligados à segurança.

FMEA no sistema se preocupa com as falhas potenciais e gargalos no processo global, como um linha de produção.

O pessoal de Manutenção está mais envolvido na FMEA de processo, pois nessa fase os equipamentos estão instalados e operando. Além disso, os especialistas em equipamentos são da Manutenção.

Sugere-se que o grupo de FMEA, na fase de processo, orientando para Manutenção, tenha engenheiros e técnicos de manuseio e de operação. Os grupos devem ser multidisciplinares pela complementaridade de conhecimentos, além de vantagem de decisões colaborativas. Está mais que comprovado que esse tipo de grupo apresenta maior produtividade, além de eficiência no aspecto de custos.

FMEA é fundamentalmente a medida do risco de falha. Desse modo, quanto mais pessoas estiverem envolvidas na definição da taxa de risco, mais preciso será o resultado.

Além da sigla FMEA é comum ouvir a sigla FMECA.

FMECA é a sigla que significa *Failure Mode Effects and Critically Analysis*, ou seja, Análise de Modo, Efeito e Criticidade de Falhas.

A principal diferença entre FMEA e FMECA reside no fato de que FMEA é uma técnica mais ligada ao aspecto qualitativo, sendo muito mais utilizada na avaliação de projetos, enquanto a FMECA inclui o que se denomina análise crítica – CA – *Critically Analysis*. A análise crítica é um método quantitativo que é utilizado para classificar os

modos de falhas levando em consideração suas probabilidades de ocorrência.

Alguns dos principais conceitos necessários para a análise são:

CAUSA – é o meio pelo qual um elemento particular do projeto ou processo resulta em um modo de falha.

EFEITO – é uma consequência adversa para o consumidor ou usuário pode ser a próxima operação ou próprio usuário.

MODOS DE FALHA – são as categorias de falha que são normalmente descritas.

FREQUENCIA – é a probabilidade de ocorrência da falha.

GRAVIDADE DA FALHA – indica como a falha afeta o usuário ou cliente.

DETECTIBILIDADE – indica o grau de facilidade de detecção da falha.

ÍNDICE DE RISCO OU NÚMERO DE PRIORIDADE DE RISCO – NPR – é o resultado do produto da frequência pela gravidade da falha pela detectibilidade. Esse índice dá a prioridade de risco da falha.

NPR = Frequencia x Gravidade x Detectibilidade

SEQUENCIA DE TRABALHO

Na determinação da taxa de risco de falha de um componente particular de um equipamento, o grupo deve adotar a seguinte sequência:

a) Isolar e descrever o modo da falha potencial:

Sob que condições o equipamento falha?

b) Descrever o efeito potencial da falha:

Ocorre parada ou redução de produção?

A qualidade do produto é afetada?

Quais os prejuízos?

c) Determinar a frequência, a gravidade e detectibilidade da falha:

Qual a frequência de ocorrência da falha?

Qual o grau de gravidade da falha?

Qual a facilidade da falha ser detectada?

Para indicar a gravidade da falha, adota-se uma escala de 1 a 10, sendo 10 para

falha mais grave. Idem para frequência e para detectibilidade.

Para que todos os membros do grupo tenham o mesmo entendimento do que é uma falha e o que ela significa para uma operação em particular, essas definições devem ser dadas antes do grupo iniciar os seus trabalhos.

- d) Determinar o Número de Prioridade do Risco – NPR.
- e) Desenvolver planos de ação para eliminar ou corrigir o problema potencial.

Para determinação dos pesos das parcelas que compõem o NPR, existe algumas recomendações, normalmente baseadas em experiências de empresas.

Podemos concluir que a FMEA focaliza falhas potenciais e suas causas. Desse modo, as ações necessárias podem ser tomadas com vista a evitar problemas futuros e prejuízos antes que eles aconteçam. Para a Manutenção, a aplicação mais vantajosa de FMEA ocorre na análise de falhas já ocorridas.

Para falhas e potenciais mais importantes os gastos no desenvolvimento de ações de FMEA são pagos muitas vezes pela economia obtida evitando as falhas.

Exemplo: suponhamos um conjunto motor elétrico, mancal externo, misturador, instalado em um tanque vertical, com produto corrosivo.

A FMEA procede à análise partindo da causa para chegar ao efeito. Então podemos analisar o conjunto mostrado no croqui por partes. Isso está mostrado, muito simplificado, somente para passar a idéia de como deve ser a sequência de análise.

a) Isolar e Descrever o Modo Potencial de Falha

1. Componente:

Mancal Intermediário

2. Função do Componente:

Centrar e suportar lateralmente o eixo misturador.

3. Falhas Possíveis:

Fratura da caixa de mancal

Folga excessiva no mancal.

4. Efeitos:

Aumento da vibração

Danos ao mancal e ao eixo

Danos à estrutura do tanque (chapa superior)

5. Causas:

Mancal subdimensionado

Fixação inadequada

Chapa suporte de baixa espessura

6. Controle atuais:

Nenhum

b) Efeito Potencial da Falha:

- Ocorre parada parcial de produção na Unidade X.
- A qualidade do produto é afetada pela injeção do produto não-homogeneizado, contido no tanque.

Prejuízos: Refugo da produção obtida nessas condições.

c) Grau de Gravidade da falha – 5

d) Frequencia de Ocorrência da falha – 2

e) Detectibilidade – 2

f) Número de Prioridade de Risco – NPR – 20

g) Ação Corretiva

- Fazer análise de vibração no local para decidir pelo reforço da estrutura de suportação do mancal.
- Verificar, em função da carga, se o mancal selecionado é adequado.

4 TPM - MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL

Durante muito tempo as indústrias funcionaram com o sistema de manutenção corretiva. Com isso, ocorriam desperdícios, retrabalhos, perda de tempo e de esforços humanos, além de prejuízos financeiros. A partir de uma análise desse problema, passou-se a dar ênfase na manutenção preventiva. Com enfoque nesse tipo de manutenção, foi desenvolvido o conceito de manutenção produtiva total, conhecido pela sigla TPM (*total productive maintenance*), que inclui programas de manutenção preventiva e preditiva.

4.1 A ORIGEM DA TPM

A manutenção preventiva teve sua origem nos Estados Unidos e foi introduzida no Japão em 1950. Até então, a indústria japonesa trabalhava apenas com o conceito de manutenção corretiva, após a falha da máquina ou equipamento. Isso representava um custo e um obstáculo para a melhoria de qualidade. Na busca de maior eficiência da manutenção produtiva, por meio de um sistema compreensivo, baseado no respeito individual e na total participação dos empregados, surgiu a TPM, em 1970, no Japão.

Nessa época era comum:

- a) Avanço na automação industrial;
- b) Busca em termos de melhoria da qualidade;
- c) Aumento da concorrência empresarial;
- d) Emprego do sistema 'jus-in-time';
- e) Maior consciência de preservação ambiental e conservação de energia;
- f) Dificuldades de recrutamento de mão-de-obra para trabalhos considerados sujos, pesados ou perigosos;
- g) Aumento da gestão participativa e surgimento do operário polivalente.

Todas essas ocorrências contribuíram para o aparecimento da TPM. A empresa usuária da máquina se preocupa em valorizar e manter o seu patrimônio, pensando em termos de custo do ciclo de vida da máquina ou equipamento. No mesmo período, surgiram outras teorias com os mesmos objetivos.

Os cinco pilares da TPM são as bases sobre as quais construímos um programa de TPM, envolvendo toda a empresa e habilitando-a para encontrar metas, tais como defeito zero, flashes zero, aumento da disponibilidade de equipamento e lucratividade.

Os cinco pilares são representados por:

- a) eficiência;
- b) auto-reparo;
- c) planejamento;
- d) treinamento;
- e) ciclo de vida.

Os cinco pilares são baseados nos seguintes princípios:

- a) Atividades que aumentam a eficiência do equipamento.
- b) Estabelecimento de um sistema de manutenção autônomo pelos operadores.
- c) Estabelecimento de um sistema planejado de manutenção.
- d) Estabelecimento de um sistema de treinamento objetivando aumentar as habilidades técnicas da pessoa.
- e) Estabelecimento de um sistema de gerenciamento do equipamento.

4.2 OBJETIVOS DA TPM

O objetivo global da TPM é a melhoria da estrutura da empresa em termos materiais (máquinas, equipamentos, ferramentas, matéria-prima, produtos etc.) e em termos humanos (aprimoramento das capacitações pessoais envolvendo conhecimento, habilidades e atitudes). A meta ser alcançada é o rendimento operacional global.

As melhorias devem ser conseguidas por meio dos seguintes passos:

- a) Capacitar os operadores para conduzir a manutenção de forma voluntária.
- b) Capacitar os mantenedores a serem polivalentes.
- c) Capacitar os engenheiros a projetarem equipamentos que dispensem manutenção, isto é; o “ideal” da máquina descartável.
- d) incentivar estudos e sugestões para modificação dos equipamentos existentes a fim de melhorar seu rendimento,

Aplicar o programa dos oito S:

- 1-Seiri= organização; implica eliminar o supérfluo.
- 2-Seiton= arrumação; implica identificar e colocar tudo em ordem.
- 3-Seiso = limpeza; implica limpar sempre e não sujar.
- 4-Seiketsu= padronização; implica manter a arrumação, limpeza e ordem em tudo.
- 5-Shitsuki= disciplina; implica a autodisciplina para fazer tudo espontaneamente.
- 6.Shido= treinar; implica a busca constante de capacitação pessoal.
- 7.Seison= eliminar as perdas.
- 8.Shikaro yaro= realizar com determinação e união.

Eliminar as seis grandes perdas:

1. Perdas por quebra.

2. Perdas por demora na troca de ferramentas e regulagem.
3. Perdas por operação em vazio (espera).
4. Perdas por redução da velocidade em relação ao padrão normal.
5. Perdas por defeitos de produção.
6. Perdas por queda de rendimento.

Aplicar as cinco medidas para obtenção da “quebra zero”:

1. Estruturação das condições básicas.
2. Obediência às condições de uso.
3. Regeneração do envelhecimento.
4. Sanar as falhas do projeto.
5. Incrementar a capacitação técnica.

A idéia da “quebra zero” baseia-se no conceito de que a quebra é a falha visível. A falha visível é causada por uma coleção de falhas invisíveis como um iceberg.



Logo, se os operadores e mantenedores estiveram conscientes de que devem evitar as falhas invisíveis, a quebra deixará de ocorrer. As falhas invisíveis normalmente deixam de ser detectadas por motivos físicos ou psicológicos.

Motivos físicos:

As falhas não são visíveis por estarem em local de difícil acesso ou encobertas por detritos e sujeiras.

Motivos psicológicos:

As falhas deixam de ser detectadas devido à falta de interesse ou de capacitação dos operadores ou mantenedores.

4.4 PAPEL DAS ATIVIDADES DA MPT

A necessidade de diversificação de talentos e especialização e o valor dessa especialização foram defendidos pela primeira vez há aproximadamente quinze anos, na literatura e nos seminários sobre negócios. Mesmo antes disso, logo depois da Segunda Guerra Mundial, o conceito de divisão do trabalho e especialização dominava as indústrias japonesas, destacando-se por seu escopo e diversidade.

Essas atividades de MP não significam apenas a manutenção preventiva, mas uma MP mais ampla, baseada na aplicabilidade econômica vitalícia de equipamentos, matrizes e gabaritos que desempenham os papéis mais importantes na produção. Os requisitos para esse tipo de MP são: (1) criar equipamentos com o maior rendimento global possível; (2) definir uma MP total que leve em conta todo o tempo de vida do equipamento; (3) manter a motivação através de atividades de pequenos grupos independentes; (4) abordar o planejamento, a utilização e a manutenção do equipamento e (5) contar com a participação de toda a empresa, dos altos executivos aos operários.

A defesa dessas exigências deve-se à importância dos seguintes procedimentos:

1. Tornar o investimento na fábrica e nos equipamentos o mais eficaz possível em termos de custos.
2. Promover os engenheiros com habilidade para o trabalho com as inovações técnicas das linhas de montagem contínuas e dos processos baseados no equipamento, e promover e manter os engenheiros com domínio da eficiência do ciclo de vida e sua aplicabilidade econômica orientados para o sistema e com habilidade para aprimorá-lo.
3. Desenvolver uma grande base de operários capazes de compreender e lidar com os procedimentos básicos de manutenção da fábrica e com as operações de produção.

Diversas atividades podem melhorar o rendimento global do equipamento durante seu ciclo de vida, mas, em termos simples, é uma questão de aumentar a margem de lucros resultantes do equipamento vis-à-vis seu custo global. O custo global do equipamento pode ser demonstrado pela soma do capital inicial investido mais os custos

de operação e manutenção da produção. Em outras palavras, o custo do ciclo de vida.

Além disso, o cálculo dos lucros resultantes do equipamento é extremamente difícil. Seria um cálculo simples se a fábrica mantivesse o mesmo nível de operação durante todo seu ciclo de vida, mas o nível de operação muda segundo as flutuações do negócio. No caso de investimentos em necessidades correntes, a base para o cálculo é relativamente clara, mas no caso de investimentos estratégicos (tais como a expansão e melhoria do equipamento e os novos investimentos que acompanham o aumento da produção), sempre surge o problema de se estimar a demanda, e o controle exercido pela gerência sobre o processo de tomada de decisões oportunas é, freqüentemente, o fator mais importante.

O cálculo do custo do ciclo de vida usado pelo Departamento de Defesa Norte – americano se aplica principalmente aos armamentos e, nesse caso, não há lucro direto derivado dos produtos. Para estimar a despesa total, ou seja, o custo do ciclo de vida basta que os produtos atendam aos requisitos de uso. Na avaliação do rendimento global pela MPT, o problema da produção, que acompanha as projeções, é levado em conta no cálculo do número total anual de horas de operação. Se essa produção for pequena, o departamento de vendas deve fornecer feedback quanto à fabricação de produtos alternativos através da modificação do equipamento. Sem considerar os problemas de estimativa, os lucros gerados pelo equipamento podem ser expressos pela relação entre o ganho e as taxas de operação e carga. O ganho corresponde à receita resultante da subtração do custo de materiais e do processamento sub contratado à receita gerada pelo produto.

4.5 RELAÇÃO ENTRE A MANUTENÇÃO PRODUTIVA E OS MÉTODOS DE GERENCIAMENTO DA FÁBRICA

Após a Segunda Guerra Mundial, vários métodos de gerenciamento de fábrica foram introduzidos no Japão, vindos tanto da Europa quanto dos Estados Unidos. Escreveu-se muito sobre esses métodos, que influenciaram significativamente muitos aspectos do gerenciamento da fábrica. Atualmente, à medida que o pessoal mais jovem busca aprender mais sobre eles, os gerentes são, freqüentemente, desviados pelos aspectos técnicos desses sistemas, perdendo de vista o caminho mais direto para a solução dos problemas imediatos. Às vezes, pessoas de departamentos diferentes da fábrica não têm consciência do caráter intrinsecamente interdependente de alguns desses

métodos de gerenciamento altamente técnicos, tais como o controle da qualidade, a Engenharia Industrial (EI), o Controle da Produção (CP), a MP e o Controle de Custos (CC). O resultado é uma confusão em relação às áreas que se sobrepõem, a inconsistência dos níveis de eficiência e os resultados marginais subseqüentes. Por exemplo, considere uma situação na qual um grupo de pessoas de uma fábrica começa a participar de atividades que visam enfatizar o controle da qualidade, seguindo um programa de garantia da qualidade liderado por seus próprios grupos de controle da qualidade. Entretanto, talvez seus esforços não sejam suficientes. São necessários esforços adicionais para diminuir o número de etapas operacionais e promover tecnologias de engenharia industrial capazes de reduzir as exigências de mão-de-obra.

Esse programa deve fazer parte das metas de gerenciamento da fábrica em andamento. Outras etapas cruciais são a melhoria máxima do controle da produção, visando atender às datas de entrega, e a redução de custos com base em métodos de controle de custos sistematizados. Uma outra meta, que começa na fase de projeto, é a diminuição antes que os departamentos de produção e manutenção pudessem enfrentar os problemas, os robôs foram retirados das fábricas discretamente. Na verdade, embora os modelos mais recentes sejam muito melhores, tanto em termos funcionais quanto de confiabilidade, ainda estão sujeitos à deterioração sob condições de uso intenso. Portanto, é evidente que, depois de um certo tempo, a qualidade da manutenção e do gerenciamento influenciam significativamente no índice de utilização dessas inovações tecnológicas. Podemos concluir que a TPM (manutenção produtiva total) assume hoje, um papel importantíssimo na indústria, sendo amplamente utilizada como um poderoso instrumento para a redução dos custos e aumento da produtividade.

6 CONCLUSÃO

Através de todos os métodos e tendências de manutenção apresentados nesse texto, podemos perceber a importância da manutenção dentro de uma empresa. A manutenção muitas vezes pode indicar se uma empresa é competitiva ou não quando comparada a seu concorrente mais próximo. Uma indústria para ser competitiva deve apresentar além de um processo robusto (maquinário bom, pessoal bem treinado, boa qualidade de ferramentas, etc.) um sistema confiável, máquinas que não quebrem com frequência, para evitar ao máximo a intervenção corretiva não programada.

As empresas brasileiras já estão indo para o caminho de evitar a manutenção corretiva, para fazer o monitoramento de seu maquinário, investir em pessoal para atuar na engenharia de manutenção a fim de investigar e solucionar o problema; dando com isso um grande passo para tornar nossas empresas aptas a competir com um mundo cada vez mais globalizado.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

PINTO, Alan Kardec; XAVIER, Júlio Nassif. **Manutenção**: função estratégica. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1998.

BRANCO FILHO, G. **Dicionário de termos de manutenção, confiabilidade e qualidade**. Rio de Janeiro: ABRAMAN, 1996.

ABRAMAN – Associação Brasileira de Manutenção. **A situação da manutenção no Brasil**. 16º Congresso Brasileiro de Manutenção. www.abraman.org.br . Acesso em 25/11/2005.

