

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO
TECNOLÓGICA DE SANTA CATARINA
GERÊNCIA EDUCACIONAL DE METAL MECÂNICA
CURSO TÉCNICO DE MECÂNICA INDUSTRIAL



INTRODUÇÃO À

GESTÃO DA MANUTENÇÃO

Prof. Eng. Mec. Norberto Moro, MEng
Téc. Mec. André Paegle Auras

norbertomoro@gmail.com

FLORIANÓPOLIS – 2021-julho

Sumário

O QUE AS ESCOLAS NÃO ENSINAM	3
APRESENTAÇÃO.....	4
1.Introdução.....	6
1.1 Histórico	6
1.2 Importância da Manutenção	8
1.3 Conceitos em Manutenção.....	9
1.4 Recursos necessários para Manutenção.....	12
1.5 Tipos de Manutenção.....	12
2. Manutenção Corretiva	17
2.1 Tipos de manutenção corretiva.....	17
2.2 Organização da Manutenção Corretiva	20
Sinalização: Para efetuar a manutenção corretiva, ou mesmo uma simples inspeção, em um equipamento ou sistema, em seu próprio local, é fundamental tomar diversos cuidados no sentido de garantir a segurança das pessoas envolvidas, quer do operador de manutenção, quer das pessoas do processo produtivo nas proximidades.	21
3. Manutenção preventiva.....	24
3.1 Objetivos da Manutenção Preventiva	25
3.2 Organização do Plano de Manutenção Preventiva	27
3.3 Documentação da Manutenção Preventiva.....	28
3.4 Formas de Controle da Manutenção Preventiva.....	31
4. Manutenção Preditiva	33
4. 1 Objetivos da Manutenção Preditiva.....	33
MANUTENÇÃO PREDITIVA.....	34
4.2 Metodologia.....	34
MANUTENÇÃO PREDITIVA.....	34
4.3 Análise de Falha	35
4.4 Formas de Monitoramento	37
4.5 Monitorando os Parâmetros.....	38
4.6 Aspectos motivacionais	40
5. Manutenção Produtiva Total	41
Referências Bibliográficas.....	44
Implementação da TPM no setor de Estamparia na Fábrica da VOLKSWAGEM em Taubaté - SP	45

ANEXO II – Modos de Falha e Confiabilidade, do capítulo 2, da apostila “Análise de Resistência Mecânica” do Prof. Dr. Edson da Rosa, da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC.

O QUE AS ESCOLAS NÃO ENSINAM

(Palestra feita por Bill Gates no encerramento do curso de ensino médio de um colégio em sua cidade).

A política educacional de “vida fácil” para as crianças tem criado uma geração sem conceito da realidade, política essa que tem levado as pessoas a falharem em suas vidas após a escola.

1. A VIDA NÃO É FACIL. Acostume-se a ela dessa forma.
2. O MUNDO NÃO ESTÁ PREOCUPADO COM SUA AUTO-ESTIMA. O mundo espera que você faça alguma coisa de útil ANTES de ser bom consigo mesmo.
3. VOCÊ NÃO GANHARÁ R\$ 20.000,00 POR MÊS ASSIM QUE SAIR DA ESCOLA.
4. SE VOCÊ ACHA SEU PROFESSOR RUDE ESPERE ATÉ TER UM CHEFE. Ele não terá pena de você.
5. VENDER JORNAL VELHO OU TRABALHAR DURANTE AS FÉRIAS NÃO ESTÁ ABAIXO DE SUA POSIÇÃO SOCIAL. Seus avôs têm uma opinião para isso: Eles chamam de oportunidade.
6. SE VOCÊ FOR FRACASSAR A CULPA NÃO É DE SEUS PAIS, É SUA. Portanto não lamente seus erros: Aprenda com eles.
7. ANTES DE VOCÊ NASCER SEUS PAIS NÃO ERAM TÃO CRÍTICOS COMO AGORA. Eles só ficaram assim por pagar suas contas, lavar suas roupas e ouvir você dizer que eles são “ridículos”. Assim antes de salvar o planeta para a próxima geração querendo consertar os erros da geração de seus pais, tente limpar seu quarto.
8. SUA ESCOLA PODE TER ELIMINADO A DISTINÇÃO ENTRE VENCEDORES E PERDEDORES. Mas a vida é assim. Em algumas escolas você não repete mais o ano e tem tantas chances quanto precisar acertar. Isso não se parece em absolutamente nada com a vida real. Cá fora se pisar na bola está despedido.... Está na rua. FAÇA CERTO DA PRIMEIRA VEZ.
9. A VIDA NÃO É DIVIDIDA EM SEMESTRES. Você não terá sempre os verões livres e é pouco provável que os outros empregados o ajudem a cumprir suas tarefas no final de cada período.
10. TELEVISÃO NÃO É VIDA REAL. Na vida real as pessoas têm de deixar o barzinho ou a noite e ir trabalhar.
11. SEJA LEGAL COM OS CDFs (aqueles estudantes que os demais julgam que são uns babacas). Existe uma grande possibilidade de você vir a trabalhar para um deles.

APRESENTAÇÃO

Desde o advento das máquinas, muitos empresários dedicaram-se a estudar e a propor formas mais eficientes de organizar o processo fabril. Todas elas visavam atingir o grau máximo de produtividade. Os mais importantes sistemas produtivos criados nesta filosofia foram o Taylorismo e o Fordismo.

Fazendo uma rápida retrospectiva, podemos identificar no Taylorismo uma pretensão em submeter o trabalhador ao ritmo da máquina, com o mínimo de interrupções, predominando neste sistema de produção a divisão e a subdivisão de tarefas, bem como a valorização de procedimentos mecânicos que dispensavam o raciocínio dos trabalhadores. O Fordismo surgiu numa tentativa de aperfeiçoar este primeiro sistema, havendo em ambos os casos, como exigência, o domínio de habilidades específicas.

Só que mais avanços e mudanças tecnológicas continuaram ocorrendo e assim estes modelos ficaram ultrapassados, uma vez que não conseguiram suprir as novas exigências do mercado justamente por não se preocuparem com a qualificação dos trabalhadores. Se antes exigia-se especificidade, o mercado atual exige um conjunto de competências.

As políticas públicas no campo educacionais vêm exigindo, como patamar mínimo de escolaridade para a qualificação profissional, o curso técnico. Baseando-se em documentos que regem a organização e o planejamento dos cursos de nível técnico, como a LDB (Lei 9394/96), o Decreto de 22.08.97, o Parecer 16/99 e a Resolução CNE/CEB de 04/99, como também na própria prática, nota-se que o mercado de trabalho na área de manutenção industrial demanda cada vez mais técnicos com formação multidisciplinar e certificações que possam atuar na área, desenvolvendo a melhoria contínua dos métodos e processos em andamento dentro das modernas normas das práticas da qualidade, economicidade, gestão ambiental e segurança do trabalho.

De acordo com pesquisa realizada em 1999 pela ABRAMAN (Associação Brasileira de Manutenção) em 115 indústrias de 19 dos principais setores produtivos, em todo o Brasil, mais de 45% das empresas entrevistadas pretendem aumentar seu quadro de profissionais de manutenção. Esta tendência ocorre devido à preocupação das indústrias em garantir a integridade operacional de suas máquinas e equipamentos, visando reduzir custos, implementar maior qualidade e aumentar sua produtividade, e, desta forma, tornarem-se mais competitivas para afirmar sua sobrevivência no mercado globalizado. Além disso, muitos países importadores de produtos brasileiros estão se tornando a cada dia mais exigentes. Por exemplo, certos produtos só podem ser exportados para países pertencentes à União Européia quando atendem aos requisitos de normas internacionais, como a ISO 9000, a ISO 14000 e a ISO 18000. Para o atendimento a estas normas, a qualificação profissional é preponderante, incluindo os profissionais de manutenção. Segundo a mesma pesquisa da ABRAMAN, cerca de 85% das empresas tem intenção de buscar a qualificação de seus profissionais de manutenção. Isto

indica a necessidade da existência de cursos técnicos profissionalizantes, não só para a formação de novos profissionais, mas, também, para a requalificação de profissionais em atividade no mercado de trabalho.

O objetivo desta disciplina de Gestão da Manutenção é não só a preparação e qualificação dos futuros profissionais de manutenção, mas também proporcionar dinamismo e criatividade, de forma a instigar o constante avanço profissional e da indústria brasileira.

Neste foco, um profissional em manutenção deve possuir competências gerais e específicas, à saber:

1. Competências gerais:
 - Desenvolver características preponderantes, senso crítico, autonomia intelectual e sociabilidade;
 - Desenvolver espírito empreendedor;
 - Contribuir com a iniciativa do gerenciamento do seu próprio percurso no mercado de trabalho de modo flexível, interdisciplinar e contextualizado;
 - Ter sólidas bases de conhecimentos tecnológicos e científicos;
 - Ter boa comunicação oral e escrita;
 - Desempenhar suas atividades buscando qualidade, controle do custo e segurança;
 - Ter postura profissional e ética.
2. Competências específicas da área:
 - Elaborar planos de manutenção;
 - Fazer orçamentos de materiais, serviços e equipamentos;
 - Executar, interpretar e fiscalizar ensaios mecânicos e tecnológicos;
 - Fiscalizar, acompanhar e controlar serviços de manutenção industrial;
 - Interpretar e executar projetos de instalação de equipamentos e acessórios;
 - Conhecer e aplicar adequadamente procedimentos, normas e técnicas de manutenção;
 - Planejar, programar e executar manutenção industrial rotineira e em paradas;
 - Avaliar, qualificar e quantificar equipes para realização de serviços de manutenção industrial;
 - Especificar e identificar corretamente materiais de construção mecânica.

1.Introdução

1.1 Histórico da Manutenção Mecânica-MM

A manutenção, embora despercebida, sempre existiu, mesmo nas épocas mais remotas. Começou a ser conhecida com o nome de manutenção por volta do século XVI na Europa central, juntamente com o surgimento do relógio mecânico, quando surgiram os primeiros técnicos em montagem e assistência. Tomou corpo ao longo da Revolução Industrial e firmou-se, como necessidade absoluta, na Segunda Guerra Mundial. No princípio da reconstrução pós-guerra, Inglaterra, Alemanha, Itália e principalmente o Japão alicerçaram seu desempenho industrial nas bases da **engenharia de manutenção**.

Nos últimos anos, com a intensa concorrência, os prazos de entrega dos produtos passaram a ser relevantes para todas as empresas. Com isso, surgiu a motivação para se prevenir contra as falhas de máquinas e equipamentos. Além disso, outra motivação para o avanço da manutenção foi a maior exigência por qualidade. Essas motivações deram origem a uma manutenção mais planejada.

Hoje é fundamental de se “pensar e agir estrategicamente” para que a atividade da manutenção se integre de maneira eficaz ao processo produtivo das empresas para que as mesmas caminhem rumo à Excelência Empresarial.

Isso se faz necessário para as empresas enfrentarem um mundo globalizado e altamente competitivo, onde as mudanças ocorrem em alta velocidade e a manutenção tem um papel fundamental nesta nova empreitada de ser um agente proativo no sentido de não deixar máquinas e equipamentos parados no setor da produção pois quem se estabelece neste mercado global, são empresas que conseguem produzir grandes quantidades de produtos com baixo custo e qualidade imbatíveis.

Logo neste cenário competitivo não há espaço para improvisos, gambiarras e arranjos, mas sim, competência, criatividade, flexibilidade, velocidade, cultura de mudança e trabalho em equipe para garantir sobrevivência empresarial e em consequência garantias de EMPREGO.

NA VISÃO ATUAL, A MM EXISTE PARA QUE NÃO HAJA MANUTENÇÃO...claro que estamos falando aqui da manutenção corretiva ou seja o pessoal técnico da área deve estar qualificado e equipado **para evitar falhas e não para corrigi-las.**

Ao invés de se falar em “mudança de cultura”, que é um processo lento não condizente com as necessidades atuais, é preciso que a gestão implemente uma “cultura de mudanças”, onde o inconformismo com a perpetuação de paradigmas e de práticas seja uma constante *ad eternum* para esta tarefa de mudanças a liderança e não chefia do GERENTE é de suma importância apoiado claro pela diretoria da empresa.

Este GERENTE deve sempre estar atento que **“QUEM NÃO MEDE NÃO GERENCIA”**, ou seja, ao longo do processo acompanhar diariamente do bloco de indicadores em todas as dimensões possíveis como disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos, redução da demanda de serviços,

faturamento, otimização de custo, segurança do pessoal e das instalações, preservação ambiental.

Muito importante é sentir **a moral e motivação dos colaboradores**, objetivando verificar se os resultados parciais alcançados estão compatíveis com as metas e os prazos estabelecidos e para isto é mister usar a **ferramenta das auditorias** pois através dela se permite avaliar o cumprimento do estabelecido, não só do ponto de vista quantitativo (sobrevivência a curto prazo) que é fornecido pelos indicadores, mas principalmente, do ponto de vista da gestão (sobrevivência a médio e longo prazos).

Fundamental que a gerência tenha uma “Visão Sistêmica” via Planejamento Estratégico desta Gestão Estratégica da Manutenção através da vigilância constante destes indicadores ou seja chamados indicadores balanceados de desempenho ou BSC: BALANCED SCORECARD.

A BSC é uma **ferramenta** de planejamento estratégico na qual a entidade tem claramente definidas as suas metas e estratégias, visando medir o desempenho empresarial através de indicadores quantificáveis e verificáveis.

Nesta metodologia a escolha dos indicadores não deve atender uma dimensão somente financeira ou disponibilidade das instalações ou aspectos de segurança, ou de confiabilidade, etc.

Assim como não é possível realizar um vôo seguro baseando-se, apenas, na velocidade do avião, indicadores financeiros das empresas, por exemplo não são suficientes para garantir o sucesso da empresa e, principalmente, a sua sustentabilidade.

Uma visão integrada, sistêmica, balanceada da empresa permite descrever a estratégia de forma clara, através de objetivos estratégicos em **quatro perspectivas crescentes**:

- **1-PESSOAS, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO**
- **2-PROCESSOS INTERNOS**
- **3-MERCADO/CLIENTE**
- **4-RESULTADOS FINANCEIROS**

O BSC foi criado em 1992 pelos profs. Robert Kaplan e David Norton aplicado desde então com sucesso em várias empresas e organizações e empresas no mundo todo considerado hoje como uma das práticas de gestão mais importantes e revolucionárias dos últimos 75 anos.

Outro aspecto importante para a manutenção ser estratégica ela precisa estar voltada para os resultados empresariais da organização. É preciso, sobretudo, deixar de ser apenas **eficiente** para se tornar **eficaz**, isto é, não basta, apenas reparar o equipamento ou instalação tão rápido quanto possível, mas é preciso, principalmente, manter a função do equipamento disponível para a operação reduzindo a probabilidade de uma parada de produção ou o não fornecimento de um serviço.

1.2 Importância da Manutenção

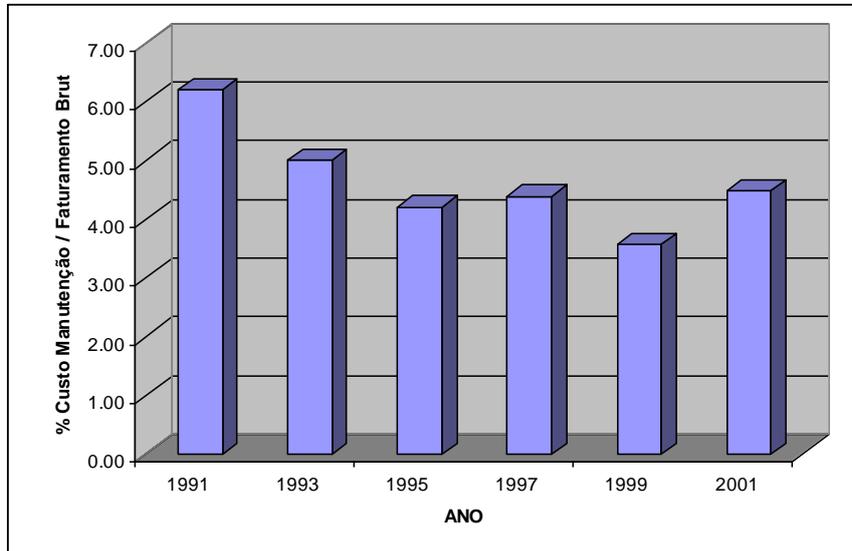
Com a globalização da economia, a busca da qualidade total em serviços, produtos e gerenciamento ambiental passou a ser a meta de todas as empresas. Veja o caso abaixo:

Imagine um fabricante de rolamentos e que tenha concorrentes no mercado. Para que se venha a manter seus clientes e conquistar outros, ele precisará tirar o máximo rendimento das máquinas para oferecer rolamentos com defeito zero e preço competitivo. Deverá também estabelecer um rigoroso cronograma de fabricação e de entrega de meus rolamentos. Imagine agora que não exista um programa de manutenção das máquinas...

Isto dá uma ideia da importância de se estabelecer um programa de manutenção, uma vez que máquinas e equipamentos com defeitos e/ou parados, os prejuízos serão inevitáveis, provocando:

- Diminuição ou interrupção da produção;
- Atrasos nas entregas;
- Perdas financeiras;
- Aumento dos custos;
- Rolamentos com possibilidades de apresentar defeitos de fabricação;
- Insatisfação dos clientes;
- Perda de mercado.

Todos esses aspectos mostram a importância que se deve dar à manutenção. Até recentemente, a gerência de nível médio e corporativo tinha ignorado o impacto da operação da manutenção sobre a qualidade do produto, custos de produção e, mais importante, no lucro básico. A opinião geral a cerca de 20 anos atrás era de que “manutenção é um mal necessário”, ou “nada pode ser feito para melhorar os custos de manutenção”. Mas as novas técnicas de gerenciamento e sistemas de manutenção tem mudado isso, reduzindo os custos da manutenção em relação ao faturamento. Veja quadro abaixo:



Porcentagem de Custo com Manutenção em Relação ao Faturamento Bruto no Brasil

Média de 4,47 e em 2013 esta média chegou a 4,69 segundo a ABRAMAN.

Felizmente hoje já se ouve falar no Brasil de uma ciência nova, chamada "Engenharia de Manutenção", fortalecida pela criação e consolidação da ABRAMAN (Associação Brasileira de Manutenção).

1.3 Conceitos em Manutenção

Dois conceitos de manutenção:

- Pode ser considerada como a engenharia do componente uma vez que estuda e controla o desempenho de cada parte que compõem um determinado sistema;
- Pode ser considerada como o conjunto de cuidados técnicos indispensáveis ao funcionamento regular e permanente de máquinas, equipamentos, ferramentas e instalações. Esses cuidados envolvem a conservação, a adequação, a restauração, a substituição e a prevenção. Por exemplo:
 - Lubrificação de engrenagens = conservação
 - Retificação de uma mesa de desempenho = restauração.
 - Troca do plugue de um cabo elétrico = substituição.
 - Substituir o óleo lubrificante no período recomendado pelo fabricante = prevenção.

No paradigma moderno a manutenção deve ser organizada de tal maneira que o equipamento ou sistema pare de produzir somente de forma planejada. Quando este equipamento para de produzir por si próprio, sem uma definição gerencial= acorda este gerente de madrugada ainda no sono REM,

um horror, está-se diante de uma manutenção corretiva não planejada, a qual chamaremos de manutenção corretiva simplesmente, logo um fracasso da atividade de manutenção.

NÃO É MAIS ACEITÁVEL QUE O EQUIPAMENTO OU SISTEMA PARE DE MANEIRA NÃO PREVISTA.

O gerenciamento estratégico da atividade de manutenção consiste em ter a equipe atuando para evitar que ocorram falhas, e não manter esta equipe atuando, apenas, na correção rápida destas falhas.

Pode ser comparada a uma brigada de combate a incêndio: quando ocorre uma emergência a brigada deve atuar rapidamente, mas a principal atividade da brigada, a partir daí, é evitar a ocorrência de novos incêndios.

Assim:

Paradigma do passado: “O homem de manutenção sente-se bem quando executa um bom reparo.”

Paradigma do presente: “O homem de manutenção sente-se bem quando ele consegue evitar todas as falhas não previstas.”

Infelizmente, boa parte das empresas brasileiras ainda atua dentro do paradigma do passado, sendo que algumas já conseguiram caminhar para o paradigma moderno e estão dando grandes saltos nos resultados empresariais.

Na verdade, o homem e a mulher da manutenção do futuro precisam ser “cabeção” ou seja, usar a cabeça para evitar que os problemas aconteçam e em contrapartida braços “bem curtos” para interferir na planta o menos possível.

Sem esta mudança de paradigmas ter-se-á que fazer grande esforço para obter uma **melhoria pouco significativa nos resultados**, e esta pequena melhoria não será suficiente para permanecer no mercado.

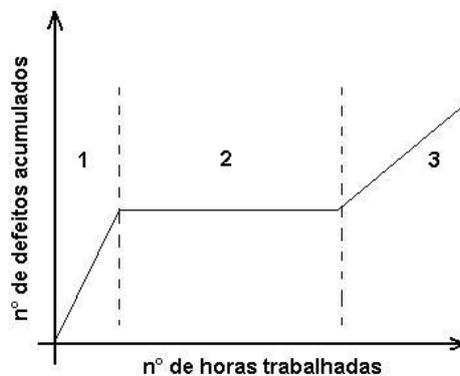
Em suma, hoje a Missão da Manutenção, segundo Alan Kardec e Julio Nascif é: **GARANTIR A DISPONIBILIDADE DA FUNÇÃO DOS EQUIPAMENTOS E INSTALAÇÕES DE MODO A ATENDER UM PROCESSO DE PRODUÇÃO OU DE SERVIÇO, COM CONFIABILIDADE, SEGURANÇA, PRESERVAÇÃO DO MEIO AMBIENTE E CUSTOS ADEQUADOS.**

De uma maneira geral, a manutenção em uma empresa tem como objetivos:

1. Manter equipamentos e máquinas em condições de pleno funcionamento para garantir a produção normal e a qualidade dos produtos;
2. Prevenir prováveis falhas ou quebras dos elementos das máquinas.

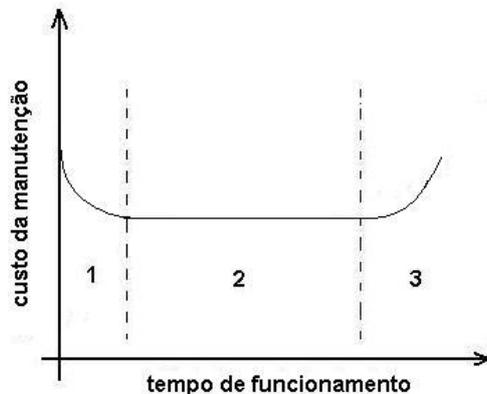
Outros conceitos para importantes:

- a) Manutenção ideal - é a que permite alta disponibilidade para a produção durante todo o tempo em que ela estiver em serviço e a um custo adequado.
- b) Vida útil de um componente - é o espaço de tempo que este componente desempenha suas funções com rendimento e disponibilidade máximas. A medida que a vida útil se desenvolve, desenvolve-se também um desgaste natural (crescente), que após um certo tempo inviabilizará seu desempenho, determinando assim o seu fim.
- c) Ciclo de vida de um componente - veja gráfico a seguir:



- 1) Fase de amaciamento - os defeitos internos do equipamento se manifestam pelo uso normal e pelo auto-ajuste do sistema. Normalmente estes defeitos estão cobertos pela garantia de fábrica.
- 2) Vida útil do componente - esta é a fase de pouquíssimas quebras e/ou paradas e é a fase de maior rendimento do equipamento;
- 3) Envelhecimento - os vários componentes vão atingindo o fim da vida útil e passam a apresentar quebras e/ou paradas mais freqüentes. É a hora de decidir pela reforma total ou sucateamento.

Veja no gráfico da bacia a seguir o custo da manutenção para cada fase:



1.4 Recursos necessários para Manutenção

Para que possa ocorrer manutenção, há necessidade que existam à disposição desta os seguintes recursos:

- Recursos materiais - equipamentos de teste e de medição, ferramentas adequadas, espaço físico satisfatório, ente outros.
- Recursos de mão-de-obra - dependendo do tamanho da empresa e da complexidade da manutenção aplicada, há a necessidade de uma equipe formada por profissionais qualificados em todos os níveis;
- Recursos financeiros - necessários para uma maior autonomia dos trabalhos;
- Recursos de informação - responsável pela capacidade de obter e armazenar dados que serão a base dos planos de manutenção.

1.5 Tipos de Manutenção

De acordo com o livro adotado nesta matéria, chamado **MANUTENÇÃO FUNÇÃO ESTRATÉGICA**, dos engs mecânicos, Alan Kardec e Julio Nascif, 5ª edição revisada e ampliada, de 2019, aliás, livro recomendado comprar urgente para alunos que trabalharão nesta área, seguiremos os conceitos dos 3 principais tipos de manutenção de acordo com a norma **NBR 5462**, a qual também urgente adquiri-la, a saber de uma maneira resumida:

- MANUTENÇÃO CORRETIVA**, efetuada logo após corrigir a pane ou falha dos equipamentos ou maquinas;
- MANUTENÇÃO PREVENTIVA**, efetuada em intervalos predeterminados destinada a reduzir a probabilidade da pane ou falha;
- MANUTENÇÃO PREDITIVA**, efetuada com sensores de monitoramento com técnicas de análise de falhas via meios de supervisão centralizadas ou de amostragem, para reduzir ao mínimo a manutenção preventiva e diminuir a corretiva.

Depois temos as manutenções:

- d) **Detectiva**- é a manutenção preditiva dos sistemas de proteção dos equipamentos, como painéis de controle por exemplo. Busca falhas ocultas destes sistemas, evitando que os mesmos não operem quando necessário, como um sistema de desligamento automático em caso de superaquecimento.
- e) **Engenharia de Manutenção**: É o nível mais elevado de investimento em manutenção. Consiste em buscar as causas da manutenção já no projeto do equipamento, modificando situações permanentes de mau desempenho, problemas crônicos, e desenvolvendo a manutenibilidade.

O livro adota hoje, 5ª edição, 2019, **7 tipos de técnicas ou estratégias de manutenção**, última edição eram 6, ou seja:

§MANUTENÇÃO CORRETIVA NÃO PLANEJADA
 §MANUTENÇÃO CORRETIVA PLANEJADA
 &MANUTENÇÃO PREVENTIVA
 §MANUTENÇÃO PREDITIVA
 §MANUTENÇÃO DETECTIVA
 §ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO
 §**MANUTENÇÃO PRESCRITIVA**

OBS, muito interessante:

- 1) **A MANUTENÇÃO PRESCRITIVA**, surgiu a partir da indústria 4.0 em 2012 na poderosa Alemanha, a qual usa sensores inteligentes, como Big Data, Internet das coisas, algoritmos, inteligência artificial e Sistemas Ciber Físicos (ou CPS, na sigla em inglês, Cyber-Physical-Systems)
 **mais detalhes deste Sistema CPS ver abaixo ok???

Essas inovações tecnológicas propiciou uma modificação sensível tanto na capacidade de detectar falhas antes de sua ocorrência como, através do aprendizado das máquinas, definir o que deve ser feito, ou seja, prescrever a solução.

É importante citar aqui a **Manutenção Produtiva Total (TPM)**, que não é um tipo de manutenção, mas um sistema de gerenciamento completo, envolvendo todos os tipos de manutenção. Foi desenvolvido no Japão e tem uma visão holística, isto é, o operador de uma máquina é responsável mais do que por sua simples operação.

Veja a evolução dos tipos de manutenção,
 ver tabela 1.1 pag. 9 do Alan Kardec, ok

Conforme o site da **Certi Insights <https://certi.org.br/blog/sistemas-ciber-fisicos/>, **os Sistemas Ciber Físicos** (ou CPS, na sigla em inglês, Cyber-Physical-Systems), são integrações que envolvem computação, comunicação e controle através de redes e processos físicos, isto é, as empresas têm a oportunidade de representar a realidade do mundo físico em ambientes digitais, com simulações, testes, previsões de desgastes, entre muitas coisas que a tecnologia oferece. Isso pode representar ganhos expressivos de **competitividade** para o negócio.

Na prática, os Sistemas Ciber físicos funcionam da seguinte forma: por meio de sensores que geram dados sobre o funcionamento de determinada máquina ou sistema, os computadores e as redes integradas monitoram os processos físicos.

Essas informações são replicadas em ambiente digital, com retornos imediatos e constantes, de modo que as conclusões podem afetar ambos os lados, em uma demonstração no ambiente virtual ou a partir de atuadores no ambiente físico. Importante destacar que esses dados precisam ser confiáveis e seguros para que possam embasar a tomada de decisões em um nível de risco aceitável.

Com os Sistemas Ciber Físicos, são fornecidas abstrações e alternativas de modelagem, design e análise de forma integrada. É um conceito e uma solução relativamente novo e sobre os quais muito se fala, dentro de um contexto de transformação digital nas indústrias. No entanto, ainda existe um grande potencial inexplorado de uso dessa tecnologia, que está em desenvolvimento e aprimoração no mundo todo.

Os setores que mais têm se beneficiado da criação Sistemas Ciber Físicos são aqueles que envolvem **grandes infraestruturas e operações custosas**, como a indústria de óleo e gás, geração de energia elétrica (usinas, barragens, aero geradores, solar, etc), distribuição (linhas de transmissão), aviação, metal mecânica pesada, entre outras, mas também aqueles que produzem bens e serviços críticos, e que devem ser muito criteriosos na análise de seus riscos.

As falhas, quando ocorrem nesses setores, implicam em prejuízos significativos ou, até mesmo, em perdas de vidas.

Os Sistemas Ciber Físicos são grandes “guarda-chuvas” de outros conceitos integrados, a saber:

- Gêmeos digitais (ou *digital twins*),
- Computação em nuvem (ou *cloud computing*) e
- Internet Industrial das Coisas (ou IIoT).

Vamos apresentar esses conceitos e como são contextualizados nos Sistemas Ciber Físicos.

Gêmeos digitais

Os gêmeos digitais, ou *digital twins*, são as representações virtuais da menor unidade de um Sistema Ciber Físico, seja um componente ou uma máquina. Eles representam os objetos físicos ou processos reais em andamento de forma individualizada. São consideradas peças centrais dos Sistemas Ciber Físicos e são essenciais para trazer informações para otimização do negócio.

Computação em nuvem

A computação em nuvem ou cloud computing é um meio bastante utilizado pelo qual é feita a comunicação entre os gêmeos físicos e seus gêmeos digitais. Os dados ficam disponíveis para acesso de diversos usuários pela internet.

A IIoT

É o conceito de IIoT aplicado à indústria. A Internet Industrial das Coisas (IIoT) descreve a geração de dados por meio de instrumentos, sensores e dispositivos conectados em rede junto a computadores.

Unindo esses três conceitos em uma abrangência ampla, os Sistemas Ciber Físicos permitem que sejam executadas análises de dados e treinamentos de inteligências artificiais, apoiando a tomada de decisões.

Vantagens dos Sistemas Ciber Físicos nas indústrias

As possibilidades que a tecnologia apresenta são imensas, e o foco sempre é a **competitividade**.

A digitalização da indústria é um movimento global e sem volta. A crise econômica e social despertada pela pandemia contribui para acelerar o processo. Organizações que previam mudanças para daqui a 5 anos estão correndo contra o tempo para **sobreviver no mercado**. O risco existe. A meta constante de redução de custos necessária para praticamente todas as empresas, em maior ou menor grau, passa por:

- **otimização de processos,**
- **aumento da produtividade,**
- **redução de falhas,**
- **desperdício zero** (ou o menor possível).

A tecnologia pode estimular a retomada da produção e do crescimento na indústria, que exige **decisões ágeis, acertadas, inovadoras e colaborativas**. Como implantar Sistemas Ciber Físicos

O investimento de recursos financeiros para a adoção de Sistemas Ciber Físicos pode não ser alto, especialmente no início do projeto. É possível começar com pequenos passos, focando nas características críticas e usando tecnologias de custo acessível, e observar rapidamente os resultados e o impacto que essas medidas podem trazer.

Assim:

Comece por um projeto piloto, em um departamento ou uma pequena equipe;

Determine os recursos que serão utilizados;

Selecione as pessoas envolvidas e capacite-as;

Trabalhe como um projeto, controlando prazos e custos;

Implemente as novas tecnologias;

Monitore a implantação para tomar ações.

O que é preciso considerar:

- Qual o objetivo da implantação de Sistemas Ciber Físicos e os resultados esperados?
- Qual a situação atual do chão de fábrica? As tecnologias, protocolos e medições são adequadas?
- Como está a integração das informações e qual o fluxo das mesmas?
- Qual a capacidade computacional atual?
- A adequação do espaço físico, virtual e da distribuição das equipes está coerente?

2-Manutenção Corretiva – MC

A manutenção corretiva corresponde ao estágio mais primitivo da manutenção mecânica. Entretanto, como é praticamente impossível acabar totalmente com as falhas, a manutenção corretiva ainda existe.

Conforme a NBR 5462 é a manutenção efetuada após a ocorrência de uma pane ou de uma falha destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida.

É definida como um conjunto de procedimentos que são aplicados a um equipamento fora de ação ou parcialmente danificado, com o objetivo de fazê-lo voltar ao trabalho, no menor espaço de tempo e custo possível. É, portanto, uma manutenção não planejada, de reação, *ou seja, de técnicas ou estratégias de manutenção REATIVA*, no qual a correção de falha ou de baixo desempenho se dá de maneira aleatória, isto é, sem que a ocorrência fosse esperada.

Implica em altos custos, porque causa perdas na produção e geralmente a extensão dos danos aos equipamentos é maior. *Também afetar a segurança dos trabalhadores e o meio ambiente, principalmente em plantas com processos contínuos de fabricação de altas pressões, vazões e temperaturas, com quantidade de energia desenvolvida considerável, como indústrias químicas, de cimento e petróleo.* É importante observar que pode englobar desde a troca de um simples parafuso de fixação quebrado como substituir todo um sistema elétrico em pane.

Veja o quadro comparativo de custos da manutenção corretiva não planejada em relação à preventiva e preditiva:

Tipo de manutenção	Custo US\$ / HP / Ano
Corretiva não planejada	17 a 19
Preventiva	11 a 13
Preditiva	7 a 9

Obs.: HP (horse power) é a potência instalada – Fonte: NMW Chicago 1998.

Ao atuar em um equipamento que apresenta um defeito ou um desempenho diferente do esperado estamos fazendo manutenção corretiva. Assim, caros alunos, a manutenção corretiva não é, necessariamente, a manutenção de emergência.

Convém observar que existem duas condições específicas que levam à manutenção corretiva:

- a) *Desempenho deficiente apontado pelo acompanhamento das variáveis operacionais ou de funcionamento do equipamento (mecânicas, elétricas, etc).*

b) Ocorrência da falha no equipamento ou sistema.

Assim, vale realçar que a ação **PRINCIPAL** da manutenção corretiva é corrigir ou restaurar as condições de funcionamento do equipamento ou sistema.

2.1 Tipos de Manutenções Corretivas

Pode-se dividir em duas classes:

2.1.1 Manutenção Corretiva Não Planejada (MCNP)

Também conhecida como Manutenção Corregida Não Programada ou simplesmente **Emergencial**. **Não há tempo para a preparação do serviço ou não se faz planejamento, daí o seu nome**. Infelizmente, ainda é mais praticada do que deveria.

Importante ressaltar que quando o percentual das manutenções corretivas não planejadas é maior que dos outros tipos de manutenções, seu Departamento de Manutenção é comandado pelas máquinas ou equipamentos via falhas e o desempenho empresarial da Organização, certamente, não está adequado às necessidades de competitividade atuais.

Em plantas industriais de processos contínuos como petróleo, produtos químicos, cimento, etc, tubulações sob pressões, vazões, temperaturas elevadas, altas massas de energia processadas uma falha é catastrófica em todos os sentidos como acidentes aos trabalhadores e meio ambiente e em outros equipamentos não envolvidos diretamente logo nem PENSAR numa MCNP OK???

Faça um gráfico **DESEMPENHO x TEMPO** de um equipamento ou máquina com certa performance esperada, mostrando queda de desempenho ao longo de sua operação. Assim mostrar o tempo de funcionamento, o tempo de manutenção e o tempo de funcionamento restaurado. Que você conclui sobre o tempo até a falha se forem tempos diferentes??

2.1.2 Manutenção Corretiva Planejada (MCP)

É a ação de correção do desempenho menor do que o esperado baseado no acompanhamento dos parâmetros de condição=MONITORAMENTO e diagnóstico levados a efeito pela Manutenção Preditiva, Detectiva, e a Manutenção de Inspeção ou Prescritiva.

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 adoção de uma política de manutenção corretiva planejada será mais efetiva quando:

- Ferramental adequado, sobressalentes e equipamentos
- Pessoal especializado com tecnologia adequada para execução dos serviços e/ou buscar pessoal especializado fora da empresa
- Intervenção sempre conectada com a linha de produção
- Aspectos relacionados a segurança do pessoal e meio ambiente.

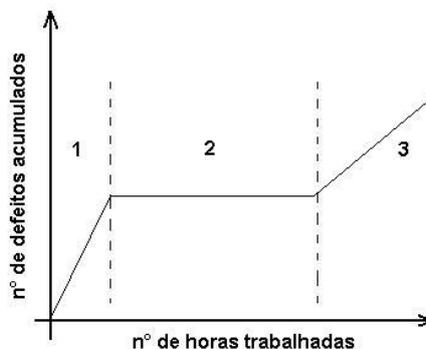
Um das características mais importantes do conjunto Manutenção Corretiva Planejada é decorrente da ação de execução de MONITORAMENTO com sensores em pontos críticos (elementos de máquinas) nos vários equipamentos ou máquinas operatrizes da empresas.

Esse controle de monitoramento advém das manutenções do tipo PREDITIVA, DETECTIVA e da INSPEÇÃO DE MANUTENÇÃO OU PRESCRITIVA via sensores os quais atuando nesses equipamentos garantirão manutenção corretiva planejada SEMPRE antes da falha ocorrer ok?????

Comentado [N1]:

2.2 Reparo: É a correção de uma falha inesperada, sem qualquer planejamento. Vamos novamente ver o gráfico da vida útil de um equipamento.

Na região 1 (fase de amaciamento) existe um crescimento do número de defeitos a partir do ponto zero, decorrente da acomodação dos componentes recém instalados, bem como da manifestação de possíveis falhas internas dos materiais utilizados.



Na região 2 (vida útil) pode-se notar que o número de defeitos permanece sem alteração. É nesta fase que o equipamento tem seu melhor desempenho pois está sempre no melhor rendimento e com ausência de defeitos (paradas).

Na região 3 (envelhecimento) o número de defeitos começa a crescer e o custo da manutenção torna-se caro.

A manutenção corretiva de reparo se aplica exatamente na região 2 do gráfico, quando o equipamento está em sua melhor performance, e ocorrem quebras/falhas inesperadas.

2.3 Reforma: quando o equipamento atinge seu rendimento mínimo (nível mínimo) ou a região 3, ele não está mais apto a desempenhar suas funções satisfatoriamente, uma vez que produz pouco (muitas paradas), sem qualidade e com custo elevado. Deste ponto em diante, existem duas opções: substituir (vender ou sucatear) o equipamento ou fazer uma manutenção corretiva de reforma. Define-se reforma como a completa análise, desmontagem, substituição e ou recuperação dos componentes, limpeza, montagem, testes, pintura, etc.

Existem várias classes de reforma, desde a mais simples até as mais complexas, que envolvem também a modernização do equipamento. É importante também lembrar que a reforma deve ser precedida por uma profunda análise técnica (mecânica e econômica) sobre o equipamento, a fim de concluir a melhor opção: substituição ou reforma.

2.4 Organização da Manutenção Corretiva

2.4.1 Oficina: É fundamental que toda empresa possua uma oficina de manutenção suficientemente equipada que permita a resolução dos problemas mais comuns que ocorrem com os equipamentos. Deve prever ferramentas, peças de reposição, instrumentos de medição e controle, fichários (fichas de solicitação e controle de manutenção), etc. Os trabalhadores deverão ser bem treinados e como característica básica devem ser participativos e trabalharem em equipe.

2.4.2 Controle: O controle é realizado pela ficha de manutenção e ficha de serviço.

- **Ficha de manutenção corretiva:** Cada operador é responsável pelo seu equipamento, portanto, é ele quem deve avisar ao setor de manutenção sobre os defeitos ocorridos. A comunicação é feita através da ficha de manutenção (solicitação de manutenção), onde se informa sobre os sintomas e possíveis causas do problema. Veja modelo a seguir:

IP – Indústria de Peças S.A.		Ficha de Manutenção Corretiva	
Equipamento:		Localização:	

Defeito Provável:	
Sintoma Apresentado:	
Causa Provável:	
Solicitado por:	Recebido por:
Data: / / 2007	Data: / / 2007
Horário:	Horário:

- Ficha de serviço:** Tem por objetivo documentar os problemas executados no equipamento durante o tempo de manutenção, seja na oficina de manutenção ou seu local. Nesta ficha são anotadas as peças substituídas, modificações feitas, outros problemas encontrados, bem como a provável causa do defeito. Esta ficha de serviço deverá ser arquivada em uma pasta que mostre toda a história de manutenção do referido equipamento. É importante destacar o número total de horas trabalhadas, pois isto servirá para o cálculo do custo da manutenção corretiva realizada. Veja modelo a seguir:

IP – Indústria de Peças S.A.	Ficha de Serviço nº _____ / 2007
Equipamento: _____ N° _____	
Executor: _____ Data: ____ / ____ / 2007	
Hora início: _____ Hora final: _____ Total de horas trabalhadas: _____	
Defeito(s) Encontrado(s):	
Causa Provável:	
Procedimento:	
Peças Substituídas:	
Assinatura Executor:	Assinatura Responsável Setor:

2.5 Sinalização: Para efetuar a manutenção corretiva, ou mesmo uma simples inspeção, em um equipamento ou sistema, em seu próprio local, é fundamental tomar diversos cuidados no sentido de garantir a segurança das pessoas envolvidas, quer do operador de manutenção, quer das pessoas do processo produtivo nas proximidades.

Esses cuidados são essenciais para a segurança. O isolamento pode ser feito por uma simples sinalização ou até pelo isolamento do equipamento por barreiras. Em ambos os casos, torna-se necessário a colocação de um aviso identificando que a máquina está em manutenção, sendo necessário conter o nome da pessoa responsável pelo trabalho e prazo estimado para término dos trabalhos. A partir deste instante o operador de manutenção é o único responsável pela operação do equipamento. Nenhuma outra pessoa deverá ligar ou desligar a máquina, estar próximo ou interferir no trabalho, a não ser que seja solicitado. Nos casos de manutenção elétrica, o cuidado com o isolamento elétrico é primordial. Abaixo, tem-se um modelo de aviso de manutenção.

IP – Indústria de Peças S.A.	
EQUIPAMENTO EM MANUTENÇÃO	
<i>Observação: Cor de fundo – amarelo; Destaque – Preto (Sugestão).</i>	
Operador de Manutenção:	Tempo Estimado: ____ : ____ h Início: ____: ____h Término: ____: ____h Data: ____ / ____ / 200

A proteção dos locais de trabalho e das pessoas que neles trabalham através de cores e de sinais de prevenção constitui uma técnica especial de segurança que permite a obtenção de resultados importantes. Em certos momentos, o trabalho deve continuar paralelo a certas circunstâncias temporais: trabalhos de manutenção, situações de emergência, etc. Assim torna-se necessário o uso de cores e sinais uniformes para prevenir certos riscos.

Para garantir segurança no trabalho existem normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) associadas a cores e sinais, tais como:

- a) Norma NB-54: Cores fundamentais a serem aplicadas sobre canalizações empregadas nas indústrias para a condução de líquidos e gases;
- b) Norma NB-76: Cor na segurança do trabalho.

A sinalização informativa se destina a transmitir uma mensagem genérica. Neste tipo de sinalização é importante observar os contrastes de cores quanto à distância e visibilidade, conforme tabela a seguir:

Ordem	Cor de Fundo	Destaque
1°	Amarelo	Preto
2°	Laranja	Preto
3°	Azul-marinho	Amarelo-laranja
4°	Branco	Verde-garrafa
5°	Branco	Verde vivo
6°	Branco	Preto
7°	Branco	Azul-marinho
8°	Azul-marinho	Branco
9°	Preto	Amarelo-laranja
10°	Preto	Branco

OBS PARA SE APROFUNDAR MAIS NA MANUT. CORRETIVA VER ABAIXO:

- 1) Ver NORMA NBR-5462 COM ACESSO GRATUITO NA BIBLIOTECA DO IFSC
- 2) Ver o site maravilhoso da ENGETELS <https://engeteles.com.br/manutencao-corretiva/>

3. Manutenção Preventiva-MP

Conforme a NBR 5462, a MP é efetuada em intervalos predeterminados, ou de acordo com os critérios prescritos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item.

Para os engenheiros mecânicos Kardec e Nascif, em seu livro maravilhoso *Manutenção Gestão Estratégica*, 1ª edição em 2001, recomendo DE NOVO CAROS ALUNOS, comprar essa 5ª edição revisada e ampliada, de 2019, (ano antes da peste do covid-19, mas que virão outros, se preparem), fala que a MP, pág. 77, *“Inversamente à política da MC, a MP procura obstinadamente evitar a ocorrência de falhas, ou seja, procura prevenir. Em determinados setores, como na aviação, a adoção da MP é imperativa para determinados sistemas ou componentes, pois o fator segurança se sobrepõe aos demais”*.

E mais, *“como nem sempre os fabricantes fornecem dados precisos para a adoção nos planos de MP, além das condições operacionais e ambientais influírem de modo significativo na expectativa de degradação dos equipamentos, a definição de periodicidade e substituição deve ser estipulada para cada instalação em particular ou, no máximo, utilizando parâmetros de plantas similares operando em condições similares.”*

E muito importante a destacar na págs. 78 e 79 “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 descartada **a falha** entre duas intervenções preventivas, o que, obviamente, implicará uma ação corretiva.

QUE FATORES DEVE-SE LEVAR EM CONSIDERAÇÃO, PARA ADOÇÃO DE UMA POLITICA DE MP???

- 1) Quando não é possível a manutenção Preditiva, Detectiva ou Prescritiva;
- 2) Quando existem aspectos relacionados com a segurança pessoal ou de instalação que tornam mandatários a intervenção, normalmente para substituição de componentes;
- 3) Por oportunidade, em equipamentos críticos de difícil liberação operacional
- 4) Quando houver riscos de agressão ao meio ambiente;
- 5) Em sistemas complexos e/ou de operação contínua representado por paradas programadas nas unidades operacionais de refinarias de petróleo, petroquímicas, siderúrgicas, dentre outras;

Assim se conclui, caros alunos, que a MP terá mais sucesso quanto maior for a simplicidade na reposição das peças inspecionadas, quanto mais alto forem os custos das falhas ocorridas na produção principalmente e falhas prejudicarem a segurança do pessoal operacional e socialmente a questão ambiental tão importante que até o papa Francisco na encíclica Louvado Seja fala do cuidado com a casa comum, vale leitura.

Nas instalações industriais, as paradas para a manutenção constituem uma preocupação constante para a programação da produção. Se as paradas não forem previstas, ocorrem vários problemas, tais como: atrasos no cronograma de fabricação, indisponibilidade da máquina, elevação de custos, etc.

Para evitar esses problemas, as empresas introduziram o planejamento e a programação da manutenção. A manutenção preventiva é o estágio inicial da manutenção planejada, e obedece a um padrão previamente esquematizado. Ela estabelece paradas periódicas com a finalidade de permitir os reparos programados, assegurando assim o funcionamento perfeito da máquina por um tempo predeterminado.

Veja os principais conceitos:

- a) Planejamento da manutenção - significa conhecer os trabalhos, os recursos para executá-los e tomar decisões. Responde às perguntas: O que? Quanto? Como?
- b) Programação da manutenção - significa determinar pessoal, dia e hora para execução dos trabalhos. Responde às perguntas: Quem? Quando? Em quanto tempo?
- c) Controle da manutenção - é a coleta e tabulação de dados, seguido de interpretação.
- d) Organização da manutenção - significa a maneira como o serviço de manutenção se compõe, se ordena e se estrutura para alcançar os objetivos visados.
- e) Administração da manutenção - significa normatizar as atividades, ordenar os fatores de produção, contribuir para a produção e a produtividade com eficiência, sem desperdícios e retrabalho.

3.1 Objetivos da Manutenção Preventiva-MP

Os principais objetivos das empresas são: redução de custos, qualidade do produto, aumento de produção, preservação do meio ambiente, aumento da vida útil dos equipamentos e redução de acidentes do trabalho. Como a manutenção preventiva colabora para alcançar estes objetivos?

- a) Redução de custos - Em sua grande maioria, as empresas buscam reduzir os custos incidentes nos produtos que fabricam. A manutenção preventiva pode colaborar atuando na redução das peças sobressalentes, diminuição nas paradas de emergência, aplicando o

mínimo necessário, ou seja, sobressalente X compra direta; horas ociosas X horas trabalhadas; material novo X material recuperado.

- b) Qualidade do produto - A concorrência no mercado nem sempre ganha com o menor preço. Muitas vezes ela ganha com um produto de melhor qualidade. Para atingir essa meta, a manutenção preventiva deverá ser aplicada com maior rigor, ou seja: máquinas deficientes X máquinas eficientes; abastecimento deficiente X abastecimento otimizado.
- c) Aumento de produção - É preciso manter a fidelidade dos clientes já cadastrados e conquistar outros. A manutenção preventiva colabora para o alcance dessa meta atuando no binômio produção atrasada X produção em dia.
- d) Efeitos no meio ambiente - Em determinadas empresas, o ponto mais crítico é a poluição causada pelo processo industrial. Se a meta da empresa for a diminuição ou eliminação da poluição, a manutenção preventiva, como primeiro passo, deverá estar voltada para os equipamentos antipoluição, ou seja, equipamentos sem acompanhamento X equipamentos revisados; poluição X ambiente normal.
- e) Aumento da vida útil dos equipamentos - O aumento da vida útil dos equipamentos é um fator que, na maioria das vezes, não pode ser considerado de forma isolada. Esse fator, geralmente, é consequência de:
- Redução de custos;
 - Qualidade do produto;
 - Aumento de produção;
 - Efeitos do meio ambiente.
- f) Redução de acidentes do trabalho - Não são raros os casos de empresas cujo maior problema é a grande quantidade de acidentes. Os acidentes no trabalho causam:
- Aumento de custos;
 - Diminuição do fator qualidade;
 - Efeitos prejudiciais ao meio ambiente;
 - Diminuição de produção;
 - Diminuição da vida útil dos equipamentos.

Como um equipamento sob manutenção preventiva tende a não parar em serviço e se mantém regulado por longos períodos, pode-se listar as seguintes **vantagens**:

§Boa condição de gerenciamento das atividades e nivelamento de recursos;

§previsibilidade de consumo de materiais e sobressalentes

§Paradas programadas ao invés de paradas imprevistas;

§Maior vida útil do equipamento;

§Maior preço em uma eventual troca do equipamento;

§Maior qualidade do produto final;
§Diminuição de horas extras.

Por outro lado, existem as prováveis **desvantagens**:

§Possibilidade de introdução de **ERROS** durante as intervenções devido:

FALHA HUMANA, FALHA DE SOBRESSALENTES, CONTAMINAÇÕES INTRODUZIDAS NO SISTEMA DE ÓLEO, DANOS DURANTE PARTIDAS E PARADAS DAS MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS E MUITO SÉRIO, FALHAS DOS PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO

§Maior número de pessoas envolvidas na manutenção;
§Folha de pagamento mais elevada;

Entretanto, sabe-se que **as vantagens são muito superiores que as desvantagens**, principalmente no que se refere ao **custo anual da manutenção**.

3.2 Organização do Plano de Manutenção Preventiva

Considere uma indústria que ainda não tenha definida a manutenção preventiva, onde não haja controle de custos e nem registros ou dados históricos dos equipamentos. Se essa indústria desejar adotar a manutenção preventiva, deverá percorrer as seguintes fases iniciais de desenvolvimento:

- a) Decidir qual o tipo de equipamento que deverá marcar a instalação da manutenção preventiva, que deve ser realizado numa cooperação da supervisão de manutenção e de operação;
- b) Efetuar o levantamento e posterior cadastramento de todos os equipamentos que serão escolhidos para iniciar a instalação da manutenção preventiva (plano piloto);
- c) Redigir o histórico dos equipamentos, relacionando os custos de manutenção (mão-de-obra, materiais e, se possível, lucro cessante nas emergências), tempo de parada para os diversos tipos de manutenção, tempo de disponibilidade dos equipamentos para produzirem, causas das falhas etc.
- d) Elaborar os manuais de procedimentos para manutenção preventiva, indicando as freqüências de inspeção com máquinas operando, com máquinas paradas e as intervenções.

- e) Enumerar os recursos humanos e materiais que serão necessários à implementação da manutenção preventiva.
- f) Apresentar o plano para aprovação da gerência e da diretoria.
- g) Treinar e preparar a equipe de manutenção.

Se uma empresa contar com um modelo organizacional ótimo, com material sobressalente adequado e racionalizado, com bons recursos humanos, com bom ferramental e instrumental e não tiver quem saiba manuseá-los, essa empresa estará perdendo tempo no mercado. A escolha do ferramental e instrumental é importante, porém, mais importante é o treinamento da equipe que irá utilizá-los.

3.3 Documentação da Manutenção Preventiva

Um plano de manutenção bem elaborado precisa ser controlado. As informações geradas podem ser processadas de diversas maneiras: manual, semi-automatizado, e totalmente informatizado. Porém, qualquer que seja a forma adotada, a estratégia a ser tomada tem como base:

- Codificação do equipamento: cada um dos equipamentos dentro da empresa será identificado e codificado em relação à sua posição dentro de determinada seção;
- Arquivo de máquinas: para cada equipamento deverá ser aberta uma pasta de informações onde constará quaisquer informações;
- Codificação das peças: para facilitar a substituição de peças, cada equipamento será dividido em sistemas, conjuntos e peças, sendo que cada um deles receberá um código de identificação;
- **Criação de fichas digitais de informação e controle com será visto nas próximas páginas a seguir ok???**

- **Ficha do equipamento:** tem por objetivo reunir as principais informações a respeito de um tipo de equipamento. Veja modelo:

ITT – Indústria de Terraplanagem		Ficha de Máquina nº ____/2007	
Equipamento: TRATOR DE ESTEIRAS		Código 9982-XYWZ	
Fabricante:			
Função:			
Localização:			
Data de compra:		Valor:	
Fornecedor:		Endereço:	
PRINCIPAIS PEÇAS DE REPOSIÇÃO			
Código	Peça	Fabricante	

- **Ficha de manutenção** preventiva: o ponto de partida da manutenção preventiva é o levantamento das partes da máquina mais sujeitas a falhas e dos pontos que exigem regulagens periódicas. Essas informações são normalmente fornecidas pelo fabricante. Veja modelo:

ITT – Indústria de Terraplanagem	
Equipamento: TRATOR DE ESTEIRAS	Código 9982-XYWZ
FICHA DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA - INSPEÇÃO PERIÓDICA	
Tarefa	Situação
1. Limpeza <ul style="list-style-type: none"> • Lavar e limpar toda a unidade. 	

2. Motor <ul style="list-style-type: none"> • Apertar os parafusos de montagem, se necessário • Regular o motor • Verificar o jogo da ponta do virabrequim • Verificar os drenos da caixa de ar • Inspeccionar os orifícios de admissão e anéis dos pistões • Medir a compressão e pressões no cárter, caixa de ar e na exaustão • Verificar a sincronização dos motores (unidades com dois motores) 	
3. Purificador de ar <ul style="list-style-type: none"> • Verificar se o sistema de admissão de ar tem trincas ou vazamentos 	
4. Correias de acionamento <ul style="list-style-type: none"> • Verificar a tensão e o desgaste de todas as correias de acionamento 	
....	
....	
17. Acessórios <ul style="list-style-type: none"> • Verificar o funcionamento de todos os acessórios 	
18. Inspeção Geral <ul style="list-style-type: none"> • Inspeccionar toda a unidade, procurar vazamentos, porcas e parafusos soltos, trincas, soldas partidas e peças empenadas • Operar a unidade e verificar o funcionamento de todos os controles 	
19. Lubrificação <ul style="list-style-type: none"> • Fazer lubrificação e verificações recomendadas pela Tabela de Lubrificação para intervalos de 10, 50, 100, 200, 500 e 1000 horas de operação. 	
Identificação do Operador de Manutenção	
Data da Inspeção	

- Ficha de controle: tem por objetivo controlar a vida útil de cada um dos componentes e peças de um determinado equipamento. Veja modelo:

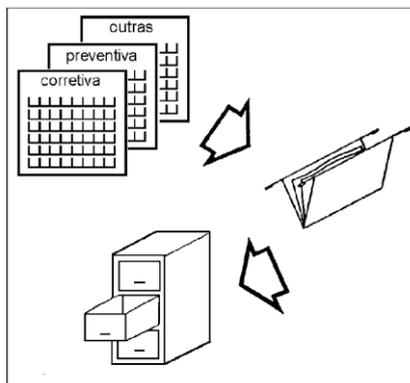
ITT – Indústria de Terraplanagem		Ficha de Controle n° ____/2007	
Equipamento: TRATOR DE ESTEIRAS		Código: 9982-XYWZ	
Peça/Sistema: CORREIA DO VENTILADOR		Código: BR-SC-WRFEDK	
Data da Troca (dd/mm/aa)	Horas Trabalhadas	Horas Acumuladas	Responsável (ident.)

Vida útil estimada: 600 horas			

3.4 Formas de Controle da Manutenção Preventiva

É o sistema no qual as manutenções preventivas são controladas e analisadas por meio de formulários e mapas, preenchidos manualmente e guardados em pastas de arquivo.

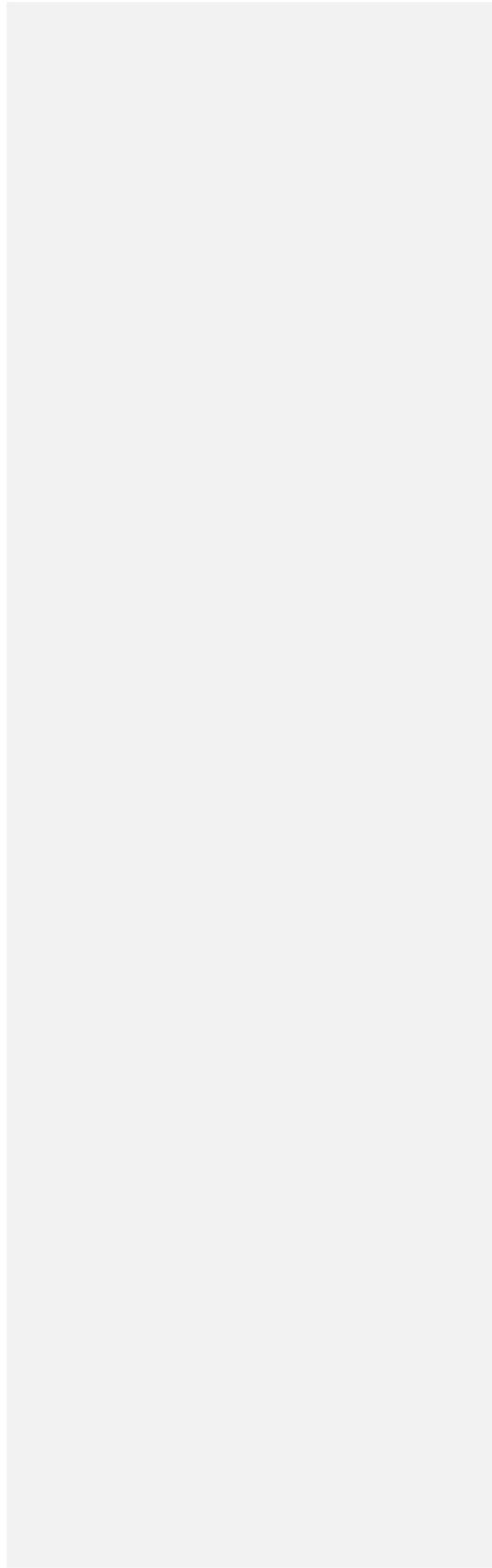
O controle pode ser automatizado, no qual toda a intervenção da manutenção tem seus dados armazenados em computadores, para melhoria da logística da informação além da obtenção facilitada de consultas, listagens, tabelas e gráficos, aumentando grandemente a agilidade na tomada de decisões.



OBS: PARA SE **APROFUNDAR** MAIS NA MANUT. PREVENTIVA VEJA:

<https://engeteles.com.br/o-que-e-manutencao-preventiva/>

:



4. Manutenção Preditiva

A manutenção preditiva é uma fase bem avançada de um plano global de manutenção. Refere-se ao processo no qual a intervenção sobre um equipamento ou sistema somente é realizado quando este apresenta uma mudança na sua condição de operação. Significa prever as condições de funcionamento dos equipamentos permitindo sua operação contínua pelo maior tempo possível. Todo o controle se dá pela observação (monitoramento) destas condições, como por exemplo, pela observação do nível de ruído de um determinado mancal de rolamento.

É aquela que indica as condições reais de funcionamento das máquinas com base em dados que informam o seu desgaste ou processo de degradação. Trata-se da manutenção que prediz o tempo de vida útil dos componentes das máquinas e equipamentos e as condições para que esse tempo de vida seja bem aproveitado. Na Europa, a manutenção preditiva é conhecida pelo nome de manutenção condicional e nos Estados Unidos recebe o nome de preditiva ou previsional

Conceito: é o conjunto de atividades de acompanhamento das variáveis ou parâmetros que indicam a performance ou desempenho dos equipamentos, de modo sistemático, visando definir a necessidade ou não de intervenção. Quando a intervenção, fruto do acompanhamento preditivo, é realizada, estamos na verdade realizando uma manutenção corretiva planejada.

Na prática diária da manutenção, torna-se difícil separar onde termina a manutenção preventiva e onde se inicia a manutenção preditiva, pois embora muitos operadores de manutenção desconheçam o método, eles já o utilizam parcialmente na prática. Por exemplo, quando determinam a parada de uma máquina fora da programação preventiva pelo fato da mesma estar superaquecida ou com vibração fora do comum, mesmo que ainda opere.

Para realizar a manutenção preditiva torna-se necessário mudar toda a filosofia de atuação da equipe de trabalho. É preciso, antes de tudo, capacitar uma equipe em manutenção preditiva e orientar todo o pessoal por meio de treinamentos específicos.

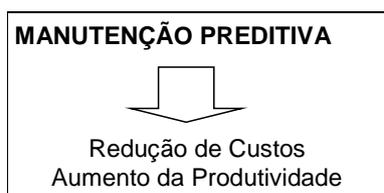
4.1 Objetivos da Manutenção Preditiva

Os objetivos da manutenção preditiva são inúmeros, comparados ao método da manutenção meramente corretiva ou da preventiva:

- Determinar, antecipadamente, a necessidade de serviços de manutenção numa peça específica de um equipamento;
- Eliminar desmontagens desnecessárias para inspeção;
- Aumentar o tempo de disponibilidade dos equipamentos;
- Reduzir o trabalho de emergência não planejado;
- Impedir o aumento dos danos;
- Aproveitar a vida útil total dos componentes e de um equipamento;

- Aumentar o grau de confiança no desempenho de um equipamento ou linha de produção;
- Determinar previamente as interrupções de fabricação para cuidar dos equipamentos que precisam de manutenção.

Por meio desses objetivos, pode-se deduzir que eles estão direcionados a uma finalidade maior e importante: redução de custos de manutenção e aumento da produtividade.



4.2 Metodologia

A manutenção preditiva se preocupa com as alterações que ocorrem no comportamento normal do equipamento. Para chegar-se às informações que traduzem a “instabilidade” de um equipamento, há necessidade de estabelecer-se uma diagnose sobre o equipamento, que consiste na monitoração de seus componentes.

Para o desenvolvimento da diagnose, o profissional de manutenção deverá estudar o equipamento para compreender a cadeia de funcionamento e então descobrir a origem das falhas, bem como as conseqüências destas nos outros componentes. O conhecimento do funcionamento permite, com segurança, obter os dados necessários à diagnose dentro de uma estreita margem de erros. Descobrir as causas de uma falha é mais importante do que a simples troca de um componente danificado.

Para a elaboração de um diagnóstico, os envolvidos no problema precisam saber qual o mecanismo de deterioração que leva à geração de falhas e como uma falha exerce ação nos componentes associados. A operação de um equipamento ou mesmo componente, em perfeitas condições, fornece alguns dados, que são denominados **parâmetros** (vibrações, temperatura, pressão, etc.), permitindo executar o diagnóstico com boa margem de segurança.



No caso comum, basta verificar uma alteração nestes parâmetros que o problema pode ser resolvido, efetuando a manutenção neste componente. Entretanto, quando se trata de um processo racional, a substituição não é simplesmente executada, mas sim são estudados os efeitos da alteração dos componentes associados e, principalmente, são investigadas as causas do desgaste visando obter meios de atenuar tais causas, quando não são eliminadas.

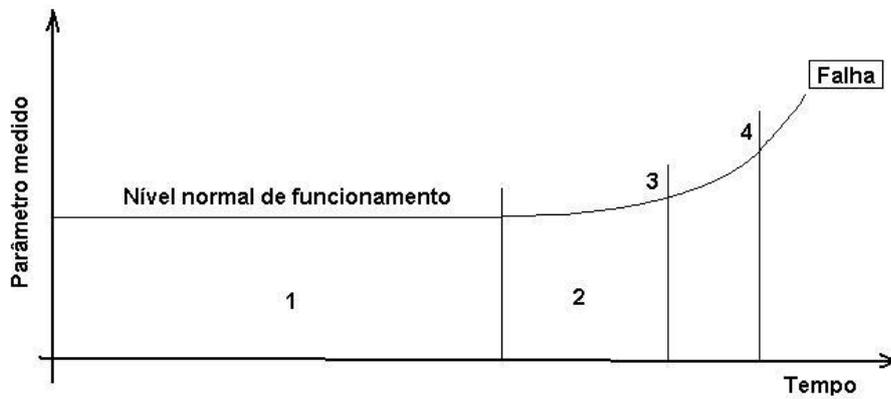
Para a implantação de uma sistemática de manutenção preditiva em um equipamento ou sistema, é necessário:

- a) Verificação de quais componentes a operação do equipamento depende;
- b) Verificar, junto ao fornecedor, quais os valores numéricos dos parâmetros que interessam à manutenção (valores padrões - referentes a equipamentos novos);
- c) Determinação do procedimento de medição destes parâmetros que interessam à manutenção;
- d) Fixação dos limites **normal**, **alerta** e **perigoso** para os valores desses parâmetros. Deve-se utilizar os valores estabelecidos nas especificações internacionais, na ausência de dados experimentais;
- e) Elaboração de um procedimento para registrar e tabelar todos os valores que forem medidos (referentes aos valores padrões);
- f) Determinação experimental ou empírica dos intervalos de tempo entre as medições sucessivas*.

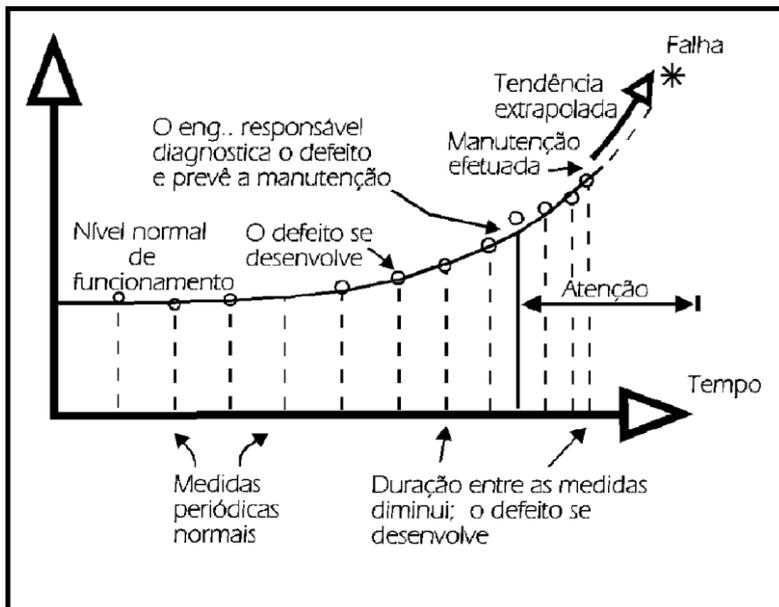
* Obs.: Este item é fundamental, uma vez que o responsável pela manutenção deve assegurar que não haverá paradas não programadas devido à quebra de um componente qualquer durante o período entre observações sucessivas. Caso contrário, o programa de manutenção perde o sentido, uma vez que sua finalidade principal é evitar paradas inesperadas.

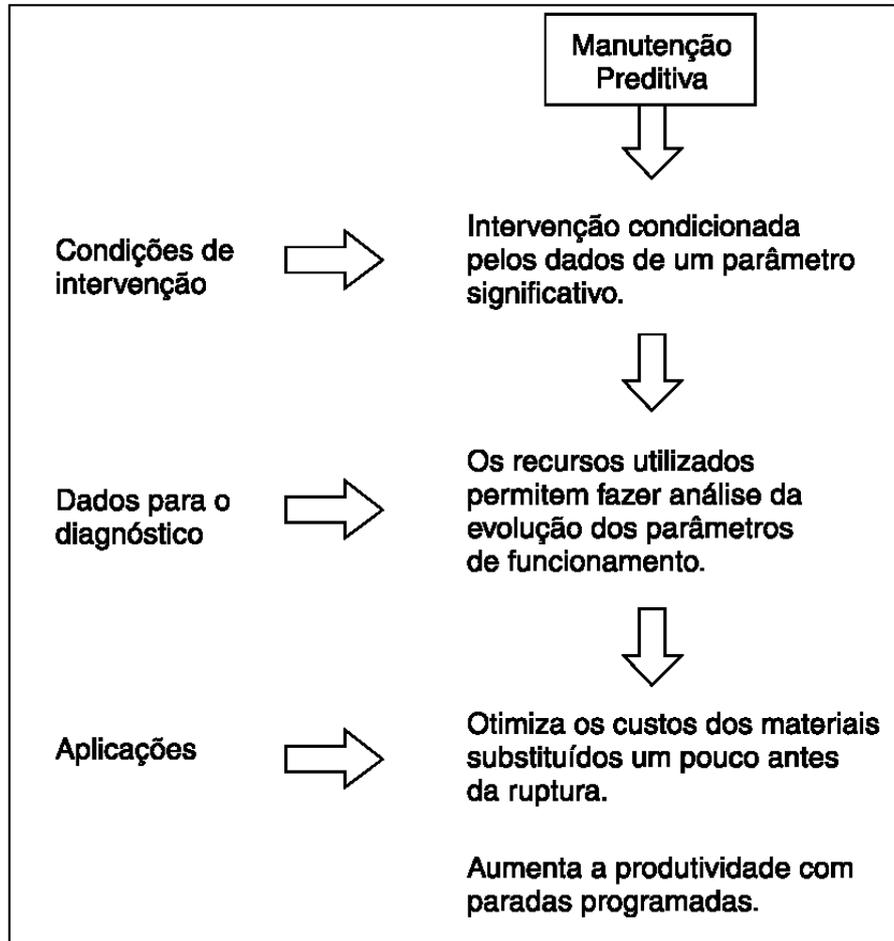
4.3 Análise de Falha

A análise da tendência de falha consiste em prever com antecedência a quebra, por meio de instrumentos e aparelhos que exercem vigilância constante, predizendo a necessidade de reparo. Esta tendência pode ser percebida nos gráficos abaixo:



- 1 – Zona de medidas periódicas normais: intervalo definido previamente.
- 2 – Zona de desenvolvimento do defeito: duração entre as medidas diminui (acompanhamento da evolução do defeito);
- 3 – Zona de diagnóstico do defeito: a manutenção é prevista;
- 4 – Zona de realização da manutenção: antes da ocorrência da falha. Após a intervenção, há um retorno à zona 1.





4.4 Formas de Monitoramento

A avaliação do estado do equipamento se dá através da medição, acompanhamento ou monitoração de parâmetros. Esse acompanhamento pode ser feito de três formas:

- Acompanhamento ou monitoração subjetiva: Dá-se pela percepção de que algum parâmetro está fora do comum, por exemplo: colocar a mão na caixa de mancal e perceber que a temperatura está acima do normal; pegar um pouco de lubrificante da máquina nos dedos e comparar a viscosidade; escutar ruído acima do comum na caixa de marcha; etc. Portanto, é o acompanhamento que se dá através dos sentidos visão, audição, tato e olfato. Pode ser feito por qualquer um, inclusive o próprio

operador. E a monitoração será tão confiável quanto a experiência do operador. Este acompanhamento deve sempre ser incentivado, e já é feito muitas vezes sem mesmo ser percebido. Entretanto, não deve ser usado como único método, porque há risco da percepção não ocorrer ou de ocorrer uma percepção errada.

- Acompanhamento ou monitoração objetiva: É feito com base em medições utilizando equipamentos ou instrumentos especiais. Considera-se objetiva por fornecer um valor de medição do parâmetro que está sendo acompanhado que não depende dos sentidos do operador do instrumento. É importante que os monitores sejam treinados e os instrumentos estejam aferidos e calibrados.
- Monitoração contínua: É também um acompanhamento objetivo. Foi adotado inicialmente em equipamentos de alta responsabilidade cujo desenvolvimento do defeito se dava em pouco tempo. Como seu custo era alto, somente seu uso era justificado nessa situação, mas com o desenvolvimento dos sistemas digitais e da informática, isso tem se tornado possível, ainda que restrito a equipamentos caros. Um exemplo é a monitoração dos grupos geradores nas usinas hidrelétricas da CEMIG (Cia. Energética de Minas Gerais), cuja monitoração se dá na sede da empresa, ou seja, os instrumentos instalados nas usinas monitoram parâmetros (como vibração, temperatura de mancais, etc.) que são transmitidos e monitorados em tempo real da sede. Isso não significa que exista um técnico 24 horas por dia, pois é possível que existam programas que monitoram e exibem relatórios normais e de alerta de forma automática.

4.5 Monitorando os Parâmetros

O espectro da manutenção preditiva é bastante amplo, variando desde um simples exame visual a um sistema complexo de monitoramento das condições de operação das máquinas com o auxílio de sofisticados aparelhos de medição e análise.

É inviável estabelecer ou classificar todos os métodos e processos possíveis para obter um programa de manutenção preditiva eficiente e econômico. Existe um número bem determinado de parâmetros a monitorar. A tabela abaixo indica resumidamente as principais variáveis e as máquinas e equipamentos que as utilizam.

Observação prática	Máquinas rotativas	Dispositivos Estáticos	Dispositivos Elétricos	Instrumentos	Estruturas
Ensaio não destrutivo					
Exame visual					
Medição e análise Vibrações					
Medição de temperatura e pressão					
Medida do nível sonoro					
Medida da espessura/corrosão					
Análise de lubrificantes					
Detecção de vazamentos de fluidos					
Análise química					

Os principais parâmetros monitorados atualmente são:

- a) Vibração: o acompanhamento e análise de vibrações são um dos mais importantes métodos de predição em vários tipos de indústria, sendo a ênfase em equipamentos rotativos, mas também aplicável a muitos outros (asa de avião, molas de vagão de trem, estrutura sujeita à ação do vento, etc.).
- b) Temperatura: a medição da temperatura é um dos parâmetros de mais fácil compreensão e acompanhamento. Alguns exemplos clássicos são: temperatura em mancais de máquinas rotativas (a elevação pode ser resultado de desgaste ou problemas relacionados à lubrificação); temperatura da superfície de equipamentos estacionários (a elevação pode indicar danos no isolamento); temperatura em barramentos e equipamentos elétricos (a elevação pode indicar mal-contatos).
- c) Lubrificação: A análise de lubrificante não só permite economia, por aumentar o intervalo de troca recomendado pelo fabricante, como também detecta outros problemas, como vedação deficiente entre outros. Existem duas técnicas: a tradicional consiste em verificação das características do lubrificante para verificar a continuação adequada; já a técnica ferrográfica permite avaliar as condições de desgaste das máquinas, tomando por base a análise de partículas presentes no óleo lubrificante.

OBS: PARA SE **APROFUNDAR NA MANUT. PREDITIVA** MAIS VEJAM:

- 1) <https://dynamox.net/>
- 3) <https://engeteles.com.br/manutencao-preditiva/>

4.6 Aspectos motivacionais

Da mesma forma que se faz um plano de manutenção preditiva, é necessário planejar e executar ações que visem a motivação do pessoal de manutenção, já que o homem é a peça chave para o sucesso de qualquer atividade. Algumas ações que devem ser implementadas:

- Criação de listas de e-mail contendo toda lotação da manutenção, visando divulgar elogios, perdas operacionais, acidentes ou incidentes, indicadores e outros pontos relevantes;
- Presença do Gerente de Manutenção nas oficinas de manutenção e área industrial, visando troca de informações com executantes, supervisores, técnicos, engenheiros, etc.;
- Manter e dar prioridade total à realização de reuniões semanais dos gerentes e supervisores de manutenção, para troca de informações e relatórios;
- Oportunizar e incentivar o “fast feedback” para todos os empregados de manutenção. “Feedback” significa retornar as informações que surgiram com as atividades, e “fast” de forma rápida, exata e adequada. Visa a melhoria do sistema da forma mais rápida possível;
- Induzir aos gerentes e supervisores comunicarem aos subordinados suas histórias profissionais e pessoais, incentivando e desafiando aos funcionários com relação à carreira e também humanizando as relações;
- Realizar inspeções sistemáticas nos setores para conhecimento das rotinas além de valorização e integração dos funcionários;
- Manter programas de treinamentos, cursos e seminários, que não só aperfeiçoam os funcionários como representam incentivos ao crescimento profissional dos mesmos;
- Pontualidade, seriedade e respeito nas relações interpessoais entre chefia e funcionários, e entre os próprios funcionários;
- Realizar eventos para celebrar sucessos obtidos.

5. 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. Com o surgimento das manutenções preventiva e preditiva, surgiram também sistemas de gerenciamento de manutenção que buscam a máxima eficiência. Um destes sistemas de gerenciamento, que se tornou conhecida pela sua eficiência é a manutenção produtiva total, conhecida pela sigla TPM (total productive maintenance), que envolve manutenção preventiva e preditiva além de muitos outros aspectos.

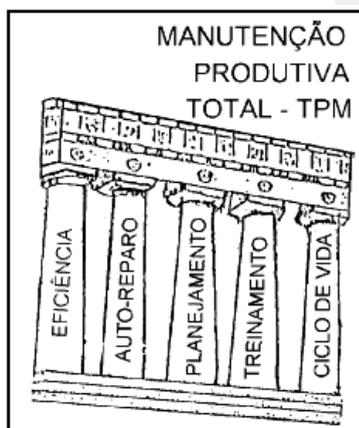
Na busca de maior eficiência da manutenção, por meio de um sistema compreensivo, baseado no respeito individual e na total participação dos empregados, surgiu a TPM, em 1970, no Japão. Os fatores que contribuíram foram os seguintes:

- Avanço na automação industrial;
- Busca em termos da melhoria da qualidade;
- Aumento da concorrência empresarial;
- Emprego do sistema “just-in-time” (sistema que produz a partir das encomendas ao invés de produzir e empurrar as vendas);
- Maior consciência de preservação ambiental e conservação de energia;
- Dificuldades de recrutamento de mão-de-obra para trabalhos considerados sujos, pesados ou perigosos;
- Aumento da gestão participativa e surgimento do operário polivalente.

Todas essas ocorrências contribuíram para o aparecimento da TPM. A empresa usuária da máquina se preocupava 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, mas a TPM mostrou ser extremamente eficaz. Começou a ser implantado por empresas brasileiras a partir da década de 1990.

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, falhas zero, aumento da disponibilidade de equipamento e lucratividade. Não só envolvem termos materiais, mas humanos também. Os cinco pilares são:

- Eficiência (atividades que melhoram a produtividade do equipamento);
- Auto-reparo (sistema de manutenção autônomo, executado pelos operadores do equipamento);
- Planejamento (sistema organizado);



- Treinamento (capacitação de pessoal e aumento de suas habilidades técnicas para rendimento máximo);
- Ciclo de vida (gerenciamento completo do equipamento).

A implementação da TPM segue quatro grandes passos:

1. Capacitação:

- Operadores: realizar manutenção autônoma, ou seja, ser o mantenedor do equipamento (através da monitoração subjetiva e outras ações);
- Executores: não serem especializados demais, mas polivalentes, ou seja, podem resolver mais que um tipo de problema;
- Engenheiros: projetarem equipamentos que exijam o mínimo de manutenção.

2. Aplicar o programa dos oito S:

- Seiri: organização, eliminando o supérfluo;
- Seiton: arrumação, identificando e colocando tudo em ordem;
- Seiso: limpeza, implica em limpar sempre e não sujar;
- Seiketsu: padronização, implica manter a arrumação, limpeza e ordem;
- Shitsuke: disciplina, fazer tudo espontaneamente;
- Shido: treinar, constante capacitação pessoal;
- Seison: eliminar as perdas;
- Shikari yaro: realizar com determinação e união.

3. Eliminar as seis grandes perdas:

- Perdas por quebra;
- Perdas por demora na troca de ferramentas e regulagem;
- Perdas por operação em vazio (espera);
- Perdas por redução da velocidade em relação ao padrão normal;
- Perdas por defeitos de produção;
- Perdas por queda de rendimento.

4. Aplicar as cinco medidas para obtenção da quebra zero:

- Estruturação das condições básicas;
- Obediência às condições de uso;
- Regeneração do envelhecimento dos equipamentos;
- Sanar falhas de projeto;
- Incrementar a capacitação técnica do pessoal.

A idéia de “quebra zero” baseia-se no conceito de que a quebra é a falha invisível. A falha visível é causada por uma série de falhas invisíveis, assim como um iceberg tem apenas sua ponta visível. Logo, se operadores estiverem conscientes de que devem evitar falhas invisíveis, a quebra deixará de ocorrer.



Efeitos da TPM nos recursos humanos: na forma como é proposta, oferece grandes benefícios não só à empresa, mas também aos funcionários:

- Aumento de autoconfiança;
- Aumento da atenção no trabalho;
- Aumento da satisfação;
- Melhoria do espírito de equipe;
- Desenvolvimento e aquisição de habilidades;
- Maior senso de responsabilidade pelos equipamentos;
- Maior satisfação pelo reconhecimento.

“A manutenção não deve ser apenas aquela que conserta, mas, sim, aquela que elimina a necessidade de consertar” (anônimo).

Veja em anexo parte de uma monografia que trata sobre a implementação da TPM no setor de estamparia da fábrica da Volkswagen em Taubaté – SP entre 1998 a 2000, com resultados demonstrados entre 1999 e 2001.

Referências Bibliográficas

KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. **Manutenção: Função Estratégica**. 2.^a ed. Rio de Janeiro: Qualitymark Ed., 2001.

KARDEC, Alan, ARCURI, Rogério e CABRAL, Nelson. **Gestão Estratégica e Avaliação de Desempenho, Abraman-** 2009.

ALMEIDA, Márcio T. **Manutenção Preditiva: Confiabilidade e Qualidade**. Itajubá: Escola Federal de Engenharia. Disponível em www.mtaev.com.br/download/mnt1.pdf, acessado em 28/07/2007.

ANDRADE, Ednardo B. Apostila de **Gestão da Manutenção**. Florianópolis, CEFET/SC, 2002.

KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. **Manutenção: Função Estratégica**. 2.^a ed. Rio de Janeiro: Qualitymark Ed., 2001.

Manutenção Mecânica. Apostila do Curso Técnico em Mecânica. Telecurso 2000. Disponível em: <http://www.bibvirt.futuro.usp.br>, acessado em 25/jun/2007.

MOREIRA, Evandro L. de Mello. **Análise da Implementação da Manutenção Produtiva Total na Área de Estamparia em Uma Empresa do Setor Automobilístico**. Monografia. Taubaté: Universidade de Taubaté, 2003. Disponível em www.unitau.br/prppg/cursos/ppga/mba/2002, acessado em 28/07/2007.

ROSA, Edson. **Análise de Resistência Mecânica, Modos de Falha e Confiabilidade, Capítulo 2** – Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

ANEXO I

**Implementação da TPM no setor de Estamparia na Fábrica da
VOLKSWAGEM em Taubaté - SP**

ANEXO II

Modos de Falha e Confiabilidade, do capítulo 2, da apostila “Análise de Resistência Mecânica” do Prof. Dr. Edson da Rosa, da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC.

MODOS DE FALHA E CONFIABILIDADE

A falha de elementos mecânicos é um processo que pode assumir as mais distintas formas, dependendo do tipo de aplicação, do material, das condições ambientais, etc. Neste capítulo vamos procurar identificar e descrever sucintamente as principais formas pelas quais um componente mecânico pode falhar. De um modo genérico, a falha pode ser definida como a incapacidade do componente corresponder à demanda que lhe é exigida, ou seja, a sua capacidade é inferior à demanda. Os termos capacidade e demanda foram escolhidos para diversas formas, como por exemplo, um valor máximo de carga, acima do qual ocorre a ruptura do material, ou uma voltagem máxima, limitada pela capacidade de isolamento elétrico, ou uma taxa de dissipação do calor gerado, abaixo da qual a temperatura ultrapassa os valores toleráveis pelo lubrificante ou pelos materiais sintéticos dos isolamentos, etc. Aqui vamos nos preocupar apenas com os componentes mecânicos e os seus modos de falha mais característicos. As formas com que o componente estrutural pode falhar dependem do tipo de carregamento, tipo do material, condições ambientais, tempo de vida, cuidados com manutenção, etc. Uma distinção bem marcante pode ser feita, considerando os modos que não são influenciados pela idade do componente, ou tempo de aplicação de carregamento e os modos que dependem do tempo de vida ou de carregamento.

Quando se estuda a confiabilidade, a exata definição do que é a falha do produto é fundamental. A falha do produto corresponde ao instante em que este deixa de cumprir a função a que se propõe, ou seja, deixa a descoberto a funcionalidade desejada. Deste modo, esta funcionalidade deve ficar muito bem definida quando da determinação dos requisitos de projeto do produto, de forma a permitir, em todas as etapas do ciclo de vida do produto, verificar a ocorrência ou não de uma falha. Assim, de uma maneira bastante abrangente, a falha é simplesmente o fato de que a funcionalidade do produto deixa de ser atendida, em decorrência de algum evento.

MODOS DE FALHA INDEPENDENTES DO TEMPO

Os modos de falha tratados como independentes do tempo são os que possuem igual chance de ocorrer, qualquer que seja a vida ou tempo de uso do produto considerado. Estes modos se manifestam quando a estrutura em questão sofre uma sobrecarga ou um pico de solicitação, levando a uma falha na forma de uma ruptura, ou um empenamento. Os principais modos de falha deste tipo estão comentados logo a seguir, sendo que alguns são detalhados ao longo do texto.

FRATURA

Em geral o processo de desenvolvimento da fratura é dividido em duas etapas distintas, início da fratura e propagação desta. Uma fratura pode ser classificada em duas categorias gerais, fratura dútil e fratura frágil. Uma

fratura dútil é caracterizada por uma apreciável deformação plástica na nucleação e na propagação da trinca. Uma deformação plástica em nível macroscópico é também encontrada nas superfícies de falha. Uma fratura frágil nos metais é caracterizada por uma grande velocidade de propagação da trinca, com pequena deformação plástica, mesmo em um nível macroscópico. Um metal pode ter uma ruptura dútil ou frágil, dependendo da temperatura, estado de tensões e velocidade de carregamento. Para simplificar o desenvolvimento vamos nos restringir a um carregamento estático de tração, o que leva à ruptura.

FRATURA DÚTIL

Corpos policristalinos de metais dúteis podem se deformar plasticamente até que a seção transversal fique reduzida a um ponto, como ilustrado na figura 2.1. Já para a ruptura sob tração, de metais moderadamente dúteis, a deformação plástica produz uma redução na seção transversal, provocando um estado triaxial de tração no interior do material. Esta triaxialidade diminui a capacidade de deformação plástica e a ruptura pode processar-se por um mecanismo de nucleação de vazios, em torno de impurezas, no centro do material. Esta nucleação passa a uma etapa de crescimento destes vazios, com a continuidade da deformação plástica, até o instante em que os vazios começam a se unir, levando a ruptura da região central, estendendo-se após por cisalhamento. O resultado é a familiar fratura tipo cone e taça. Os modos dúteis de fratura ocorrem como resultado de uma extensiva deformação plástica, ao menos a nível microscópico, seja por crescimento de vazios seja por cisalhamento. O modo de falha por crescimento de vazios ocorre quando a deformação plástica atinge um nível tal que os vazios originados nas impurezas do material passam a coalescer, formando uma trinca de dimensões comparáveis com a geometria do componente. Esta deformação plástica crítica é altamente sensível ao estado de tensões a que a região está sujeita, bem como às características de deformação que o material apresenta. Deve ser salientado que, embora o mecanismo metalúrgico de ruptura seja dútil, macroscopicamente a falha pode ter uma aparência frágil.

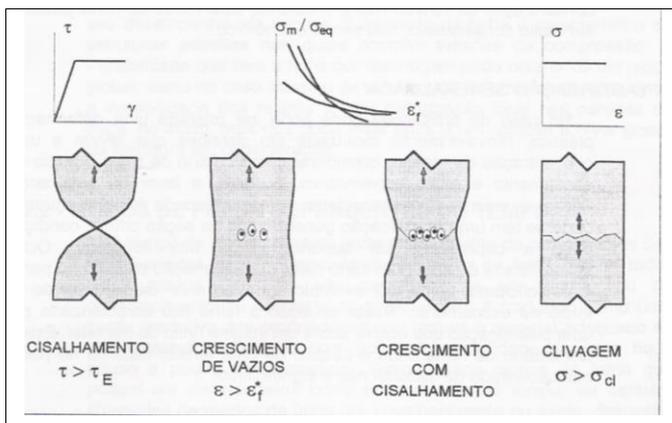


Figura 2.1 – Mecanismos de ruptura dútil e frágil de corpos de prova.

FRATURA FRÁGIL

Uma ruptura metalurgicamente frágil é caracterizada pela separação das duas porções do material segundo um plano perpendicular à tensão de tração, sendo este um plano atômico da rede cristalina. Este é o chamado mecanismo de ruptura por clivagem, sendo controlado pelas tensões de tração que agem perpendicularmente ao plano cristalográfico de clivagem. Esta tensão, quando ultrapassa um valor crítico, dá início à ruptura. A superfície rompida por clivagem expostos, enquanto a ruptura por cisalhamento mostra-se, quando observada com pequena ampliação, cinzenta e fibrosa. No caso geral. A superfície rompida apresenta uma ruptura mista, com uma fração da área fraturada de modo frágil e o restante de modo dútil.

INICIO DE ESCOAMENTO

Em muitas aplicações é necessário que o material esteja integralmente dentro do regime elástico, para garantir um nível de deformações baixo e recuperável, como no caso de eixos de alta velocidade, de modo a manter o balanceamento em serviço, por exemplo. Nestes casos o início de escoamento já caracteriza a falha do componente. Outro exemplo é quando se necessita de precisão de posicionamento do mecanismo que está sendo projetado, onde um pequeno escoamento pode provocar uma deformação permanente na geometria e levar a uma conseqüente perda de precisão do dispositivo. Para situações onde um pequeno escoamento nos pontos de concentração de tensão não é problema, este modo de falha passa a ser muito conservativo, não sendo econômico.

PLASTIFICAÇÃO GENERALIZADA

No caso de aplicações onde pode ser tolerada uma deformação plástica, provavelmente localizada em detalhes que levam a uma concentração de tensão, considerar como critério de falha o início de escoamento é muito conservativo, ou seja, a favor da segurança. Assim, é mais realista considerar como critério de falha a situação onde se tem uma plastificação generalizada na seção crítica, condição onde a capacidade de suportar carga fica esgotada. Outra possibilidade é admitir um certo nível de deformação plástica no ponto mais solicitado, como por exemplo, igual ao nível da deformação de início de escoamento. Nesta situação a falha fica caracterizada por uma plastificação que ocorre sobre um volume finito de material. Este é um critério de falha onde o cálculo de uma nova tensão máxima no ponto mais solicitado do material não é significativo.

FRAGILIZAÇÃO POR HIDROGÊNIO

Um modo de falha que em certos aspectos se assemelha a uma corrosão sob tensão é a fragilização por hidrogênio. Neste caso a falha tem início quando átomos de hidrogênio são liberados, como no caso de

tratamentos de galvanização, ou solda, ou então em consequência do ambiente de trabalho, difundindo-se pela estrutura cristalina do material, devido ao seu diâmetro extremamente pequeno. Estes átomos acomodam-se em certos pontos do material, onde novos átomos vão chegando, combinando-se com os existentes, gerando assim uma molécula de hidrogênio H_2 que agora não tem mais mobilidade dentro da rede cristalina, pelas suas dimensões. O acúmulo de moléculas faz com que a pressão gerada dentro do material atinja valores extremamente elevados, com a formação de um estado de tensões de tração, que pode até, em casos extremos, levar o material a sofrer uma ruptura espontânea. Neste caso pode ocorrer uma ruptura sem qualquer razão aparente, com a peça, por exemplo, apenas armazenada. Se o hidrogênio atômico penetra no material em consequência do ambiente de trabalho, este modo de falha pode ser encarado com dependente do tempo.

FLAMBAGEM

A falha por flambagem ocorre quando temos uma combinação crítica de rigidez do conjunto estrutura-sistema de aplicação de carga, na qual os deslocamentos transversais passam a crescer de uma forma significativa, mesmo para uma carga constante. Neste caso a peça perde sua forma original, alterando a geometria e comprometendo o seu desempenho em serviço. Este modo de falha é característico de estruturas esbeltas nas quais ocorrem tensões de compressão. A instabilidade que leva a falha por flambagem pode ocorrer de um modo global, como no caso clássico de colunas, ou de uma forma local, onde a instabilidade fica restrita a uma deformação local nas paredes da peça, no início, mas que pode levar após a um colapso a nível global da estrutura em consideração.

MODOS DE FALHA DEPENDENTES DO TEMPO

O tempo de uso do produto pode afetar a falha de componentes das mais variadas formas, dependendo do modo de falha, porém todos estes modos de falha são caracterizados por algum tipo de envelhecimento ou desgaste do material. Isto é traduzido como uma perda gradativa das propriedades que tornam o material adequado ao uso pretendido, fazendo com que a funcionalidade da peça fique pouco a pouco comprometida. Temos vários modos de falha que podem ser considerados como dependentes do tempo, ou também chamados de falha por envelhecimento ou ainda, desgaste. Logo a seguir são discutidos os mais importantes.

FADIGA

A fadiga é um processo de redução da capacidade de carga de componentes estruturais pela ruptura lenta do material, através do avanço quase infinitesimal da trinca a cada ciclo de carregamento. A fadiga ocorre pela presença de tensões que variam com o tempo, que provocam deformações plásticas cíclicas localizadas nos pontos mais críticos. Estas deformações

levam a uma deterioração do material que dá origem a uma trinca de fadiga que, com o prosseguimento do carregamento variável, vai crescendo, até atingir um tamanho suficiente para provocar a ruptura final. O processo de nucleação da trinca de fadiga depende das tensões cisalhantes cíclicas que atuam, enquanto que para a propagação são importantes as tensões de tração, que fazem com que as pequenas trincas que foram nucleadas venham a crescer e levem à ruptura final.

DEFORMAÇÃO PLÁSTICA PROGRESSIVA

Quando a peça sofre um carregamento cíclico de magnitude tal que o material experimenta deformações plásticas, a existência de uma carga média faz com que as deformações plásticas sejam direcionadas no sentido da carga média, produzindo um efeito de deformação progressiva da peça. Numa situação como esta, em cada ciclo de carga as deformações plásticas não são simétricas, em decorrência da carga média. Desta forma, cada ciclo de carga provoca uma pequena deformação plástica, resultante da diferença entre o escoamento em um e outro sentido, deformação esta que vai se acumulando até viabilizar o uso da peça ou do produto, pela distorção final que resulta após um certo número de ciclos.

CORROSÃO

A corrosão pode ser definida como a destruição de um corpo sólido por uma ação química ou eletroquímica não intencional, que invariavelmente inicia na superfície do corpo. No caso dos metais o ataque ocorre quase sempre por uma ação eletroquímica, devida à característica estrutural dos metais, que permite fenômenos como o movimento de elétrons dentro da rede cristalina. Como os materiais não metálicos não exibem esta propriedade, eles podem ser atacados apenas pelos meios corrosivos capazes de reagirem quimicamente com eles dentro de certas condições. Muitos fenômenos de corrosão são em essência eletroquímicos e envolvem a presença de um eletrólito em contato com o metal. Este eletrólito é usualmente uma solução aquosa de um sal, ácido ou álcali e conseqüentemente este tipo de corrosão é denominado úmido. Todos os outros fenômenos de corrosão envolvendo reações químicas entre o metal e um líquido, ou gás, que não é um eletrólito, são classificados como corrosão a seco.

CORROSÃO SOB TENSÃO

A superposição de um esforço mecânico com um meio ambiente agressivo ao material pode levar ao surgimento de um outro tipo de corrosão, a chamada corrosão sob tensão. Este tipo de corrosão difere da corrosão tradicional por dois aspectos básicos. Em primeiro lugar, a corrosão ocorre apenas em pontos muito localizados, como por exemplo nos contornos de grão. Neste caso a aparência externa do material não evidencia a degradação que o material sofre. Este ataque localizado vai penetrando, podendo

comprometer a capacidade de carga da peça pelas trincas que se formam a partir dos pontos de ataque. Em segundo lugar, o meio ambiente que provoca a corrosão sob tensão no material é um meio com composição química particular, para aquele tipo de material, que vem assim a ativar o processo. Isto significa que, para um dado material, de todos os meios agressivos que levam a uma corrosão, apenas uns poucos provocam uma corrosão sob tensão. Deste modo, a corrosão sob tensão ocorre apenas em certas combinações de material e meio ambiente, desde que somada a esta combinação tenhamos a ação de um estado de tensões. Este estado de tensões pode ser proveniente dos esforços de operação, ou produzindo por um estado residual de tensões, presente no material, mesmo na ausência de cargas externas.

FLUENCIA

Para componentes que operam a temperaturas elevadas temos a presença de outros mecanismos de falha, que se tornam operantes a temperaturas da ordem de $0,3T_F$ e superiores, sendo T_F a temperatura absoluta de fusão do material. Nestas temperaturas novos mecanismos de deformação podem se tornar ativos. Estes mecanismos passam a provocar no material uma deformação irreversível que cresce de forma constante com o tempo, mesmo que o carregamento seja mantido constante. A velocidade com que a deformação ocorre depende tanto da temperatura a que o material está submetido como do nível de tensão aplicada. Outro fator a considerar é o efeito de uma exposição prolongada à alta temperatura sobre a estabilidade metalúrgica, ou seja, metais encruados irão recristalizar e sofrer crescimento de grão, enquanto que as ligas endurecidas por precipitação podem sofrer um super envelhecimento e perder resistência devido ao crescimento das partículas de segunda fase. Outro problema é a oxidação, que se torna sensivelmente mais ativa a altas temperaturas.

DESGASTE

Aqui nos referimos ao desgaste do material, por remoção deste, seja através do processo de aderência e remoção de partículas do material de um dos elementos do par de atrito para o outro, seja por arrancamento de metal por partículas mais duras, que colidem com este. O primeiro tipo de desgaste é denominado de desgaste adesivo e depende muito das condições de lubrificação e também da compatibilidade dos dois metais em contato. O segundo tipo de desgaste é o tipo abrasivo, onde a principal variável é a dureza do material. O desgaste abrasivo pode ocorrer pela presença de partículas duras entre as duas superfícies em atrito ou então pelo contato de uma superfície dura e áspera sobre outra mole. Este último caso foi praticamente eliminado nos equipamentos atuais pelo uso de um acabamento esmerado nas superfícies duras.

CONFIABILIDADE

O projeto de sistemas e componentes estruturais de muitos sistemas mecânicos, como os automotivos, por exemplo, possuem algumas características peculiares, quanto ao tipo de solicitação atuante, tipicamente dinâmica e imprevisível, e quanto aos requisitos da segurança em operação. Esta segurança em operação deve ser traduzida em parâmetros de projeto, em geral na forma do tradicional coeficiente de segurança. Com a exigência sempre crescente de competitividade, em termos de desempenho de produto, redução de custos, bem como menores prazos de desenvolvimento do produto, aplicações em casos diferentes do habitual e o uso de modernas aplicações ferramentas de projeto, como os sistemas CAE/CAD/CAM, o procedimento tradicional de projeto mecânico deve sofrer significativas reformulações, para fazer frente a estas novas situações. O assunto desta, e das seções seguintes, procura enfatizar um dos pontos que é, ainda hoje, tratado de uma forma muito subjetiva, para não dizer empírica, que é da caracterização dos níveis de segurança adequados a um dado projeto. O enfoque proposto para a análise de segurança faz um intensivo uso dos conceitos probabilísticos, de forma a fornecer uma ferramenta suficientemente potente para resolver situações onde a solicitação é aleatória, excitando dinamicamente a estrutura, permitindo uma criteriosa avaliação do nível de segurança existente, ao longo da vida do produto. A metodologia desenvolvida pode ser aplicada de uma forma bastante simples, quando no desenvolvimento do projeto preliminar, pelo uso de um fator de projeto calculado adequadamente, ou então em uma etapa de avaliação de projeto onde pode ser acoplada diretamente com os modernos métodos numéricos de análise de tensões, como o método de elementos finitos ou de elementos de contorno, bem como com métodos experimentais.

A teoria clássica de projeto ignora o fato de que muitas variáveis em Engenharia não são valores perfeitamente definidos, mas que variam dentro de um certo intervalo. O processo clássico de projeto, com o uso de um coeficiente de segurança, é simples e fácil de empregar, mas peca pela falta de um maior rigor no tratamento quantitativo das variáveis do projeto. A necessidade de estabelecer uma base mais racional, com métodos precisos na determinação da performance estrutural, tornou-se clara com um uso cada vez maior de sistemas com requisitos de alto desempenho, com custos bastante elevados, o que implica em uma grande responsabilidade por parte do projetista. Nestes tipos de aplicações, em que um mínimo de peso, extrema segurança e confiança no desempenho são exigências primordiais, o caminho mais aceitável para trabalhar com as variáveis de projeto é adotar um procedimento probabilístico. A diferença fundamental entre o método clássico do projeto mecânico e o enfoque probabilístico consiste no fato de se admitir neste último uma probabilidade de falha. No método clássico a probabilidade de falha do projeto fica oculta por um coeficiente de segurança. Por outro lado, com o enfoque probabilístico, de uma maneira mais condizente com a realidade, admitimos a existência de uma chance de falha.

O termo confiabilidade está intimamente ligado à confiança em algo. No caso do projeto em Engenharia, está relacionado com a confiança sobre um projeto executado. Tal pode ser traduzido pela segurança do projeto quando

em uso. A segurança de um sistema estrutural é habitualmente obtida através de um coeficiente de segurança, de escolha um tanto arbitraria. O uso de uma margem de segurança se faz necessário, pois apenas em raras ocasiões o projetista conhece com exatidão o valor de todas as variáveis de projeto. Por outro lado, uma análise feita com todo o cuidado e rigor pode ficar desprovida de valor, se a precisão de seus resultados for diluída pelo uso de fatores empíricos, de escolha arbitraria, baseados em considerações as vezes pouco relevante. Assim, um dos objetivos da análise de confiabilidade é justamente definir a margem de segurança a usar, através de um fator de projeto, definido como a relação entre os valores médios da resistência e da solicitação. O coeficiente de segurança real que existe é tratado como uma variável aleatória, podendo assumir qualquer valor. O fator de projeto é determinado a partir das dispersões das variáveis de projeto e do grau de segurança necessário.

É conveniente neste ponto definir com precisão o termo confiabilidade, o qual pode ser então colocado como:

“Confiabilidade é a probabilidade de que um componente, ou sistema, operando dentro dos limites de projeto, não falhe durante o período de tempo previsto para a sua vida, dentro das condições de agressividade do meio”.

Desta definição vê-se que três fatores são relacionados com a confiabilidade, que são, em primeiro lugar a definição do que é a falha do sistema. Em segundo lugar tem-se o período de vida e em terceiro lugar, o meio ambiente onde o produto foi posto a operar.

A taxa de falhas pode ser pensada como a fração de produtos que falham, na média, por unidade de tempo. O comportamento típico da taxa de falhas em função do tempo está ilustrado na figura 2.2.

A taxa de falhas tem sua curva característica dividida em três regiões, ou períodos de vida bem distintos, no primeiro período tempos as chamadas falhas prematuras, ou de infância, onde o produto apresenta um percentual elevado de falhas. Estas falhas são decorrentes de produtos que foram colocados em operação, mas que estão fora das especificações, por problemas, de peças fora de tolerância, montagem errada, falta de lubrificante, folgas e calibração erradas, etc. Assim, esta região tem como ponto central a qualidade do produto, ou seja, a gestão da qualidade é que atua sobre a intensidade da taxa de falhas. No segundo período, que inicia após o instante t_1 , a taxa de falhas tem um comportamento que é praticamente constante, assumindo um valor mínimo. Neste período as falhas ocorrem de uma maneira totalmente aleatória, como consequência de sobrecargas eventuais que o produto sofre. Os modos de falha que ocorrem são os modos de falha independentes do tempo, ou por sobrecarga. O valor da taxa de falhas depende aqui da distancia relativa entre os níveis de solicitação e de resistência do produto. Isto esta relacionado com o grau de segurança que o produto possui, ou em outras palavras, a confiabilidade depende diretamente do projeto do produto. Esta região corresponde ao período de vida útil do produto, onde a taxa de falhas é denominada de taxa media de falhas.λ

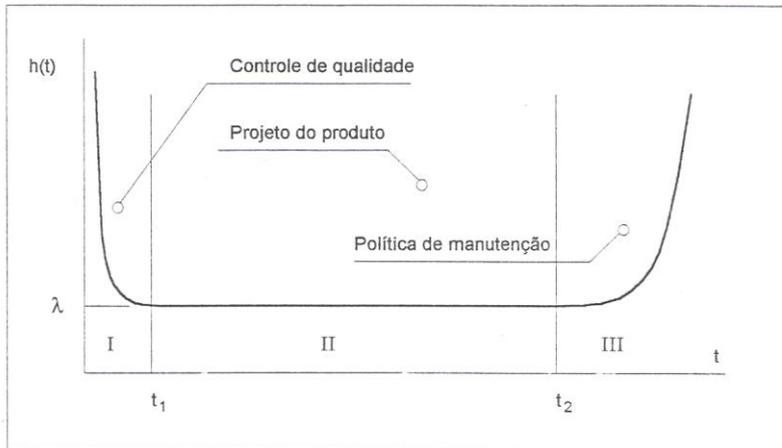


Figura 2.2 – Curva típica da taxa de falhas em função do tempo.

Finalmente, o terceiro período corresponde ao início da deterioração de certas propriedades dos materiais que formam o produto, decorrência da vida deste. Estes modos de falha correspondem aos modos de falha dependentes do tempo, que necessitam de um certo tempo de vida para ativar os mecanismos de deterioração. Estes modos de falha começam a se manifestar apenas após o instante t_2 . Esta é a região de desgaste, onde as peças mais sensíveis a um ou outro modo de falha dependente do tempo começam a comprometer o desempenho do produto. **Neste período a política de manutenção é essencial para garantir uma confiabilidade adequada.**

A avaliação da confiabilidade para um produto é feita considerando que, para uma dada vida, correspondente ao instante de tempo t , ela é a probabilidade de que não ocorra uma falha. Assim,

$$C(t) = P [\text{não ocorra falha para vida} < t]$$

onde a não ocorrência de falha implica que o sistema não venha a falhar por nenhum dos modos de falha possíveis de ocorrerem, seja um dos modos por sobrecarga ou um modo de falha por desgaste.

Os modos de falha por sobrecarga, também designados de modos de falha independentes do tempo, ou ainda de modos de falha por chance, são os modos de que caracterizam-se por terem igual probabilidade de ocorrerem, seja nos primeiros cinco minutos de operação do produto, seja nos últimos cinco minutos da vida deste produto. Estes modos atuam em geral quando a demanda que é exigida do sistema, ou seja, a solicitação atuante ultrapassa pela primeira vez a capacidade deste mesmo sistema, ou seja, a sua resistência, levando-o à falha. Esta categoria engloba os modos de falha por ruptura, plastificação, flambagem, etc.

Os modos de falha por desgaste, ou seja, dependentes do tempo de operação do produto, são também chamados de modos de falha por acúmulo

de dano ou por envelhecimento, estes modos caracterizam-se por necessitar um certo tempo de operação do sistema, em serviço ou por necessitar um certo tempo de operação do sistema, em serviço ou não, para que iniciem a atuar, sendo portanto mais prováveis de ocorrerem conforme a vida vai aumentando. Estes modos atuam na forma de uma redução gradativa das propriedades dos materiais que formam as diferentes peças do sistema, que influem diretamente sobre sua capacidade. Esta categoria engloba as falhas por desgaste, por corrosão, por fadiga, por corrosão sob tensão, por fluência, etc.

Esta divisão entre os modos de falha é fundamental, pois a análise de resistência mecânica bem como a análise de confiabilidade, para cada uma das duas categorias, são feitas de forma independente, considerando as características específicas de cada uma, envolvendo diferentes modelos para caracterizar tanto o carregamento que atua, como a resistência do componente à cada modo de falha. Uma cuidadosa definição do que consiste a falha do produto deve ser realizada, conforme discutido no Capítulo 1, função dos requisitos do produto, que foram gerados quando do início do desenvolvimento do projeto. Adicionalmente, devemos analisar como que a falha do produto se relaciona com os diferentes modos de falha das peças, para permitir uma análise de resistência e de confiabilidade consistentes. De uma forma geral é possível dizer que a confiabilidade é dada por

$$C(t) = C_s(t) \cdot C_D(t)$$

Sendo $C_s(t)$ a confiabilidade para os modos de falha por sobrecarga e $C_D(t)$ a confiabilidade para os modos de falha por desgaste. O objetivo passa a ser agora o de detalhar os modelos de falha por sobrecarga, que vão permitir o cálculo da confiabilidade do sistema para os modos de falha que se enquadram neste caso e após, apresentar os modelos de falha por desgaste ou acúmulo de dano, para permitir o cálculo da confiabilidade correspondente.

MODELOS PARA FALHA POR SOBRECARGA

Quando um sistema solicitado dinamicamente, para um carregamento aleatório, possui como possibilidade de falha mais provável um modo onde a falha caracteriza-se pelo evento $S(t) > R(t)$, onde $S(t)$ é a variável aleatória da solicitação e $R(t)$ é a variável aleatória correspondente à resistência do sistema no instante considerado, diz-se que se trata de uma falha por sobrecarga. A figura 2.3 a seguir ilustra o comportamento que se pode esperar para $S(t)$ e $R(t)$. A variável $R(t)$ vai sofrendo o efeito do tempo de uso do equipamento, com uma degradação crescente nas propriedades dos materiais empregados na fabricação do sistema. Esta degradação é traduzida por uma redução dos níveis de $R(t)$ com o tempo, bem como por um aumento na faixa de dispersão dos valores da resistência.

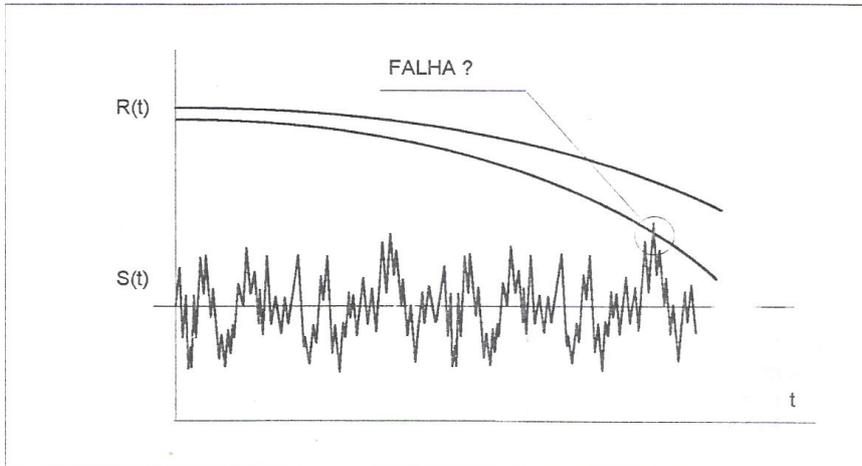


Figura 2.3 – Solicitação aleatória, com indicação de um provável ponto de falha, em um sistema com degradação da resistência.