

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO**

**DIAGNÓSTICO E PROPOSTAS PARA MANUTENÇÃO DA
ESTRUTURA DE SUPORTE À PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS DE
ALTA TECNOLOGIA**

FRANCISCO DE CASTRO MELLO NETO

**MANAUS
2011**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO**

FRANCISCO DE CASTRO MELLO NETO

**DIAGNÓSTICO E PROPOSTAS PARA MANUTENÇÃO DA
ESTRUTURA DE SUPORTE À PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS DE
ALTA TECNOLOGIA**

Pesquisa apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Amazonas, como parte do requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, área de concentração Gestão da Produção.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Idécio Alexandre Palheta Cardoso

**MANAUS
2011**

FRANCISCO DE CASTRO MELLO NETO

**DIAGNÓSTICO E PROPOSTAS PARA MANUTENÇÃO DA
ESTRUTURA DE SUPORTE À PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS DE
ALTA TECNOLOGIA**

Pesquisa apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Amazonas, como parte do requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, área de concentração Gestão da Produção.

Aprovado em 18 de agosto de 2011.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Idécio Alexandre Palheta Cardoso
Instituto Nokia de Tecnologia

Prof.^a Dr.^a Antonieta do Lago Vieira
Universidade Federal do Amazonas

Prof. Dr. Nilson Rodrigues Barreiros
Universidade Federal do Amazonas

Dedico este trabalho a minha amada
esposa Regina, mãe dedicada,
companheira, grande incentivadora, mas
também crítica, amorosa, minha alma gêmea.
Ao meu filho Gabriel, fonte de alegria, carinho,
respeito, amor e incentivo.
Aos meus pais José Carlos e Socorro Melo,
pela dedicação na formação dos filhos,
exemplos de garra, caráter, afeto e
honestidade.

AGRADECIMENTOS

Ao Ser Supremo pela orientação e proteção do caminho a ser percorrido.

A meus pais, Socorro Melo e José Carlos por me mostrarem que a estrada do conhecimento é o único caminho que leva a vitória.

Ao meu avô Francisco Mello (*in memorian*), sempre presente nos momentos difíceis e fiel incentivador da caminhada.

Ao meu orientador Prof. Dr. Idelcio Alexandre Palheta Cardoso, por sua dedicação na orientação acadêmica e poder compartilhar os seus conhecimentos, sua paciência, seu apoio, respeito e sua amizade;

Ao amigo Messias Lins, companheiro de curso e incentivador, pelas orientações, apoio, críticas e ensinamentos, sempre disposto a ajudar;

Ao amigo Marcu Loreto, pelo incentivo, presteza e ajuda nos momentos solicitados.

Aos professores do PEP, pela paciência, convivência, amizade e conhecimentos repassados durante o curso, em especial a professora Dra. Silvana Dacol (*in memorian*) que além de derramar sobre os alunos seu conhecimento nos mostrou que temos de ter na vida garra e vontade de vencer;

Aos funcionários e bolsistas do Programa de Engenharia de Produção, pela dedicação, competência, atitude e amizade;

Aos colegas do mestrado, pela paciência, convívio, apoio, amizade e informações compartilhadas;

À Faculdade de Tecnologia da Universidade Federal do Amazonas (FT-UFAM), pela oportunidade de poder participar desta comunidade científica;

Aos colegas de trabalho, em especial a Wendel Rebouças, Carlos Silva, Marcell Martini e Ricardo Gorayeb, pela amizade, apoio, contribuições e compreensão;

À empresa objeto desta pesquisa, aos diretores, gerentes, pesquisadores, técnicos e analistas, pelo apoio e autorização concedida para a execução deste trabalho;

Às minhas queridas irmãs Tatiana e Tatiana Dantas pelo apoio incondicional desde o início deste trabalho;

A todos que contribuíram direta ou indiretamente para o desenvolvimento e conclusões desta dissertação.

"Nenhum cavalo chega a lugar algum antes de ser domado. Nenhum vapor ou gás movimenta qualquer coisa até ser confinado. Nenhuma catarata gera luz e força antes de ser represada. Nenhuma vida se torna grande antes de ser focada, dedicada e disciplinada."

HENRY EMERSON FOSDICK

RESUMO

A crescente competição do mercado consumidor mundial e o atual cenário da indústria eletroeletrônica no qual os produtos tornam-se cada vez mais complexos, tendo seus índices de qualidade e confiabilidade cada vez mais exigidos, apontam para uma direção na qual a necessidade da utilização de técnicas que auxiliem na construção da confiabilidade de um produto desde as primeiras fases do seu desenvolvimento seja cada vez maior torna-se indispensável. A confiabilidade de um produto é afetada principalmente pela existência de defeitos que se encontram em um estado latente, os quais, se não identificados e tratados, podem se manifestar como falhas infantis, já em mãos do consumidor final, durante o uso do produto. Com o objetivo de diagnosticar a situação atual dos ativos de um laboratório de mecânica, foi realizado um estudo de caso único de cunho qualitativo, onde se utilizou um questionário semi estruturado para indagar os gestores, técnicos e pesquisadores da área, a fim de identificar o grau de conhecimento e interação dos mesmos com as práticas e política de manutenção. Os resultados foram analisados conforme o *constructo*, e em sua maioria, convergentes (63,15%), apesar de questões consideradas fundamentais divergirem (36,84%). Os resultados apontaram para uma perda total o histórico de manutenção, pois não haviam dados para serem analisados. Desta forma, apresentou-se a ferramenta FTA para corroborar com a análise dos problemas e esclarecer o fato de que um problema de manutenção nos equipamentos de ensaios climáticos pode mascarar resultados. O estudo revelou que apesar da empresa possuir verbas destinadas à manutenção de equipamentos de laboratório, os mesmos estão tornando a área um parque de máquinas sucateadas, pois nenhuma ação está sendo desenvolvido no intuito de garantir o perfeito e contínuo funcionamento dos ativos.

Palavras chave: Manutenção, confiabilidade, análise.

ABSTRACT

The growing competition in the consumer market and the current global scenario of the electronics industry where products become increasingly complex, and its levels of quality and reliability required increasingly point to a direction in which the need to use techniques that assist in the construction of the reliability of a product from the earliest stages of its development is increasingly becomes indispensable. The reliability of a product is mainly affected by the existence of defects that are in a latent state, which, if not identified and treated, can manifest themselves as gross failures already in the hands of the consumer, while using the product. In order to diagnose the status of assets of a mechanical laboratory, there was a single case study of qualitative character, which we used a semi structured questionnaire to ask the managers, technicians and researchers in order to identify the degree of knowledge and interaction of these with the practices and maintenance policy. The results were analyzed according to the construct, and mostly convergent (63.15%), although considered fundamental issues differ (36.84%). Results showed a total loss of the maintenance history, because there were no data to be analyzed. In this sense, it is the tool to support FTA with the analysis of problems and clarify the fact that a maintenance problem in the climatic test equipment can mask results. The study revealed that although the company has money earmarked for maintenance of laboratory equipment, they are making the area a number of machines scrapped because no action is being developed in order to ensure smooth operation of the assets.

Keywords: Maintenance, reliability, analysis.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 -	Posicionamento da Manutenção até a década de 30.....	15
FIGURA 2 -	Posicionamento da Manutenção nas décadas de 30 e 40	16
FIGURA 3 -	Perfil da Manutenção a partir da década de 50.....	16
FIGURA 4 -	Formas de manutenção	21
FIGURA 5 -	Ciclo de Gerenciamento da Manutenção	24
FIGURA 6 -	Comportamento de um equipamento em função do parâmetro de forma da distribuição de Weibull	32
FIGURA 7 -	Curva da banheira - Equipamentos eletrônicos	32
FIGURA 8 -	Sobreposição de gráficos de taxa de falha de equipamentos mecânicos e eletrônicos	41
FIGURA 9 -	Representação gráfica dos índices MTBF / MTTR / MTTF	43
FIGURA 10 -	Fluxo de informação na manutenção utilizando um CMMS	54
FIGURA 11 -	Indicativo de que o modo de falha é uma ação interna e o efeito uma ação externa	57
FIGURA 12 -	Índices baseados nas causas	63
FIGURA 13 -	Análise do tipo Bottom-up	63
FIGURA 14 -	Categorias de FMEA	68
FIGURA 15 -	Diagrama de blocos (subsistema de refrigeração) – câmara climática	83
FIGURA 16 -	Sequência de eventos – Falha no segundo estágio da refrigeração (FTA)	85

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 -	Modo de falha com abordagem funcional	53
QUADRO 2 -	Modo de falha com abordagem estrutural	53
QUADRO 3 -	Probabilidades de ocorrência	57
QUADRO 4 -	Severidade dos efeitos	57
QUADRO 5 -	Índice de detecção d falhas	58
QUADRO 6 -	Formulário FMEA	62
QUADRO 7 -	Relacionamento entre os vários tipos de FMEA´s	67
QUADRO 8 -	Procedimento para o desenvolvimento do FMECA	70
QUADRO 9 -	Categorias ou riscos para avaliar a gravidade da falha	73
QUADRO 10 -	Resultados e benefícios obtidos com FMECA	74
QUADRO 11 -	Respostas divergentes x convergentes	81
QUADRO 12 -	Tempo de desenvolvimento da falha	86

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - Custo x Tempo	64
GRÁFICO 2 - Os custos comprometidos ao longo do desenvolvimento do produto	65
GRÁFICO 3 - Divergência entre respostas do questionário	80
GRÁFICO 4 - Divergência de repostas por tema da pergunta	80

LISTA DE EQUAÇÕES

EQUAÇÃO 1 - Probabilidade de falhas de um item, num dado intervalo de tempo “t” da operação	28
EQUAÇÃO 2 - Probabilidade a qual o equipamento não irá falhar para um dado período de tempo “t” de operação (Confiabilidade)	28
EQUAÇÃO 3 - Tempo Médio Entre Falhas (TMEF)	28
EQUAÇÃO 4 - Desvio Padrão	28
EQUAÇÃO 5 - Confiabilidade	30
EQUAÇÃO 6 - Disponibilidade	30
EQUAÇÃO 7 - Diferença entre FMEA e FMECA	53
EQUAÇÃO 8 - Número de Prioridade de Risco (NPR)	54

LISTA DE ABREVIATURAS

ABC – Activity Based Costs
ABRAMAN – Associação Brasileira de Manutenção
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
APQP – Advanced Product Quality Planing
ATA – Air Transport Association of America
CMPF – Custo de Manutenção Por Faturamento
CMPVR – Custo de Manutenção Pelo Valor de Reposição
CMMS – Computer Maintenance Management System
EAM – Enterprise Asset Management
EDM – Engenharia de Manutenção
ERS – Enterprise Resource System
FCM – Mapas Cognitivos Fuzzy
FMEA – Failure Mode and Effects Analysis
FMECA – Failure Mode, Effects and Criticality Analysis
FTA – Fault Tree Analysis
Hher – Homem Hora de Exposição ao Risco
ISO – International Standard Organization
LCC – Life Cost Cicle
MC – Manutenção Corretiva
MCC – Manutenção Centrada na Confiabilidade
MP – Manutenção Preventiva
MSG – Maintenance Steering Groups
MTBF – Mean Time Between Failure
MTTF – Mean Time To Failure
MTTR – Mean Time To Repair
NBR – Norma Brasileira Regulamentadora
NPR – Número de Prioridade de Risco
ONU – Organização das Nações Unidas
PCM – Programação e Controle de Manutenção
P&D – Pesquisa e Desenvolvimento

QFD – Quality Function Deployment

QS – Quality System

RCM – Reliability Centeres Maintenance

R&D – Research and Development

SAE – Society Automotive Engineering

TDF – Tempo de Desenvolvimento da Falha

TMEF – Tempo Médio Entre Falhas

TOC – Teoria das Restrições

TPM – Total Productive Maintenance

TQC – Total Quality Control

TQM – Total Quality Management

OS – Ordem de serviço

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	6
1.1 Contextualização	6
1.2 Estrutura do trabalho	10
1.3 Justificativa da Pesquisa	11
1.4 Objetivos	11
1.4.1 Objetivo Geral	11
1.4.2 Objetivo Específico	12
1.5 Delimitação do Estudo	12
1.6 Relevância do estudo / Justificativa	13
1.7 Metodologia	14
2 GESTÃO DA MANUTENÇÃO.....	15
2.1 A história da Manutenção	15
2.1.1 Manutenção.....	23
2.2 A Manutenção Centrada em confiabilidade (MCC)	24
2.2.1 A distribuição de Weibull	28
2.3 MTBF / MTTR	30
2.4 Qualidade	33
2.4.1 Qualidade na Prestação de Serviços de Manutenção	35
2.5 Indicadores de Manutenção	39
2.5.1 Indicadores de Manutenção "classe Mundial"	41
2.6 Gerenciamento Informatizado da Manutenção	42
2.7 Manutenção Preventiva	45
3 FMEA / FMECA	47
3.1 Histórico	47
3.2 Onde se utilize FMEA atualmente	48
3.3 Definições	48
3.4 O que é FMEA	52
3.5 O que é FMECA	53
3.6 Como avança o FMEA / FMECA na análise de falhas	60
3.7 Quando iniciar um FMEA / FMECA	61
3.8 Aplicações do FMEA / FMECA	63
3.9 A equipe participante do FMEA / FMECA	65
3.10 Procedimento geral para execução do FMEA / FMECA	67
3.11 Resultado e benefícios obtidos com FMEA / FMECA	71

4 ÁRVORE DE ANÁLISE DE FALHAS (<i>Fault Tree Analysis</i>) – FTA	73
5 DIAGNÓSTICO INICIAL	76
5.1 Exemplo de aplicação da FTA.....	78
5.2 Questões divergentes	80
5.3 Aplicação da FTA	82
5.3.1 O problema	83
6 CONCLUSÃO.....	86
6.1 Sugestão para trabalhos futuros	88
REFERENCIAL TEÓRICO	89
APÊNDICE.....	95
Apêndice A	96
Apêndice B	97

INTRODUÇÃO

1.1 - Contextualização

As indústrias de um modo geral sofreram inúmeras mudanças durante os últimos anos. O gerenciamento da manutenção de infraestrutura de suporte à produção em empresas, quer sejam fábricas ou prestadoras de serviços, tem se tornado um assunto muito importante, pois as organizações precisam extrair o máximo retorno de seus ativos, quer seja pela capacidade de produção ou ainda pela própria disponibilidade do bem, pois dessa forma poderão alcançar maior diferencial competitivo frente aos concorrentes e uma maior participação no mercado consumidor.

Desse modo, visando otimizar o uso, e conseqüentemente maiores índices de produtividade dos seus equipamentos e instalações, torna-se necessária a aplicação intensa de recursos e tecnologias na gestão, voltados para o planejamento e controle das atividades de manutenção.

A manutenção de máquinas, equipamentos e instalações em uma empresa é uma atividade de apoio à produção de bens ou serviços. Pelo fato da área de manutenção ter como entrega a prestação de serviços, é comum que outras áreas demonstrem certa resistência no relacionamento, inclusive com questionamento sobre a necessidade de existência do setor. Esta visão perpetua-se porque fazer manutenção tem um custo, não agrega valor perceptível pelo cliente final ao bem ou serviço e ainda pode gerar indisponibilidade no uso de máquinas e equipamentos (SEELING, 2000).

No entanto, a inexorável ação do tempo que torna mandatório que máquinas, equipamentos e instalações necessitem de alguma forma ser reparados, regulados e limpos para que possam permanecer atuando em conformidade com as especificações de seu projeto, não deixa opções às empresas a não ser criar e implementar sistemáticas rígidas para o gerenciamento da manutenção. Justificam-se dessa forma os investimentos realizados pelas empresas e seus esforços em aperfeiçoar cada vez mais a gestão da manutenção a fim de garantir a disponibilidade e confiabilidade em seu parque fabril.

A inexistência de uma gestão sistemática de manutenção preventiva e preditiva, pode causar uma falsa impressão para aqueles que não estão diretamente envolvidos no processo do setor responsável pela manutenção, pois em sua visão, a carga de atividades diárias sobrecarrega

a equipe de manutenção, ou há um sub-dimensionamento de mão-de-obra especializada, o que por sua vez é entendido como motivo para o não cumprimento de prazos, o que causa, invariavelmente insatisfação nos clientes. Muito embora, os verdadeiros fatores que possam reverter essa visão possam de fato estar associados à imprevisibilidade. Torna-se verídica a situação que boa parte da mão de obra técnica está voltada para manutenção corretiva, pois os processos não podem parar, o que até demonstra o empenho desses profissionais, mas na realidade ocorre que por falta de uma administração atuante, os técnicos de manutenção são extremamente exigidos no conceito “apaga incêndio” (CHIOCHETTA et. al, 2004).

Segundo Kardek & Nascif (2009), para que a manutenção possa ser considerada estratégica, precisa se voltar aos resultados da organização, devendo deixar de ser eficiente para ser eficaz, ou seja, não é suficiente reparar o mais rápido possível, é necessário atuar na disponibilidade do equipamento para operação, visando sempre a redução na probabilidade de parada não planejada.

As paradas não planejadas, ou também chamadas de manutenção corretiva não planejada, podem acontecer quando da ocorrência de falha no sistema produtivo ou ainda por desempenho abaixo do esperado. Esse tipo de manutenção, caracteriza-se por ocorrer após o fato, ou seja, não há tempo para planejar ou programar a execução do serviço (KARDEK & NASCIF, 2010).

Segundo Araújo et al. (2008), a manutenção corretiva consiste na manutenção mais cara do sistema produtivo e ainda conduz para: i) baixa utilização anual dos equipamentos e máquinas; ii) diminuição da vida útil dos equipamentos e máquinas; iii) paradas para manutenção em momentos aleatórios e muitas vezes inoportunos.

Quando bem administrada, a manutenção eleva a disponibilidade dos equipamentos, confiabilidade e segurança. Neste caso, o fator custo é controlado e todos os serviços ocorrem de forma programada em conjunto com a produção, pois os serviços de manutenção tendem a ser encaixados nas paradas de produção, desta forma, o impacto se torna mínimo no processo. As potenciais quebras inesperadas serão minimizadas, pois com as paradas para o processo produtivo otimizadas, a manutenção preventiva deverá ocorrer, o que fará o setor de manutenção da organização contribuir significativamente para o sucesso nas operações da empresa.

Da mesma forma que o papel da manutenção avança nas empresas, o emprego das tecnologias de ponta e suas atualizações avançam numa velocidade muito elevada, por

conseqüência o emprego de aplicações eletrônicas nas indústrias tem sido verificado em taxas de crescimento altíssimas. É visível que os aparelhos eletrônicos estão presentes em qualquer lugar, senão em todos os ramos de atividades, sendo que sempre se espera dos mesmos a combinação dos seguintes fatores: alto desempenho, sobrevivência durante a vida útil especificada no projeto, ocupação de espaços diminutos aliados à capacidade de processamento de dados e aceleração de tarefas, tudo isso ao menor custo possível e num menor espaço de tempo (CARDOSO, 2007).

Com o objetivo de atender tais exigências, deve-se prestar atenção ao projeto, seleção de componentes, fabricação e demais estágios do ciclo de vida, além das recomendações do fabricante quanto a manutenção.

O objeto de entrega quer sejam, tangíveis ou intangíveis, bens ou serviços, estão se tornando cada vez mais complexos, os clientes estão criando expectativas com relação aos produtos e a competição mercadológica só cresce com o passar do tempo. Os consumidores começam a despertar para importância da confiabilidade dos produtos, tornando-se cada vez mais rigorosos na escolha. O mercado tem mostrado que empresas que desenvolvem uma reputação de baixa confiabilidade, em sua maioria, acabam perdendo sua parcela de participação na hora do consumo. Além disso, os custos de reparos ou trocas de produtos que falharam em campo, podem contabilizar a favor ou contra, sendo a diferença entre lucro e prejuízo.

Uma das formas de se controlar o baixo desempenho de produtos, é garantindo que os testes de asseguarção da qualidade e de fadiga, quando executados, sejam de acordo com as normas vigentes, tanto para a metodologia quanto para os equipamentos utilizados no ensaio.

Segundo a Thermotron (1998), para que seja possível a construção da confiabilidade nos produtos, é necessário conhecer tanto sobre “como as coisas falham” quanto se sabe sobre “como as coisas funcionam”. No entanto, na prática, torna-se inviável esperar anos para saber como o produto vai realmente se comportar. Além disto, não é interessante para as indústrias esperar que as falhas ocorram em campo para fazer uma avaliação. Portanto, é de grande valia a utilização de técnicas de ensaios de estresses ambientais com o propósito de antecipar a vida dos produtos, principalmente quando acompanhada de um processo de análise de falhas (Ireson, 1996).

Segundo Fernandes (2003), o emprego de *softwares* no gerenciamento da manutenção agrega entre vários benefícios à empresa, a melhoria nos tempos de atendimento, a redução de

custos e o aumento da satisfação dos clientes, amparados em indicadores de desempenho que viabilizam a análise rápida e objetiva de prestadores de serviço, a gestão de contratos e documentos legais, a organização da biblioteca técnica dos edifícios e equipamentos, a gestão de estoques e orçamentos e o melhor aproveitamento das equipes.

Ainda segundo Fernandes (2003), muitos gestores de manutenção reconhecem estes benefícios e vantagens, mas têm encontrado algumas dificuldades para operacionalizar o *software* ou simplesmente adiam a implantação para um futuro quase sempre não alcançado.

Tendo como ponto de partida estas dificuldades e adiamentos, citados no parágrafo anterior, devem ser considerados três pontos antes e no decorrer do processo de implantação de uma ferramenta de gestão da manutenção, a fim de evitar resultados indesejados:

- a) Alinhamento estratégico com a missão da empresa;
- b) Preenchimento correto e apropriado do cadastro dos bens móveis ou imóveis no sistema;
- c) A equipe de manutenção deverá ser equipe devidamente habilitada, capacitada e identificada para poder executar as atividades de manutenção nos tempos já programados.

Utilizando o *software* para registrar todas as atividades da equipe é possível produzir em tempo real os indicadores de desempenho que informam se a empresa está conseguindo atingir os objetivos anteriormente definidos e possibilita a rápida correção de rumo, se necessário.

Centralizar a utilização do *software* para gestão de manutenção e serviços na obtenção dos indicadores de desempenho da área de manutenção, na gestão técnica das instalações e equipamentos e na padronização da comunicação com os outros departamentos deve ser um dos objetivos da área.

Desta forma, as empresas se preparam para enfrentar o mercado altamente competitivo, mas tudo deve ocorrer em etapas previamente planejadas e programadas, onde se torne exequível à implementação de um processo de gestão dos ativos móveis ou imóveis da empresa.

A execução de um plano de gestão de manutenção, inicia-se com um levantamento prévio ou inicial da situação do parque de máquinas e instalações, onde deverá constar todos os registros encontrados, bem como a falta destes, pois somente por este caminho poderão ser traçadas as diretrizes a serem seguidas.

Este trabalho inicia-se com o diagnóstico da área em estudo. Algumas questões devem ser consideradas como pontos chave para o trabalho: registros de manutenção ou a falta destes,

gestão de um plano operacional de manutenção, planejamento dos trabalhos, gerenciamento informatizado da manutenção com *software* específico para os dados de manutenção, indicadores de desempenho e a existência de manutenção preventiva.

Do mesmo modo que será diagnosticado o estado inicial dos ativos, pretende-se gerar critérios de decisão sobre a implantação de um cronograma de intervenções de manutenção, onde o objetivo será manter os ativos em perfeito estado de funcionamento, com disponibilidade e confiabilidade para atender a demanda, bem como corroborar para redução de custos com a programação antecipada dos serviços a executar e paradas inesperadas do processo produtivo, otimizando a relação produção x receita sem por em risco a saúde e vida útil do equipamento.

A metodologia utilizada é a pesquisa de estudo de caso único com finalidade explanatória, pois trata-se de um Instituto de Pesquisa típico. Comenta sobre o desperdício que é adotado com a falta de planejamento e controle de manutenção e na previsão sobre disponibilidade do equipamento, sobre a produção e sobre a rentabilidade. Baseado nas referências bibliográficas de mercado, gera dados e embasa para possíveis decisões o corpo administrativo da empresa objeto deste estudo.

1.2 - Estrutura do trabalho

Com base nos objetivos mencionados anteriormente, os capítulos estão dispostos da melhor forma para o entendimento como segue:

Capítulo 1 – Introdução:

No capítulo 1 apresenta, de forma superficial, os conceitos teóricos gerais dos assuntos abordados por este trabalho, com o intuito de favorecer a compreensão do contexto em que as técnicas de manutenção são utilizadas na busca da melhoria do equipamento. Esses conceitos fornecem a base para uma avaliação quantitativa do assunto, apesar de este não ser o foco principal do trabalho.

Capítulo 2 – Gestão da Manutenção:

No capítulo 2 estão todas as informações que fundamentam o embasamento e referencial teórico. Aqui também é desenvolvida a fundamentação teórica, onde a manutenção industrial é abordada, por meio de uma breve referência a sua evolução histórica e a terminologia a ela aplicada, que abrange os conceitos e concepções relacionadas à função de manutenção, como também a definição de suas diferentes formas.

Capítulo 3 – FMEA/FMECA

Neste capítulo estudaremos mais aprofundadamente as ferramentas FMEA e FMECA, evidenciando a diferença entre estas e direcionando à aplicação, com alguns modelos padrão de formulários.

Capítulo 4 – Árvore de Análise de Falhas - FTA

No capítulo 4 é apresentada a ferramenta *Fault Tree Analysis* (FTA) e sua empregabilidade, simbologia e explicações de como deve ser utilizada.

Capítulo 5 – Diagnóstico Inicial:

Neste capítulo, os pressupostos, diretrizes e abrangência da sistemática de manutenção no laboratório adotada no Instituto, são apresentados no terceiro capítulo. Logo depois, a sua estruturação é apresentada, a partir de documentos técnicos, denominados manuais, e a sua estrutura funcional, apoiada em subsistemas. Este capítulo ainda abordará o diagnóstico inicial do laboratório objeto deste estudo até o conhecimento dos técnicos e pesquisadores sobre a importância da manutenção. Mostra-se neste capítulo os resultados de aplicação d questionário, bem como o emprego da FTA nos equipamentos, demonstrando o total desencontro de informações entre todos os entrevistados.

Capítulo 6 - Conclusão e Sugestões

Aqui estão apresentadas as conclusões da pesquisa e as sugestões para trabalhos futuros.

1.3 Justificativa da Pesquisa

Necessidade de apoiar as decisões sobre o momento oportuno para realizar paradas para manutenção preventiva sistemática nos equipamentos de ensaios climáticos de um Instituto de Pesquisa, garantindo a confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos, cumprimento das metas de produção e aproveitamento das oportunidades geradas pelo mercado, sem prejuízo para o equipamento e com reflexos positivos na rentabilidade.

1.4 - Objetivos

1.4.1 - Objetivo Geral

Diagnosticar a situação atual dos ativos de um laboratório de mecânica, subdivisão de ensaios climáticos, em um Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento, doravante denominado apenas de INSTITUTO, estabelecido no Pólo Industrial de Manaus e que atua no ramo de

tecnologia móvel, avaliando o planejamento das paradas de manutenção e considerando os condicionantes ambientais, comerciais e legais que determinam a sazonalidade do processo produtivo, com reflexos na rentabilidade da empresa.

1.4.2 - Objetivos Específicos

Esta pesquisa tem como objetivos específicos:

- Discutir o emprego de *softwares* específicos para o gerenciamento e gestão da manutenção de máquinas, equipamentos e instalações, propondo a implantação de um sistema de gerenciamento de ativos da estrutura de suporte à prestação de serviços de alta tecnologia;
- Revisar conceitos de engenharia de confiabilidade aplicados à manutenção, identificando correlações entre as variáveis: parada de manutenção, produtividade e qualidade, considerando a relação na rentabilidade;
- Sugerir critérios para decisão quanto ao planejamento das paradas de manutenção.

1.5 – Delimitação do estudo

Muito embora os Institutos de Pesquisa e Desenvolvimento existentes na cidade de Manaus constituam uma população de mais de vinte, o presente trabalho analisará, para fins de estudo e alcance dos objetivos, o laboratório de ensaios mecânicos do INSTITUTO que subdivide-se em 07 (sete) áreas, assim organizadas: Metrologia, Eletrônica, Ensaios Climáticos, Ensaios Mecânicos, Análise de Telas de Alta definição, Caracterização de Materiais e Análise de Falhas.

Apesar da grande variedade de equipamentos para análises mecânicas em laboratório, o presente trabalho será focado especificamente nos equipamentos que constituem a área de Ensaios Climáticos, sendo esta composta por: 10 (dez) equipamentos, sendo 05 (cinco) câmaras climáticas que simulam umidade e temperatura da marca Thermotron, 01 (uma) câmara Salt Spray que simula ambientes litorâneos da marca Atlas Eletronic, 01 (uma) câmara climática ESPEC que simula umidade e temperatura da marca ESPEC, 01 (uma) câmara climática Q-SUN que simula a incidência de raios ultra violeta nos equioamentos eletrônicos da marca Q-SUN, 01 (uma) câmara DUST Chamber que simulada o aumento de particulado suspenso e sua ação diante de equipamentos eletrônicos da marca Weiss e 01 (um) Tumble tester que simula o

comportamento dos materiais quando determinada força for aplicada no mesmo em virtude de possíveis quedas que possam ocorrer da marca First Door Oy.

1.6 - Relevância do estudo/Justificativa

Com o avanço das ciências e por consequência da tecnologia, na atualidade, não se permite tomar decisões empiricamente - no “achismo” ou no “bom senso”. A inexistência de informações, fatos e dados, para a tomada de decisão, seja ela em nível gerencial ou operacional, carrega consigo prejuízos literalmente incalculáveis. Deve haver o gerenciamento, que nada mais é do que medir o grau de eficiência dos serviços em cima de informações e atuar intensamente nas causas dos problemas a fim de eliminar os seus efeitos danosos. Porém, para poder-se gerenciar com eficácia é indispensável, primeiramente, ter conhecimento de como se encontram os maquinários e instalações, de forma que toda máquina, equipamento ou instalação tenha seu diagnóstico inicial documentado para que se possa traçar parâmetros de direção e até mesmo medir o grau alcançado após a implementação de um método de gestão de bens móveis e imóveis na área de manutenção de uma determinada organização.

Para que se possa administrar de um modo mais adequado, a área de manutenção tende a trabalhar com dados e fatos, pois desta forma se torna possível consolidar conhecimento técnico e experiências, objetivando construir uma estrutura sólida para gerir ativos de manutenção e o armazenamento destes registros trazem consigo a importante tarefa de auxiliar em um segundo momento na tomada de decisão.

Com os recursos cada vez mais reduzidos, justifica-se um investimento inicial na área de manutenção para posterior economia, de forma a não impactar nos negócios da organização quando uma máquina, equipamento ou instalação tem sua utilização requerida pelo processo produtivo.

Os motivos para se priorizar a área de manutenção, podem ser descritos da seguinte forma: necessidade de uma manutenção dos equipamentos e instalações mais eficazes pelo aumento da mecanização da produção; pela maior complexidade dos equipamentos diante do progresso tecnológico; controle de volume e prazos de produção em níveis mais elevados; maior exigência quanto a qualidade dos produtos, entre outras, são algumas das justificativas para o desenvolvimento de pesquisas nesta área.

Alguns fatores tornam-se impactantes no negócio, e um deles é que a maioria das empresas não possui um setor de manutenção estruturado. Falta uma estrutura clara, objetiva e padronizada para melhor atender as necessidades de seus clientes internos.

O tema do projeto consiste, então, no diagnóstico e proposta para manutenção da estrutura de suporte à prestação de serviços de alta tecnologia, voltado sempre ao gerenciamento de ativos.

Acredita-se ainda, que a presente pesquisa será desenvolvida no anseio de contribuir para a discussão sobre as práticas de gestão de manutenção voltadas para Institutos de Pesquisa e Desenvolvimento, os quais não possuem bibliografias específicas, mas se enquadram na área de atuação da manutenção, que está inserida em todos os ramos da sociedade.

A escolha do tema: Diagnóstico e Proposta para Manutenção da Estrutura de Suporte à Prestação de Serviços de Alta Tecnologia, deve-se em grande parte, ao cenário atual do mercado consumidor como um todo, onde novas tecnologias são inseridas no mercado e os centros de desenvolvimento dessas tecnologias devem acompanhar este desenvolvimento, inclusive no que tange o seu próprio suporte.

A pesquisa apresentada não se trata de uma proposta de trabalho restrita ao ambiente da pesquisa e desenvolvimento. Deste modo, o tema é de suma importância quando da proposta de apresentar uma metodologia para identificação da situação inicial de máquinas, equipamentos e instalações em um laboratório de mecânica, na área de ensaios climáticos, de um INSTITUTO.

1.7 – Metodologia

Esta pesquisa foi desenvolvida utilizando-se o método de estudo de caso único, pois trata-se de um Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento típico, com finalidade explanatória.

Considerou-se para efeito de unidade de análise deste estudo, um grupo de equipamentos da organização objeto desta pesquisa.

Foram aplicados questionários semi estruturados, onde as questões tiveram como orientação um constructo de perguntas que direcionavam ao tema proposto.

2 GESTÃO DA MANUTENÇÃO

Neste capítulo iremos conceituar os termos: Manutenção, Manutenção Preventiva, MTTR/MTBF, Manutenção Centrada na Confiabilidade, Qualidade, Indicadores de Manutenção e Gerenciamento Informatizado da Manutenção.

2.1 - A história da Manutenção

Segundo TAVARES (2005), a história da Manutenção anda em paralelo com o desenvolvimento técnico-industrial da humanidade. No fim do século XIX, com a mecanização das indústrias, surgiram as primeiras necessidades de reparos. Até 1914, a Manutenção estava em segundo plano e era executada pelo mesmo efetivo de operação. Com a implantação da produção em série, instituída por Ford, as indústrias passaram a estabelecer programas mínimos de produção e, em consequência, sentiram necessidade de criar equipes com conhecimento técnico específico e que pudessem efetuar reparos em máquinas operatrizes no menor tempo possível. Assim surgiu um órgão subordinado à operação, cujo objetivo básico era de execução da Manutenção, hoje conhecida como Corretiva. Assim, os organogramas das empresas apresentavam o posicionamento da Manutenção como indicado na figura abaixo.

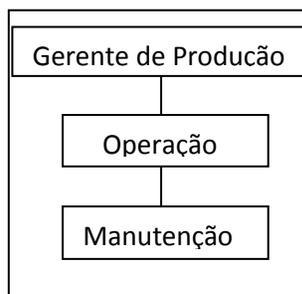


Figura 1: Posicionamento da Manutenção até a década de 30

FONTE: ABRAMAN, 2008.

Esta situação perdurou até a década de 30, quando, em virtude da Segunda Guerra Mundial e o aumento da necessidade de produção, a alta administração industrial passou a se preocupar, não somente em corrigir falhas, mas também em evitar que elas ocorressem, e o corpo técnico da área de Manutenção passou a desenvolver o processo de Prevenção de avarias que, juntamente com a correção, completavam o quadro geral de Manutenção, formando uma estrutura tão importante quanto a de operação, passando os organogramas a se apresentarem como indicado na figura seguinte.



Figura 2: Posicionamento da Manutenção nas décadas de 30 e 40

FONTE: ABRAMAN, 2008.

Entretanto essa Manutenção era basicamente baseada no tempo, ou seja, em períodos pré-definidos em dias, ou em horas de funcionamento, ou em semanas, ou em quilômetros rodados ou em número de operações, o equipamento era parado para uma “revisão geral” onde eram seguidas as rotinas de limpeza, substituição de peças, ajustes e os reparos. Esse tipo de atividade seguia um conjunto de tarefas (instrução de Manutenção) normalmente elaboradas a partir da experiência dos mantenedores e/ou recomendações dos fabricantes. Este tipo de Manutenção ficou conhecido como “preventivo periódico” ou “preventivo sistemático”.

Na década de 1950, com o desenvolvimento da indústria para atender aos esforços pós-guerra, a evolução da aviação comercial e da indústria eletrônica, os gestores de Manutenção observaram que, em um número grande de casos, o tempo para se chegar a um diagnóstico correto das falhas era maior do que o de execução do reparo, e montaram equipes de especialistas para formar um órgão de assessoramento que se chamou “Engenharia de Manutenção”, que ficou responsável pelo planejamento e controle da Manutenção preventiva e ainda de analisar causas e efeitos das avarias, sendo os organogramas das empresas subdividido, conforme indica a figura 3.

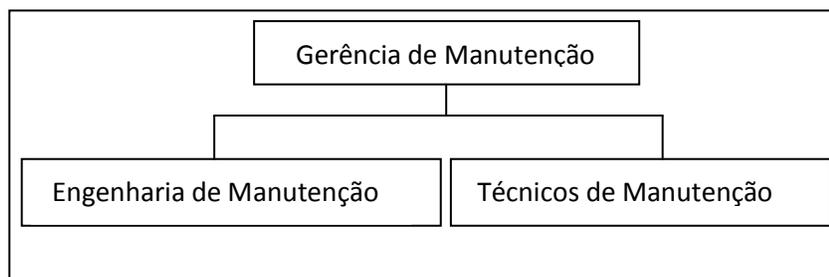


Figura 3: Perfil da manutenção a partir da década de 50

FONTE: ABRAMAN, 2008.

Esse tipo de Manutenção ficou conhecido como “Manutenção produtiva” e ainda era executado baseado no tempo, ou seja, em períodos pré-definidos por programa (chamado “programa mestre de Manutenção”).

No início da década de 60, com a difusão do *Total Quality Control* (TQC), os franceses adequaram os conceitos de gestão corporativa partindo do princípio de que o aumento da produtividade das empresas seria obtido através das recomendações de um comitê, formado por representantes de todas as áreas direta ou indiretamente envolvidas com o processo produtivo, que deveria ser coordenado pelo Gestor da área de Manutenção.

O comitê contaria com recursos disponibilizados pela área de manutenção para o desenvolvimento do trabalho em equipe em vários segmentos e diferentes níveis de hierarquia motivados e coordenados segundo uma mesma direção, ou seja, a Manutenção coordenaria os grupos de trabalho em diversos níveis de supervisão objetivando maior eficiência e disponibilidade dos equipamentos.

A proposição do comitê ficou conhecida como a “Escola Latina” e era revolucionária para a época, pois quebrava o paradigma de que a função Manutenção era de menor importância no processo produtivo e que deveria permanecer relegada em segundo plano na estrutura organizacional das empresas, fato este que ficou bem caracterizado na “Máxima de *Arnold Sutter*”: “Manutenção é isto... Quando tudo vai bem, ninguém lembra que existe; Quando algo vai mal, dizem que não existe; Quando é para gastar, acha-se que não é preciso que exista; Porém quando realmente não existe, todos concordam que deveriam existir.” O fato é que, tendo o tempo como testemunha, a história mostrou que os franceses estavam certos.

Outro fato relevante na Escola Latina é o prognóstico de que haveria um Sistema Informatizado e “Integrado” que auxiliaria o Comitê Corporativo na análise da situação do processo produtivo para apresentação de sugestões de propostas de melhorias.

A área de processamento de dados na época era composta por computadores conhecidos como “*mainframes*” (computador de grande porte) que, por serem únicos na empresa, sua taxa de utilização era alta e eram bastante requisitados pelas áreas ditas mais “nobres”, como financeira, folha de pagamento, compras, contabilidade e que raramente a Manutenção tinha a possibilidade de ter atendidas suas necessidades no tempo desejado.

A sugestão dada pelo comitê de que haveria um sistema informatizado e integrado deixava à mostra a possibilidade de que cada área da empresa, incluindo Manutenção, teria seu

próprio sistema de gestão e que esses sistemas se comunicariam entre si. Mais uma vez, tendo o tempo como testemunha, a história mostrou que o prognóstico se realizaria.

No final da década de 60, surge a proposta das Investigações Russas onde é definido o conceito de “Ciclo de Manutenção”, como o intervalo compreendido entre duas “Revisões Gerais” que envolvem todos os trabalhos de ajustes e substituições executados durante a parada do equipamento.

O grande esforço das Investigações Russas era sobre questionamento da necessidade de existência do “Ciclo de Manutenção”, ou seja, o porquê de ter que estar parando os equipamentos em intervalos de tempos pré-definidos. Segundo a proposta deles, deveriam ser estabelecidas periodicamente as inspeções sistemáticas para determinar a evolução das condições operativas e os defeitos e, em função da evolução dessas condições, seria marcado o momento da intervenção, conhecida como “Revisão Geral”. Esta proposta ficou conhecida como Manutenção Seletiva e foi a precursora da Manutenção Preditiva por Análise de Sintomas e foi o início da chamada era da “Manutenção Baseada em Condições”.

A maior vantagem da proposta dos russos era que as inspeções periódicas seriam feitas, em sua maioria, com o equipamento funcionando, utilizando instrumentos simples de medição e os sentidos humanos. Com a difusão dos computadores e a sofisticação dos instrumentos de proteção e medição, a Engenharia de Manutenção passou a desenvolver critérios mais sofisticados de Manutenção Baseada em Condições, que foram associados a métodos de planejamento e controle de Manutenção automatizados, reduzindo a burocracia dos executantes de Manutenção. Estas atividades acarretaram o desmembramento da Engenharia de Manutenção que passou a ter duas equipes: a de Estudos de ocorrências crônicas e a de Planejamento e Controle de Manutenção, esta última com a finalidade de desenvolver, implementar e analisar os resultados dos Sistemas Automatizados de Manutenção.

No início dos anos 70 os ingleses levantaram o questionamento quanto ao envolvimento dos aspectos de custos no processo de gestão da Manutenção, que ficou conhecido como Terotecnologia, que é a alternativa técnica capaz de combinar os meios financeiros, estudos de confiabilidade, avaliações técnico-econômicas e métodos de gestão de modo a obter ciclos de vida dos equipamentos cada vez menos dispendiosos (a Manutenção é o coração de qualquer Sistema Terotecnológico).

O conceito de terotecnologia é a base da atual “Manutenção Centrada no Negócio” onde os aspectos de custos norteiam as decisões da área de Manutenção e sua influência nas decisões estratégicas das empresas.

Os japoneses em 1971, após fundirem todos os conceitos desenvolvidos anteriormente, aliam a necessidade de se ocupar o tempo ocioso do profissional da operação com atividades simples e bem definidas da área de Manutenção, disponibilizando o profissional de Manutenção para realizar parte das análises técnicas e a engenharia de Manutenção para re-avaliar os projetos dos equipamentos e instalações. Surge o *Total Productive Maintenance* (TPM) (Manutenção Produtiva Total). No TPM se busca a melhor taxa de utilização dos equipamentos, a avaliação dos custos totais dos equipamentos em função do tempo e da incidência das intervenções no custo de seus ciclos de vida, a extensão de intervenções a outras áreas (particularmente a operação) e a participação de todas as áreas na busca de melhorias de produtividade.

A partir de 1980, com custos reduzidos e linguagem simples, os microcomputadores passaram a ser peça fundamental para os órgãos de Manutenção, pois estes órgãos começaram a desenvolver e processar seus próprios programas, eliminando os inconvenientes da dependência de disponibilidade humana e de equipamentos para o atendimento as suas prioridades de processamento das informações pelo computador central, além das dificuldades de comunicação na transmissão de suas necessidades para o analista de sistemas, nem sempre familiarizado com a área de Manutenção. Em algumas empresas, esta atividade mostrou-se tão importante que o Planejamento e Controle de Manutenção (PCM), passou a compor um órgão de assessoramento à supervisão geral de produção, uma vez que influencia também a área de operação.

No decorrer da segunda metade dos anos 80, o comércio de *softwares* de Manutenção é incrementado, gerando a necessidade do desenvolvimento de técnicas de avaliação e seleção desses programas, além da revisão estrutural da organização da Manutenção para atender aos apelos da evolução tecnológica. Assim surge a “Análise e Diagnóstico da Manutenção” (também conhecida como “Radar da Manutenção” ou “Auditoria da Manutenção”) que, a princípio foi efetuada de forma subjetiva e, pouco a pouco, convertida para processo objetivo com questionamentos e propostas baseadas em experiência própria e de consultores especializados.

A Análise e Diagnóstico consiste em montar um grupo de trabalho da própria empresa que, assessorado ou não por consultores externos, avalia a situação dos diversos aspectos de

Gestão da Manutenção. Este grupo de trabalho, coordenado pelo Gestor da área de Manutenção, deverá ser composto por representantes das áreas de Execução da Manutenção e outras a ela direta e indiretamente relacionadas (Operação, Material, Organização e Métodos, Recursos Humanos/Folha de Pagamento, Capacitação e Desenvolvimento de Pessoal, Compras, Processamento de Dados, Novos Projetos, Arquivo/Biblioteca, Contratos, Controle Patrimonial, Contabilidade e Segurança Industrial), alguns dos quais terão sua participação restrita apenas aos temas de seus níveis de ação.

A partir do final da década de 80, com o aumento das exigências de qualidade dos produtos e serviços pelos consumidores, a Manutenção tornou-se um elemento importante no desempenho dos equipamentos em grau de importância equivalente ao que já vinha sendo praticado na operação. Este reconhecimento foi aceito pela *International Standard Organization* (ISO), quando em 1993 revisa a norma série 9000 para incluir a função Manutenção no processo de certificação, dando, portanto o reconhecimento, já identificado pela Organização das Nações Unidas (ONU) em 1975, da estrutura organizacional de equivalência dessas duas funções no incremento da qualidade, aumento da confiabilidade operacional, redução de custos e redução de prazos de fabricação e entrega, garantia da segurança do trabalho e da preservação do meio ambiente.

Com a melhor difusão da importância da manutenção para as empresas e, para melhor ilustrar as formas de manutenção Monchy (1989,p.35) apresenta um diagrama, estruturado como um fluxo, onde com base em cada situação se define a forma de manutenção a ser adotada, conforme a Figura 4.

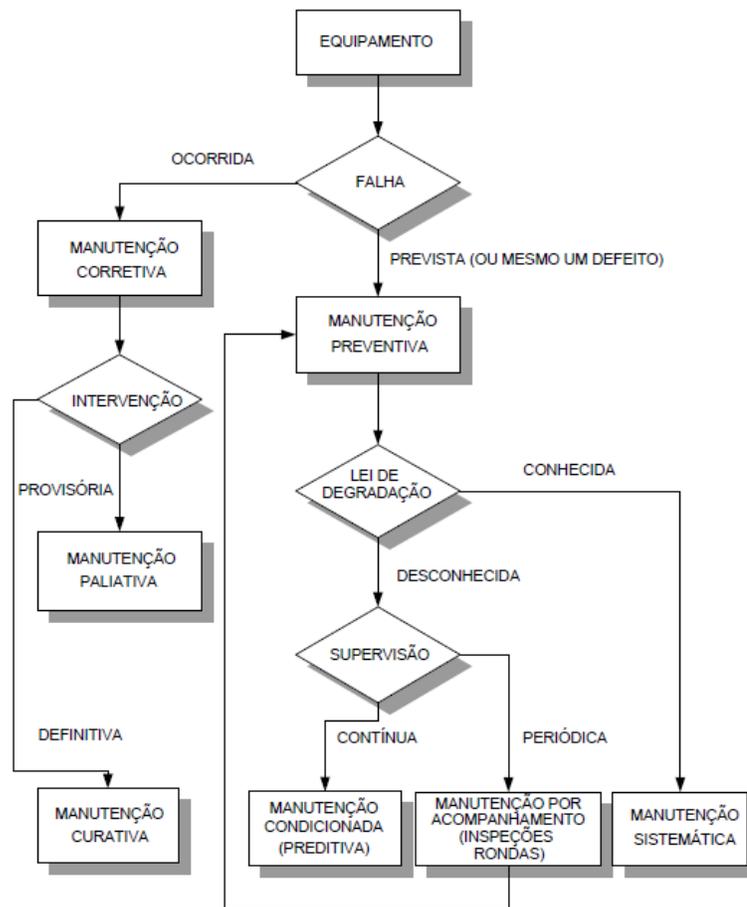


Figura 4: Formas de Manutenção

FONTE: adaptado de Monchy (1989).

No final de século passado, com as exigências de aumento da qualidade dos produtos e serviços pelos consumidores, o PCM, assim como a Engenharia de Manutenção, passaram a desempenhar importantes funções estratégicas dentro da área de produção através do manejo das informações e da análise de resultados para auxiliar aos Gerentes (Produção, Operação e Manutenção) em suas missões de tomada de decisão, sendo então recomendado que tanto a Engenharia de Manutenção quanto o PCM passem a ocupar posição de “*staff*” a toda área de produção (nas empresas de processo ou serviço). Pode-se notar que as gerências passam a ter suas atividades estratégicas assessoradas por especialistas na montagem e administração das informações, na geração de relatórios adequados às suas necessidades e na pré-análise desses relatórios. Além disso, todas as técnicas de gestão estratégica das empresas estão sendo orientadas para a integração corporativa e estes órgãos de assessoramento podem ser os

catalisadores dessa integração. Orientado por esta visão, podemos indicar como atribuições desses órgãos:

Planejamento e Controle de Manutenção - PCM:

- Assessorar a gerência em tudo que se refira à programação e controle;
- Assessorar o órgão competente na seleção e administração de contratos de serviços de terceiros;
- Assessorar o órgão competente na Manutenção do patrimônio técnico da gerência;
- Assessorar o órgão competente na avaliação e definição das necessidades de treinamento do pessoal pesquisando cursos mais adequados;
- Revisar as programações e instruções de Manutenção;
- Avaliar pontos de perda de produtividade emitindo sugestões.

Engenharia de Manutenção - EDM:

- Assessorar o órgão competente na elaboração de especificações de compra de materiais e novos equipamentos;
- Analisar relatórios emitindo sugestões;
- Analisar o Custo do Ciclo de Vida dos Equipamentos (LCC) apresentando sugestões;
- Aplicar as técnicas do Custeio Baseado em Atividades (ABC) para indicar os processos onde devem ser reforçados os recursos e aqueles onde deve ser re-avaliadas suas necessidades;
- Aplicar as técnicas da Teoria das Restrições (TOC) para determinar os pontos do processo onde existem “gargalos” e sugerir recomendações para reduzir os efeitos desses “gargalos” (re-engenharia de máquinas, métodos e processos);
- Avaliar e sugerir técnicas de preditiva.

2.1.1 – Manutenção

Em virtude da necessidade das organizações de executar pequenos reparos em suas máquinas e instalações, surgiu a manutenção e com o advento do sistema de produção em série de Ford, as empresas passaram a programar sua produção com o base no atendimento de demanda, o que culminou com o surgimento das primeiras equipes de manutenção corretiva (ABRAMAN, 2008).

Segundo Lima e Castilho (2006), o conceito de manutenção pode ser definido, como as medidas necessárias para a conservação ou permanência, de alguma coisa ou situação e ainda os cuidados técnicos indispensáveis ao funcionamento regular e permanente de motores e máquinas. Os autores afirmam ainda que o mais comum é definir a manutenção como: “o conjunto de atividades e recursos aplicados aos sistemas e equipamentos, visando garantir a continuidade de sua função dentro de parâmetros de disponibilidade, de qualidade, de prazo, de custos e de vida útil adequados” (LIMA E CASTILHO, 2006, p. 1).

Devido a amplitude desta definição, a manutenção é caracterizada como um processo que é suportado pela qualidade e produtividade. Um processo que deve iniciar antes da aquisição do bem e que tem como principal foco, o prolongamento da vida útil do equipamento ou sistema.

De acordo com Leal, Baffa e Garcia (2006) uma das maiores contribuições que a manutenção traz para o processo produtivo é a maior disponibilidade confiável da planta industrial ao menor custo, favorecendo o crescimento da produtividade.

As rotinas de manutenção existem para garantir que um equipamento continue a desempenhar as funções para as quais foram projetados (MARÇAL, 2008). Porém, a degradação do mesmo é inevitável, pois são causados pelo tempo de uso e desgaste natural.

Marçal (2008) afirma que a manutenção pode desempenhar um papel importante no incremento à produtividade, focando na melhoria contínua de sua forma de gerenciamento e evitando problemas de relacionamento interdepartamentais de uma empresa, deixando de ser vista como um mal necessário.

O gerenciamento das atividades da manutenção não deve se limitar em um escopo reduzido de apenas manter as condições originais dos equipamentos, explica Marçal (2008). As melhorias requerem ações específicas tanto em nível técnico como gerencial. Alguns exemplos são: modificações de padrões e procedimentos, aumento ou inserção da qualidade da manutenção, produção e instalações, entre outros (CAGLIUME, PILATTI, KOVALESKI, 2008).

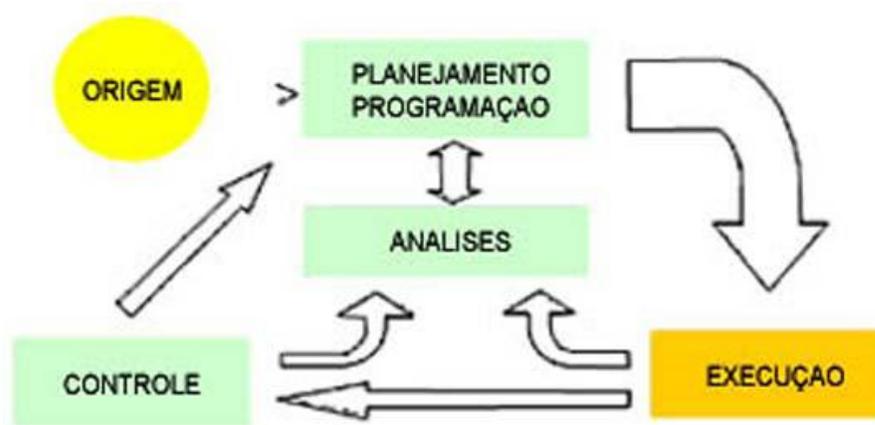


Figura 5 - Ciclo de Gerenciamento da Manutenção

Fonte: Revista Máquinas e Equipamentos, 2003.

Segundo Fernandes (2003), a consolidação do Ciclo de Gerenciamento de Manutenção se faz pela prática permanente de ações de planejamento, Programação e Controle de Manutenção (PCM).

2.2 Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC)

Segundo Possamai e Nunes (2001), o desenvolvimento da metodologia de Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) originou-se principalmente na indústria aeronáutica nos Estados Unidos, no início da década de 60. Naquele momento, a evolução tecnológica caminhava a passos largos, inclusive no mercado aeronáutico, também em função da perspectiva do aumento do número de aeronaves em operação, o que culminou com uma reavaliação dos processos de manutenção objetivando a segurança destes equipamentos, aliado ao custo operacional das empresas.

Representantes das empresas aéreas, dos fabricantes e do governo americano reuniram-se em 1968, formando um comitê denominado *Maintenance Steering Groups* – MSG, com o objetivo de desenvolver estudos na área de manutenção. Os documentos oriundos deste estudo foram publicados como MSG-1, Manual: Avaliação de Manutenção e Desenvolvimento de Programa, tendo sido em 1970 rerepresentado em uma nova versão revisada sob o título de MSG-2, todos patrocinados pela *Air Transport Association of America* - ATA (Associação de Transporte Aéreo da América).

A ATA, introduziu ainda, em 1980, o MSG-3, Documento de Desenvolvimento de Programa de Manutenção para Companhias Aéreas/Fabricantes de Aviões, onde este documento foi influenciado pelo livro de 1978 de Nowlan e Heap, mas objetivando continuar a tradição iniciada pelos documentos MSG anteriores. O MSG-3 sofreu duas revisões, a primeira em 1988 e novamente em 1993, e é o documento que tem como objetivo orientar o desenvolvimento de programas iniciais de manutenção programada para os novos aviões comerciais norte-americanos até hoje.

Em virtude dos documentos apresentados por estes estudos, e da publicação do livro RCM (*Reliability Centered Maintenance*) por Nowlan e Heap, onde houve a introdução de vários conceitos, mudou-se o enfoque da análise de cada equipamento, tornando o estudo de falhas mais aprofundado, inclusive em relação a função exercida pelo mesmo no sistema em que está inserido.

A partir da metade da década de 70, o Departamento de Defesa dos Estados Unidos desenvolveu um estudo do estado da arte da manutenção na aviação. Foi escrito por F. Stanley Nowlan e Howard Heap o relatório intitulado *Reliability Centred Maintenance* (RCM) e publicado em 1978, nascia aí a Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC).

No início dos anos 80 o RCM, como descrito por Nowlan e Heap passou também a ser aplicado na área industrial, e não somente na aviação.

A MCC é uma metodologia estruturada que tem por objetivo garantir que o equipamento desenvolva suas funções requeridas, nos padrões para o qual foi projetado, considerando seu contexto operacional.

Segundo Moubrey (2000), o objetivo da Manutenção Centrada na Confiabilidade MCC é assegurar que os ativos físicos continuem a fazer o que seus usuários querem que eles façam, sendo seu conceito mais amplo o seguinte: “Manutenção Centrada na Confiabilidade: um processo utilizado para determinar o que deve ser feito para assegurar que qualquer ativo físico continue a fazer o que quer que seus usuários querem que ele faça no seu contexto operacional presente”.

Segundo Fleming (1999), a Manutenção Centrada na Confiabilidade é um método para o planejamento da manutenção industrial que visa racionalizar e sistematizar a definição de tarefas de manutenção, bem como, garantir a confiabilidade e a segurança operacional ao menor custo. Apesar de utilizar as diversas técnicas de manutenção existentes, exige que algumas das práticas

correntes de Manutenção Preventiva (MP), inculdas durante anos, sejam modificadas drasticamente.

Os principais benefícios que as metodologias de manutenção podem prover são, após o estudo das falhas, identificarem em um maior nível de detalhamento, as alternativas de técnicas a serem empregadas. Dentre os demais benefícios aos equipamentos, fabricantes e indústrias, podemos destacar o seu baixo custo de implementação na prática, sendo este um dos principais fatores determinantes para a adoção no processo produtivo.

Segundo Terbeck (2004), a razão básica para a investigação e o registro de ocorrências de falha é a de permitir a identificação de ações corretivas adequadas e eficientes à prevenção da recorrência.

Segundo Nunes e Valladares (2002), para implementação da MCC, são definidas as tarefas, preventivas ou corretivas, são consideradas, bem como a frequência das inspeções, dando oportunidade à realização de discussões técnicas, com profundidade suficiente, para uma reavaliação dos procedimentos de manutenção adotados.

Ainda segundo os autores Nunes e Valladares, a MCC inclui o cumprimento ordenado das seguintes etapas: (a) definição do sistema ou equipamento a ser analisado, suas fronteiras e interfaces, bem como o contexto onde está inserido; (b) análise funcional de cada componente do sistema ou equipamento; (c) análise dos modos e efeitos de falha, ou seja, aplicação da ferramenta de Análise do Modo e Efeito da Falha (*Failure Modes and Effects Analysis - FMEA*); (d) utilização de diagramas de decisão para definição e seleção das tarefas de manutenção; (e) formulação e implantação do plano de manutenção.

Com a finalidade de melhor esclarecer essa seqüência de etapas, cabe sumariamente comentar sobre a adoção do FMEA. Esta é uma “técnica de análise indutiva, onde o raciocínio parte da perda da função (modo de falha) de um único componente até uma conclusão geral sobre o efeito correspondente no sistema” (OLIVEIRA e DINIZ, 2001, p.15). O emprego do FMEA visa caracterizar os prováveis modos de falhas potenciais e estabelecer seus efeitos sobre o desempenho do sistema, com base na identificação direta das fontes de falha, recomendando ações corretivas para eliminar suas causas ou reduzir seus efeitos.

O estudo das falhas nos equipamentos para este projeto foi concebido originalmente como forma de identificar métodos de análise de falhas nos equipamentos salientando o grau de

confiabilidade da máquina em sua amplitude, tornando-a cada vez mais viável para a produção em massa.

Segundo Seixas, a combinação de falhas de um equipamento e/ou erros humanos causa a perda da função do sistema. Os seguintes fatores geralmente influenciam a falha dos equipamentos:

- Erro de Projeto
- Falha de Material
- Fabricação e/ou Construção Inadequada
- Operação Inadequada
- Manutenção Inadequada
- Erros de Manutenção (erro humano)

Nota-se que a manutenção não influencia muitos desses fatores. Portanto, a manutenção é meramente uma das muitas abordagens para melhorar a confiabilidade do equipamento, por conseguinte, a confiabilidade do sistema. A MCC foca a análise na redução de falhas resultantes de manutenção inadequada. Assim como, auxilia na identificação de falhas prematuras dos equipamentos introduzidas pelos erros de manutenção. Esta metodologia pode recomendar mudanças ou modificações de projeto e/ou melhoramentos operacionais quando a confiabilidade do equipamento não pode ser assegurada através da manutenção. Para desenvolver um gerenciamento efetivo das falhas, a estratégia deve estar baseada no entendimento dos mecanismos de falha.

Uma distribuição matemática utilizada para representar as falhas de equipamentos é a Distribuição de Weibull. Esta distribuição é utilizada para representar falha:

- Devido à mortalidade infantil (dominada pelos pontos fracos de fabricação e erros de partida, instalação e manutenção).
- Aleatórias (dominada pelas falhas inesperadas causadas por esforços repentinos, condições extremas, erros humanos,...).
- Por desgaste (dominado pelo fim da vida de uso do equipamento).

Esta informação ajuda na determinação de uma estratégia de manutenção adequada. A análise dos dados de falha, utilizando a Distribuição de Weibull, vai nos ajudar no estabelecimento do intervalo para certos tipos de tarefas de manutenção.

2.2.1 – A distribuição de Weibull

Segunda a revista QUALYTEC, as expressões desenvolvidas, em 1939, por Ernest Hjalmar Wallodi Weibull, físico sueco, apresentaram um modelo de planejamento estatístico sobre fadiga de material. Sua utilidade decorre do fato, de permitir:

- Representar falhas típicas de partida (mortalidade infantil), falhas aleatórias e falhas devido ao desgaste.
- Obter parâmetros significativos da configuração das falhas.
- Representação gráfica simples.

As Principais Expressões Matemáticas:

- a) Probabilidade de falhas de um item, num dado intervalo de tempo "t" de operação.

$$F(t) = 1 - e^{-\frac{(t-t_0)^\beta}{\eta}} = 1 - e\left[-\left(\frac{t-t_0}{\eta}\right)^\beta\right] \quad (1)$$

F(t) ==> Função Distribuição Cumulativa

- b) Probabilidade a qual o equipamento não irá falhar para um dado período de tempo "t" de operação (Confiabilidade)

$$R(t) = 1 - F(t) = e\left[-\left(\frac{t-t_0}{\eta}\right)^\beta\right] \quad (2)$$

- c) Tempo Médio Entre falhas (TMEF)

$$TMEF = t_0 + \eta \cdot \Gamma(1 + \beta^{-1}) \quad (3)$$

- d) Desvio Padrão

$$\sigma = \eta \cdot \left[\Gamma(1 + 2\beta^{-1}) - \Gamma^2(1 + \beta^{-1}) \right]^{1/2} \quad (4)$$

"G" ==> Símbolo da Função Gama

O Significado dos parâmetros da Distribuição de Weibull

" t_0 " => Vida Mínima ou Confiabilidade Intrínseca (tempo de operação o qual o equipamento passa a apresentar falhas, ou seja, intervalo de tempo que o equipamento não apresenta falhas).

" h " => Vida Característica ou Parâmetro de Escala (intervalo de tempo entre " t_0 " e " t " no qual ocorrem 63,2% das falhas, restando portanto, 36,8% de itens sem falhar).

" b " => Fator de Forma (indica a forma da curva e a característica das falhas).

" $b < 1$ " mortalidade infantil

" $b = 1$ " falhas aleatórias (função exponencial negativa)

" $b > 1$ " falhas por desgaste

As observações relativas ao Fator de Forma " b "

A escolha apropriada de " t_0 ", " b " e " h " na Distribuição de Weibull pode ser utilizada para representar uma larga faixa de distribuições, estando incluso tanto distribuições randômicas (exponencial negativa) quanto distribuições aproximadamente normal. Embora a experiência tenha mostrado que a distribuição de Weibull possa ser usada para representar a maioria dos modelos de falha, é primordial notar que é uma função semi-empírica, e pode não ser capaz de representar algumas distribuições particulares encontradas na prática.

Com relação ao Fator de Forma " b ", temos que:

Se " $b = 1$ " (taxa de falha constante), pode ser um indício que modos de falhas múltiplos estão presentes ou que os dados coletados dos MTBF são suspeitos. Este é caso frequente de sistemas os quais diferentes componentes possuem idades diferentes, e o tempo individual de operação dos componentes estão indisponíveis. Uma taxa de falhas constante, pode também indicar que as falhas são provocadas por agentes externos, tais como: uso inadequado do equipamento ou técnicas inadequadas de manutenção.

O modo de falhas por desgaste é caracterizado por " $b > 1$ ", mas podem ocorrer casos em que as falhas por desgaste ocorram depois de um tempo finito livre de falhas, e um valor de " $b = 1$ " é obtido. Isto pode ocorrer quando uma amostragem contém uma proporção de itens imperfeitos, ocasionando falhas antes de um tempo finito livre de falhas. Os parâmetros da Distribuição de Weibull dos modos de falhas por desgaste podem ser deduzidos se forem eliminados os itens imperfeitos e analisados os seus dados separadamente.

2.3 - MTTR/MTBF

A necessidade do estudo dos métodos de gerenciamento manutenção, bem como o tipo a ser empregado em equipamentos de um laboratório de ensaios mecânicos, se deve a procura por baixos custos na operação reduzindo também o período de paradas no processo.

Um dos índices que colabora com os indicadores de manutenção de um determinado processo é o *Mean Time Between Failure* (MTBF), que é um valor atribuído a um determinado dispositivo ou aparelho para auxiliar a descrever a sua confiabilidade. Em geral ele é medido em unidades de horas. Este valor atribuído indica quando poderá ocorrer uma falha no aparelho em questão. Quanto maior for este índice, maior será a confiabilidade no equipamento e, conseqüentemente, a manutenção será avaliada em questões de eficiência. A equação 5 ilustra essa relação:

$$\text{Confiabilidade} = e^{-\frac{\text{Tempo}}{\text{MTBF}}} \quad (5)$$

Outro índice que auxília na tomada de decisões é o MTTR (*Mean Time To Repair*), que é uma medida de tempo, onde esta é tomada como base da manutenção de itens reparáveis, sendo diretamente afetada, ao contrário do MTBF, a disponibilidade e não a confiabilidade. Ela representa a média de tempo necessário para reparar uma falha do equipamento ou componente, ou ainda o tempo necessário para o diagnóstico do problema. Matematicamente expressos, o MTTR é o tempo de manutenção corretiva total dividido pelo número total de ações de manutenção corretiva durante um determinado período de tempo. Ele geralmente não inclui o tempo de aquisição de peças não disponíveis, ou administrativas, ou logística.

A fórmula a seguir mostra como a disponibilidade geral de um sistema é afetada tanto pelo MTBF quanto pelo MTTR.

Na medida que sobe o MTBF, aumenta a confiabilidade. Quando o MTTR aumenta, diminui a disponibilidade.

$$\text{Disponibilidade} = \frac{\text{MTBF}}{(\text{MTBF} + \text{MTTR})} \quad (6)$$

Para que as equações 5 e 6 sejam válidas, é necessário partir de uma hipótese básica para analisar o valor de MTBF de um sistema. À diferença dos sistemas mecânicos, a maioria dos sistemas eletrônicos não tem partes móveis. Conseqüentemente, é geralmente aceito que os

componentes ou sistemas eletrônicos apresentem taxas de falhas constantes durante sua vida útil operacional.

A figura 7, intitulada “curva em forma de banheira” da taxa de falhas, ilustra a origem desta hipótese da taxa de falhas constante, conforme mencionado. O "período de funcionamento normal" ou “período de vida útil” desta curva é a etapa em que o produto está em uso real no campo. Nesse ponto a qualidade do produto já atingiu um nível constante com relação a uma taxa de falhas constante no tempo. Nesta etapa as origens das falhas podem incluir defeitos não-detectáveis, fatores de baixa segurança em matéria de desenho, fatores de maior esforço aleatório que previsto, fatores humanos e falhas naturais.

Para que se consiga evitar uma curva com este desenho, deve-se atribuir ao produto um longo período de teste de componentes por parte dos fabricantes, boa manutenção e substituição proativa das partes desgastadas deveriam ajudar a evitar o tipo de curva de deterioração rápida no "período de desgaste".

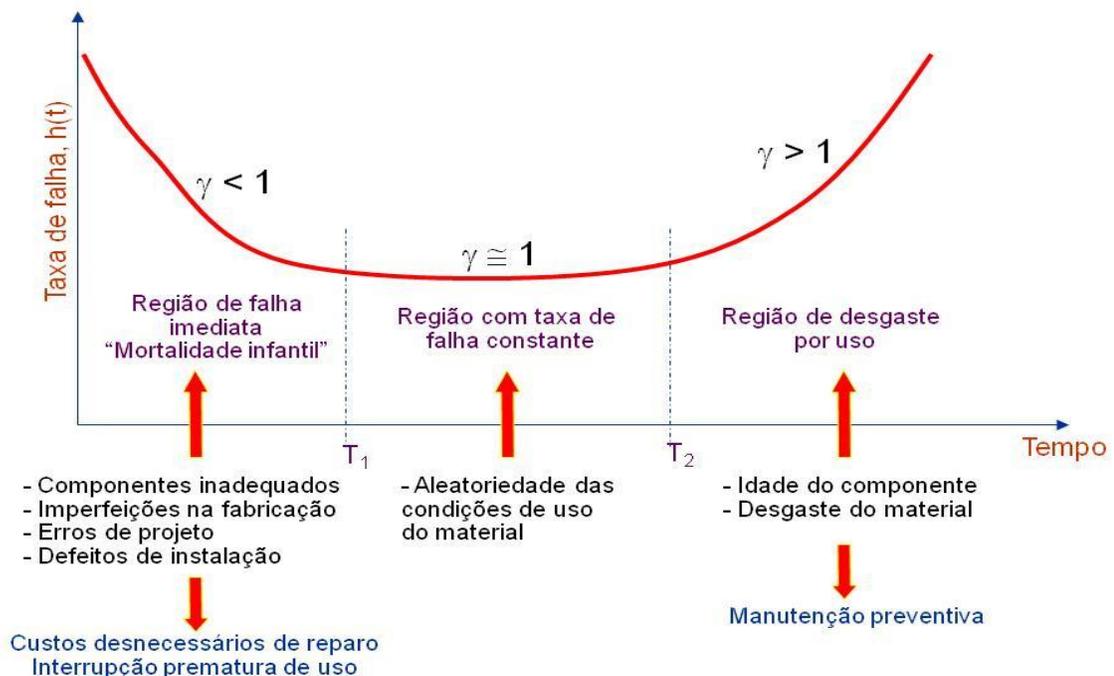


Figura 6 - Comportamento de um equipamento em função do parâmetro de forma da distribuição de Weibull
 FONTE: Reis e Andrade, 2009.

A curva de variação da taxa da falha para equipamentos mecânicos, denominada de “curva da banheira”, é apresentada por Monchy (1989), como demonstrado na figura 7.

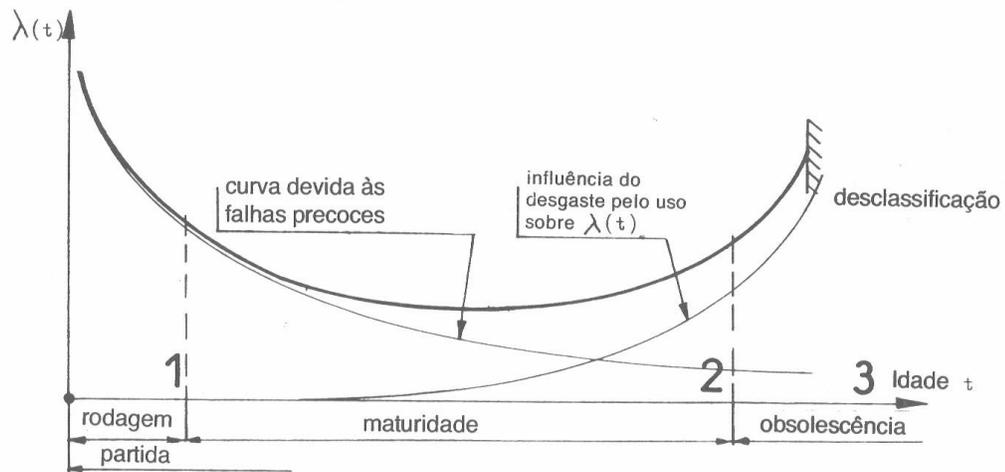


Figura 7 - Curva da Banheira – Equipamentos Mecânicos

FONTE: Monchy, 1989.

Se compararmos as curvas de taxa de falhas apresentadas anteriormente, poderemos observar que os equipamentos mecânicos e eletromecânicos apresentam um desgaste superior aos equipamentos de cunho restritamente eletrônico, como pode-se observar na figura abaixo.

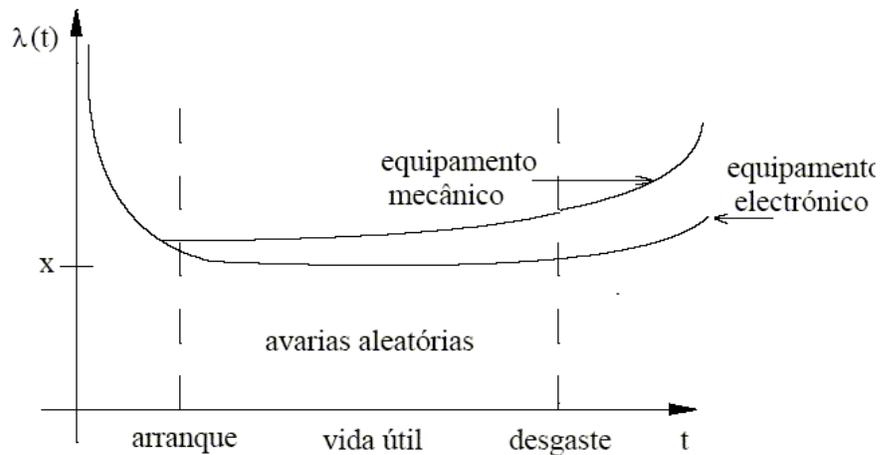


Figura 8 - Sobreposição de gráficos de taxa de falha de equipamentos mecânicos e eletrônicos

FONTE: Monchy, 1989.

Estas noções apresentadas acima constituem um pouco do contexto dos conceitos e diferenças entre confiabilidade e disponibilidade, que permitem fazer uma interpretação correta a respeito do valor de MTBF.

2.4 – Qualidade

De acordo com a NBR ISO 9001 (2008) o conceito de qualidade pode definir-se da seguinte forma: Aptidão de um conjunto de características intrínsecas para satisfazer exigências. As normas NBR ISO 8402 (1994), ainda define qualidade do seguinte modo: Conjunto das características de uma entidade que lhe conferem a aptidão para satisfazer necessidades exprimidas e implícitas.

Juran (1992), com sua abordagem mais voltada ao mercado consumidor, demonstra que as organizações devem se mover da visão fabril tradicional de qualidade como atendimentos as especificações para uma abordagem mais voltada ao usuário e criou a expressão adequação ao uso.

Esta abordagem de Juran (1992), direciona para o ponto onde o usuário do equipamento de produção, do ponto de vista da manutenção, é o próprio operador.

Para Ishikawa (1972), o controle da qualidade firmou-se como uma revolução na administração e precisa ser implantado em toda a empresa. Foi ele o criador do conceito de círculo de qualidade e do digrama de causa e efeito. O mesmo autor, percebe a participação do trabalhador como chave para implementação bem sucedida de *Total Quality Management* (TQM)

Segundo Crosby (1991), as organizações não sabem quanto gastam em qualidade seja para consertarem o que fazem errado ou para fazerem certo. Afirmou que as organizações que mensuram seus custos dizem que estes representam 30% do valor das vendas. Procurou destacar os custos e benefícios da implementação de programas de qualidade através do programa zero defeito.

Em contrapartida, Deming (1990), argumenta que a satisfação dos clientes é um dever de todo profissional.

Devido à amplitude das definições, qualidade tem sido abordada desde “conformidade com requisitos” (Crosby, 1991), passando por “adequação ao uso” (Juran, 1992), chegando até concepções mais amplas, que levam em consideração a economia do processo de produção (Ishikawa, 1972), os serviços agregados ao produto, a percepção e entusiasmo do cliente em relação ao produto (Téboul, 1999).

Segundo Falconi (1992), “o verdadeiro critério para a boa qualidade é a preferência do consumidor em relação ao concorrente, que se dá através da adequação do produto ou serviço às necessidades, expectativas e ambições do consumidor como uma forma de agregar valor ao que será produzido com menor custo”.

Portanto, pode-se afirmar que “qualidade inclui todas as características de produtos, serviços, processos, suporte e sistema de gestão de uma organização que contribuem para atender a requisitos e melhorar a satisfação do cliente”.

Ao aplicar essa ampla definição, uma organização então teria que considerar as seguintes quatro faces da qualidade, devido a:

- Definição dos requisitos e oportunidades de mercado;
- Projeto do produto para atender aos requisitos do mercado;
- Conformidade consistente ao projeto do produto;
- Fornecimento de suporte ao produto durante todo seu ciclo de vida.

Um dos 10 Princípios da Qualidade consagrados por Deming (1990), menciona sobre a não aceitação de erros, e induz a analisar como se comporta a manutenção em termos de desenvolvimento recente. Por outro lado, paradigmas antigos também induzem a aceitar as falhas sem buscar os efeitos causadores, o que induz a falta de qualidade na prestação de serviços.

A equipe técnica de manutenção visa atender de forma adequada seus clientes, quer sejam internos ou externos, no que tange aos equipamentos, obras ou instalações sob suas responsabilidades, e ainda qualquer atividade que desempenhem, terão efeitos diretos ou indiretos no produto ou nos serviços que a empresa oferece.

Para Tavares, (1999) a manutenção desponta como a única função operacional que influencia e melhora os três eixos determinantes da performance industrial ao mesmo tempo: custo, prazo e qualidade de produtos e serviços, como função pivotal.

2.4.1 – Qualidade na prestação de serviços de manutenção

Se utilizarmos a classificação formal dos setores da economia, nesta tripartite os serviços estão classificados como setor terciário, sendo os demais setores primário e secundário, compostos por: agricultura e as atividades de mineração ou industriais, respectivamente.

Segundo Téboul (1999), “o setor de serviços engloba, então, todas as atividades cuja produção não é nem um bem físico, nem uma edificação”. A contar desta classificação, os autores clássicos concluem: A Caracterização do serviço é dada pela simultaneidade do consumo e da produção. Tomando este ponto citado anteriormente como premissa, oferece aos serviços uma classificação de uma natureza imaterial, assinalada pelo economista do século XVIII, Adam Smith, que os descreveu como “perecendo no próprio momento de sua criação”.

Historicamente, o setor de serviços (terciário) era composto de atividades complementares aos outros dois setores da economia; a agricultura (primário) e a indústria (secundário), e o grande fator determinante do setor de Serviços sempre foi o governo, responsável pela organização do Estado e, conseqüentemente, pela organização social.

Segundo Nicoluci e Giuliani, hoje estamos na era dos serviços, em uma sociedade baseada na prestação de serviços que estão em todos os aspectos de nossas vidas, os indivíduos tornam-se cada vez mais desejosos de trocar dinheiro por tempo e de comprar serviços em vez de gastar tempo realizando atividades por conta própria, com novas tecnologias nos serviços.

Rifkin questiona: “como o mundo de hoje seria se Henry Ford tivesse pensado no automóvel mais como um serviço que como um produto e tivesse pensado em alugar seus carros em vez de vendê-los?” O século XX poderia ter sido bem diferente, mas agora, como tantos outros produtos valorizados na sociedade, o automóvel está sendo transformado de um bem em um serviço (RIFKIN, 2001. p.61).

O dinâmico, e cada vez mais sofisticado, desenvolvimento da tecnologia tem seu maior impacto na produção de bens e serviços, o que tem resultado em aumento de produtividade e de produção sem precedente na história.

Os consumidores acabam tendo à sua disposição uma infinidade de produtos e serviços que competem entre si. A oferta de produtos supera a demanda, provocando a necessidade de constantes reduções de custo e de preço. Uma conseqüência desse processo é o que podemos chamar de “Superioridade do Consumidor”, pois a competição pelo consumidor no mercado está cada vez mais acirrada. Porém, os esforços para aumentar a produtividade vêm sendo feitos através da mecanização, da automação e do uso mais incisivo de computadores, com o emprego cada vez menor da mão de obra.

As empresas costumavam ter depósitos gigantes para estocar seus bens materiais, e com os sistemas de fabricação sob encomenda, o estoque e os depósitos foram eliminados, reduzindo ainda mais os custos.

Segundo Braga (2001), essa tecnologia que poupa de mão de obra vem produzindo inúmeras alterações no mercado de trabalho, na definição do conceito de emprego e nos contratos sociais de trabalho. É crescente a redução dos empregos nos setores tradicionais da agricultura e da indústria, a maioria das ocupações encaminha-se para um setor genérico chamado Serviços. Uma das principais marcas do crescimento do setor de Serviços está sendo o aumento da importância dos objetos conceituais (intangíveis) como objeto de trabalho, exigindo, certamente, habilidades extras das pessoas no campo do “pensar”, agora num sistema de pensamento mais aberto, mais abrangente e mais flexível.

O esforço utilizado para aumentar a confiabilidade de um processo produtivo de bens tangíveis, tem como objetivo maior o atendimento das necessidades de produção e por consequência os prazos de entrega. As interrupções no processo afetam diretamente a confiabilidade, colocando em risco o cumprimento das promessas de entrega.

Vale ressaltar nas atividades de manutenção a dificuldade de se avaliar a qualidade do trabalho realizado: se for mal realizado, poderá ocasionar uma falha. Entretanto, é difícil avaliar se a falha resultou de erros de manutenção (falta de preparo da mão de obra) ou de peças defeituosas. Para garantir a qualidade do próprio trabalho, os membros de uma equipe multidisciplinar de manutenção devem ter uma noção de responsabilidade e considerar os métodos de preparação, execução e validação de seu próprio trabalho.

Segundo Marcuzzo, pode-se resumir o conceito de qualidade total na prestação de serviços com a seguinte frase:

“Um compromisso individual de cada profissional em realizar uma tarefa com as melhores técnicas disponíveis utilizando o melhor dos conhecimentos teórico e prático adquiridos em anos de estudo e dedicação para se tentar atingir a máxima perfeição no cumprimento desta tarefa. Convém esclarecer que a “máxima perfeição” é um conceito teórico, pois, o que tentamos é atingir o melhor resultado que podemos como seres humanos imperfeitos que somos” (MARCUIZZO, 2009. p.1).

Conforme o autor, a qualidade nos serviços prestados depende diretamente da disponibilidade e predisposição do executante do serviço em empregar suas habilidades e técnicas aprendidas na solução do problema.

Segundo ainda Crawford e Mathews, a qualidade na prestação de serviços é determinada também pela percepção do cliente no que tange o recebimento do serviço, ou seja, o aspirado e o recebido. Torna-se subjetiva, a qualidade na prestação dos serviços, pois claramente depende de dois pontos, que são: A habilidade do técnico de empregar seus conhecimentos e a percepção do cliente quanto ao serviço proposto e o recebido.

A percepção do cliente pode ser definida segundo Crawford e Mathews:

“Personalize o produto ou serviço para que satisfaçam minhas necessidades. Instrua-me quando eu encontrar um serviço ou produto em uma situação que eu não entenda. Ajude-me, volte atrás às vezes para mostrar que você se importa comigo. (CRAWFORD e MATHEWS 2002.p.24)”.

Segundo Bettman (1979), o efeito de um produto ou serviço será mais importante para as avaliações pós-consumo, se o envolvimento na hora do consumo ou utilização for maior, ou seja, o acompanhamento para garantir que tudo estará conforme o contratado. Quanto maior envolvimento e dedicação do fabricante ou prestador de serviços, haverá maior probabilidade de uma percepção mais favorável.

“Qualidade (de entrega) é fruto da diferença de percepção entre o que o provedor deveria fazer e a sua real performance, na ótica do consumidor. As dimensões da qualidade em serviços ou qualidade de entrega são a segurança, a empatia, a confiabilidade, aspectos tangíveis e receptividade”. (BERRY et al., 2006.p.97).

Os processos de uma empresa, sendo ou não de serviço, possuem elementos comuns com o intuito de alcançar a qualidade do produto ou serviço. Para Fiates (1995), esses elementos são: As pessoas que fazem parte da empresa, os equipamentos e instalações da empresa, a cultura, os padrões e os sistemas organizacionais.

Trabalhar com procedimentação dos processos faz com que o serviço seja valorizado, não só pelos colaboradores de uma organização, como também, venha ser bem visto pelos clientes internos e externos, pois a tendência é que vejam que determinada área é organizada e que conseqüentemente o serviço oferecido por ela venha a ser de bom a alto nível. A partir do momento que a gerencia visualiza e analisa os procedimentos de sua empresa, setor ou área de

trabalho, eles reconhecem gargalos e definem para sua equipe metas de melhoria e avalia os processos frente aos clientes.

Procedimentos e padrões organizacionais: Para Feigenbaun (1961), é uma rede de procedimentos e controles necessários à produção de bens ou serviços que vão de encontro aos padrões de qualidade especificados e são capazes de serem entregues dentro desses padrões.

A qualidade dos serviços depende diretamente da gestão dos processos que os produzem. É muito importante que se tenha um bom conhecimento dos processos de produção de serviços para aperfeiçoar e garantir a qualidade dos serviços prestados por uma empresa (SANTOS COSTA, 2000.p.13).

Os problemas recorrentes nos processos produtivos, alguma vezes, podem ser resolvidos empregando procedimentos de manutenção. Neste caso, a aplicação da padronização às atividades de manutenção, visa garantir a previsibilidade do processo de manutenção de modo que todo trabalho repetitivo, crítico ou prioritário seja executado da mesma forma por todas as pessoas encarregadas.

Segundo Peloggio e Vasconcelos *apud* Xenos (1998, p.62): “De forma simples, os padrões da manutenção incluem os procedimentos de reparo, inspeção, substituição e teste de peças e componentes, além dos critérios de avaliação das suas condições.”. Peloggio e Vasconcelos *apud* Pinto e Xavier (1999, p.125) também citam, “A introdução de procedimentos escritos torna o mantenedor independente da supervisão para a execução das tarefas rotineiras. O responsável pela execução é quem agrega qualidade ao produto; é preciso torná-lo autossuficiente para garantir a qualidade do seu trabalho”.

Para se obter um bom resultado, a manutenção não depende só da mão de obra técnica, precisa também do apoio dos operadores, pois são eles que estão permanentemente em contato com os equipamentos. Essa correlação é importante e extremamente necessária. Muitos problemas que afetam a produção inerentes à manutenção, são resolvidos quando estas duas áreas trabalham em conjunto (LEITE e QUALHARINI, 2010).

2.5 – Indicadores de Manutenção

Segundo Ishikawa (1972), não se pode melhorar aquilo que não se mede.

Para Verri (2007), a manutenção em muitas empresas ainda é submetida a uma avaliação pelo “*feeling*” dos administradores ou até mesmo pelo grau de “*marketing* interno”. Em outros

casos, a avaliação da eficiência da manutenção é medida pela correria ou pelo grau de preocupação estampado no rosto do gestor da área. Todavia, esta forma de se avaliar é bastante complexa e subjetiva.

Segundo Rodrigues (2003), para uma melhor visualização, entendimento e avaliação dos serviços prestados pela área de manutenção, faz-se necessário e essencial que haja no setor de manutenção relatórios embasados nos dados coletados pelos técnicos de campo, como também com base nas informações da área de PCM e EDM. Ainda segundo o autor, os relatórios deverão ser confeccionados de acordo com cada nível hierárquico, de forma que auxilie na tomada de decisão. Estes documentos são basicamente construídos sobre uma base de indicadores adotados pela organização.

Os indicadores de manutenção têm sua estrutura gráfica montada sobre uma relação de duas ou mais grandezas. Estas grandezas são resultado da coleta de dados em campo, materiais sobressalentes, dos valores envolvidos em cada serviço, máquinas, dentre outros.

Dentre vários índices que pode-se adotar para plotagem dos gráficos de indicadores de manutenção, os mais comumente usados são:

- 1) Disponibilidade: O indicador mais importantes da manutenção, segundo Verri (2007, p.69). Este índice tende a resumir sob sua base todos os valores referentes a parada de equipamento, manutenabilidade, confiabilidade, entre outros;
- 2) Custos Totais de Manutenção/Faturamento: Este indicador deve ser tratado com muito cuidado, pois poderá causar uma falsa impressão, tanto para o lado ruim, quando se pode pensar que a manutenção está com seu quadro de pessoal “inchado”, quanto para o lado de que se deve ter um número bastante reduzido de pessoal na manutenção, pois isso poderá causar indisponibilidade de equipamentos;
- 3) Resserviço: Primeiramente deve-se ter em mente a diferença entre resserviço e problema crônico, onde o primeiro é consequência da falha na manutenção, quer seja por erros nos procedimentos como pode ser por falhas diagnosticadas incorretamente, emprego de material incorreto, e o segundo pode ser descrito como sendo um problema do equipamento, pois são adotadas as técnicas previstas, o material é o correto, porém o problema persiste após o término do serviço;
- 4) Produtividade (*work sampling*): Segundo Verri (2007), um dos mais importantes indicadores, apesar de não estar muito difundido no Brasil, pois através de sua

adoção, pode mensurar o desempenho da equipe, além do mesmo auxiliar no dimensionamento do quadro de pessoal efetivo;

- 5) Percentual de manutenção Preventiva e Preditiva/Total: Ainda segundo Verri (2007), nota-se uma vantagem da manutenção preditiva sobre a manutenção preventiva, porém deve-se tomar cuidado com certos equipamentos que apresentam desgastes em suas peças, devendo ser realizada uma manutenção preventiva periodicamente, mas tendo seus intervalos reavaliados, pois de outra forma poderá ter indisponibilidade do equipamento e a mão de obra poderá ser desperdiçada, por outro lado, este período não poderá ser tão longo, pois poderá ocorrer a falha;
- 6) Absenteísmo: Esse indicador dá a exata idéia de desperdício de mão de obra treinada e experiente, criando uma autêntica “indisponibilidade de mão de obra”;
- 7) Quantitativo de Horas Extras: Através deste indicador pode-se observar o grau de desgaste da equipe de manutenção, o que se for muito elevado, aumentam as possibilidades de um possível acidente e ainda também se tem o risco da qualidade dos serviços prestados estar comprometida, além dos custos elevados;
- 8) Taxa de Frequência de Acidentes: Este indicador é de alta importância, pois representa os interesses da sociedade como um todo em relação as políticas de prevenção de acidentes da empresa para com seus empregados. O índice pode ser medido da seguinte forma:

$$\text{Taxa de frequência} = \text{Número de acidentes} \times 10^6 / \text{Hher}$$
 onde Hher é o somatório de homens hora de exposição ao risco no período considerado;
- 9) Percentual de Horas de Treinamento: Se observarmos o sexto mandamento de Deming, notaremos que é necessário implementar o treinamento e retreinamento. Pelo acompanhamento deste índice, pode-se observar o quanto está sendo capacitada a equipe de manutenção;
- 10) *Back-log*: O índice mostra a relação de horas previstas em ordens de trabalho preventivas pelo total de horas de trabalho disponível no setor, sem contar com outras possíveis solicitações de serviços. Este índice serve para demonstrar a velocidade de atendimento dos serviços programados, além de ser um indicativo do dimensionamento da equipe, desde que a produtividade medida esteja dentro dos padrões desejados.

2.5.1 - Indicadores de Manutenção “Classe Mundial”

Segundo Tavares (1999), intitulam-se “índices de classe mundial” os que possuem uma mesma expressão para o cálculo em todos os países, São seis os “índices de classe mundial”, quatro destes são voltados para gestão de equipamentos e dois voltados para gestão de custos da área de manutenção.

Os índices voltados para gestão da manutenção são:

- O Tempo Médio Entre Falhas - MTBF;
- O Tempo Médio Para Reparo - MTTR;
- O Tempo Médio Para Falhar – MTTF.

Quando se trata de indicadores de manutenção, deve-se atentar para um ponto de extrema importância que consiste em diferenciar conceitualmente os índices já apresentados. Como exemplo podemos ter: O MTBF se refere a itens não reparáveis, o seu MTTR é zero, já o MTTF está diretamente associado ao MTTR, por se tratar de itens reparáveis, conforme pode-se observar na figura abaixo. Portanto, estes dois índices MTTR e MTTF são mutuamente exclusivos.

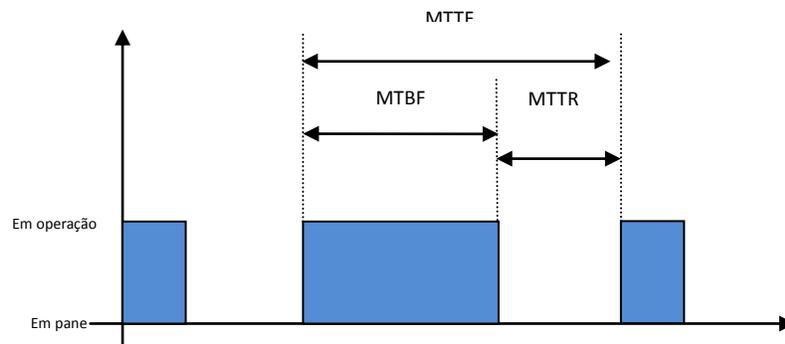


Figura 9 - Representação gráfica dos índices MTBF, MTTR e MTTF

FONTE: Adaptado de Tavares (1999, p.84).

Os índices voltados para custos de manutenção são:

- Custo de Manutenção Por Faturamento (CMPF): De fácil cálculo, este índice obtém os dados a partir do setor de contabilidade da empresa. Ele é determinado pelo custo total da manutenção e o faturamento da empresa no período considerado.
- Custo de Manutenção Pelo Valor de Reposição (CMPVR): A relação entre o custo total acumulado de manutenção em um determinado equipamento e o valor de compra desse mesmo equipamento determinam este indicador. Este cálculo deve ser destinado apenas a equipamentos que afetam o negócio da empresa, ou seja, equipamentos estratégicos e fundamentais.

Segundo Tavares (1999), para que se tenha um bom controle sobre os custos de manutenção, o mesmo deveria se composto de cinco parcelas, a saber: pessoal, material, terceiros, depreciação e perda/redução de faturamento. Sendo ainda cada parcela subdividida em: custo direto, custo indireto e custo administrativo ou rateio de custos de outra área. Dessa forma, a empresa consegue maior rapidez e clareza, delinear um diagnóstico dos custos reais oriundos do setor de manutenção.

2.6 – Gerenciamento Informatizado da Manutenção

No início, os sistemas informatizados para Gerenciamento da Manutenção eram inerentes apenas as grandes empresas, pois apenas estas tinham pessoal qualificado e equipamentos necessários, como grandes computadores, para o desenvolvimento do próprio *software*.

O Mercado disponibiliza uma enorme gama de *softwares* para controle e gerenciamento da Manutenção, denominados *Computer Maintenance Management System* (CMMS) ou ainda *Enterprise Asset Management* (EAM).

Segundo Kardec e Nascif (2009), os CMMS foram introduzidos no Mercado consumidor na década de 80, e o objetivo a princípio era o processamento das Ordens de Serviço (OS), mas com o decorrer do tempo, os CMMS foram sendo adaptados à realidade e passaram a agregar funções de controle dos indicadores nivelamento de recursos e compartilhamento de banco de dados, além de propiciar uma gestão com dados mais atualizados e relatórios atualizados.

Ainda Segundo os autores, o EAM é a evolução do CMMS, pois esta classe de *software* possui uma interface que se integra com os demais *softwares* das áreas das empresas, como: controladoria, RH, suprimentos. Isto é uma tendência mundial, pois as empresas buscam atualmente trabalhar com *softwares* do tipo ERP – *Enterprise Resource System*, que buscam integrar todas as áreas das empresas com um mesmo bando de dados e apenas a inserção de módulos.

Não basta contar com um sistema computadorizado, se não houver uma abordagem integrada para monitorar e controlar o custo dos materiais e da mão de obra envolvida (em razão da interdependência existente entre o setor de manutenção e os outros setores da empresa).

Segundo SHIBI (2010), um CMMS é uma ferramenta de gestão operacional, essencial para gerir a preservação de ativos, garantindo que os sistemas de produção operem como

necessário e minimizando o tempo de indisponibilidade do equipamento. Um sistema eficaz deve ser capaz de suportar essas funções, automatizando as tarefas administrativas, bem como através do mesmo seja possível a coleta de informações pertinentes a Manutenção Preventiva, a fim de realizar estes processos. Este sistema também precisa ser capaz de desenvolver e gerenciar um plano adequado para Manutenção estratégica, objetivando a disponibilidade e atualização dos principais ativos.

O volume de informações e anotações de controle referente a equipamentos que operam em determinada empresa geradas pela área de manutenção no desenvolver de suas atividades, é considerável. Essas informações devem ser processadas para a elaboração de relatórios, histórico, tabelas e gráficos, com conteúdos específicos, ciclo temporal conveniente e apropriado aos níveis de decisão.

A figura abaixo demonstra uma possível sequência do fluxo de informações na área de manutenção, em decorrência da implementação de um CMMS.



Figura 10 – Fluxo de informação na manutenção utilizando um CMMS

FONTE: SoftExpert, 2010.

Segundo TAVARES (1987), são quatro os estágios da evolução dos sistemas de informação aplicados à manutenção que podem ser identificados: sistema de controle manual, sistema de controle semi-automatizado, sistema de controle automatizado e sistema *on line*.

É de primordial importância que o sistema de gerenciamento da manutenção tenha como principal característica a disponibilidade de meios para garantir:

- i) a transformação automática de dados, e sua transferência para outros setores, e
- ii) o retorno da informação (*feedback*).

DIPPENAAR (1988), PACHUCKI (1991) e SHERWIN (1990) abordam sobre as características dos recursos disponibilizados pelos CMMS, pois através da análise dos dados inseridos no sistema, torna-se possível a realização das revisões preventivas e também para a escolha das ocasiões em que será mais oportuno fazê-las.

O CMMS sem o envolvimento efetivo dos profissionais da área de manutenção, desde a concepção até a implementação e testes, a implantação do sistema não terá êxito, nem mesmo alcançará os resultados esperados.

A aplicação dos recursos da informática à manutenção deve ser feita com os devidos cuidados, pois a gerência de manutenção, de uma forma geral, deve ter, no momento de optar por um sistema informatizado "de prateleira", o devido conhecimento de que esse tipo de sistema pode não atender completamente às necessidades levantadas.

Ressalta-se ainda, a inegável potencialidade da aplicação do computador como ferramenta indispensável para o gerenciamento, considerando-se e avaliando-se clara e objetivamente algumas questões, tais como:

- O que o computador pode fazer pela manutenção?
- O que será necessário?
- Qual o custo de instalação?
- Quem usaria o sistema informatizado em lugar do sistema manual?

A disponibilidade de informações confiáveis aos gestores da área de manutenção é garantida pelo controle informatizado, podendo definir a própria sobrevivência da empresa. No entanto, a informatização de um sistema ineficiente terá como resultado um fracasso informatizado. Haverá necessariamente uma perpetuação dos mesmos tipos de erro já existentes anteriormente.

A globalização da informática, sem dúvida, vem tendo ampla repercussão e produzindo ganhos substanciais, a saber: rapidez de execução, eficácia no trabalho, melhoria do padrão de serviços, grande quantidade de informações que podem ser armazenadas para uso futuro, criando um histórico de registros, entre outros.

O nível refinado de tomada de decisões em manutenção está sendo evidenciado com o uso dos recursos da informática, principalmente com as facilidades encontradas para aquisição de equipamentos de informática e o decréscimo do seu custo, sem falar nos diversos recursos de *software* e *hardware* que vêm facilitando em muito a vida de qualquer usuário.

Ao citar a importância da ciência da computação junto à tecnologia da informação, vale ressaltar que o computador é apenas uma ferramenta de aplicação no sistema e, por si só, não o representa na íntegra. A análise das informações, por exemplo, é vital para que se alcance um rendimento satisfatório.

2.7 – Manutenção Preventiva

Para Kardec e Nascif (2009), Manutenção Preventiva (MP) é a atuação realizada de forma a reduzir ou evitar a falha ou queda no desempenho, obedecendo a um plano previamente elaborado, baseado em intervalos definidos e de tempo. Ainda segundo os autores, a manutenção preventiva é inversamente contrária à política de Manutenção Corretiva (MC), pois ao contrário da corretiva, visa evitar a ocorrência de falha do equipamento, ou seja, procura prevenir.

A manutenção preventiva é realizada em equipamentos que não estejam em falha, portanto, estejam operando em perfeitas condições. Desta forma podemos ter duas situações bastante diferentes quando realizamos este tipo de manutenção: a primeira situação é quando paramos o equipamento bem antes do necessário para fazer a manutenção do mesmo; a segunda situação é a falha do equipamento, por termos estimado o período de reparo do mesmo de maneira incorreta.

Tomando como base essas premissas, é importante que a definição do período de parada dos equipamentos seja efetuada por pessoas experientes, ou seja, que conheçam bem o equipamento onde será realizado o serviço, baseando-se em informações do fabricante do equipamento e nas condições climáticas que estes se encontram, pois um mesmo equipamento pode se comportar de maneira bem distinta quando submetido a condições climáticas diferentes.

Além das premissas anteriores, deve-se levar em consideração também que a manutenção preventiva é feita baseada em instalações atualizadas, no almoxarifado racionalmente organizado, e em contato permanente com a equipe de manutenção, além de ter disponível sempre boa quantidade dos itens que possam ser requisitados, preferencialmente, acima do ponto crítico de encomenda.

A manutenção preventiva, como o próprio nome sugere, consiste em um trabalho de prevenção de defeitos que possam originar a parada ou um baixo rendimento dos equipamentos em operação, é bom ressaltar que da equipe de manutenção preventiva é que advém maior produtividade e maior eficácia.

Deve-se reciclar tecnicamente os mantenedores, inclusive supervisores e chefes, além de manter um registro dos defeitos reparados pela manutenção corretiva, e o tempo que levou para fazer o reparo, além do registro das perdas de produção devido às paradas feitas para fazer a manutenção.

Um dos ganhos obtidos com a implementação de uma política de MP está no aumento da disponibilidade dos equipamentos para o processo produtivo, a diminuição de intervenções corretivas, que podem ocorrer em qualquer momento, inclusive durante períodos críticos de produção e de distribuição.

Para se constatar o bom funcionamento da política de MP, faz-se necessário analisar os dados referentes a MC, pois é necessário que exista a diminuição do número total desse tipo intervenção, entre eles está o aumento considerável da taxa de utilização anual dos sistemas de produção e de distribuição.

A equipe que trabalha com MP, deverá contar com uma biblioteca organizada contendo manuais de manutenção, manuais de pesquisas de defeitos, catálogos construtivos dos equipamentos, catálogos de manutenção com dados informados pelos fabricantes, e desenhos atualizados do projeto.

O objetivo deste tipo de manutenção é prevenir possíveis falhas nos equipamentos ou sistemas através da manutenção, permitindo a operação contínua do equipamento pelo maior tempo possível.

3 FMEA/FMECA

3.1 - Histórico

Não se sabe a data exata em que surgiu o *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA). Existem alguns trabalhos que trazem uma data, porém esta não está bem definida quanto ser FMEA ou ao FMECA.

Com a análise do texto a seguir, pode-se ter uma idéia quanto a esta confusão de datas: “O FMEA teve sua origem nos Estados Unidos no dia 9 de novembro de 1949, como um padrão para as operações militares - *Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis (Military Procedure MIL-P-1629)*. Utilizou-se esta norma como uma técnica de avaliação da confiabilidade para determinar os efeitos nos sistemas e falhas em equipamentos. As falhas encontradas foram classificadas de acordo com seus impactos nos sucessos das missões e com a segurança pessoal/equipamento”. A norma MIL-P- 1629 tem como premissa a execução da análise de criticalidade em seu procedimento, logo, não deveria ser FMEA, e sim FMECA.

Denomina-se o FMECA, atualmente de *Military Standard MIL-STD-1629A* e evidencia-se seu início na indústria automobilística nos anos 70. Em 1988, a Organização Internacional de Padronização (ISO - *International Organization of Standardization*) lançou a série ISO 9000, impulsionando às organizações ao desenvolvimento de um Sistema de Gerenciamento de Qualidade formalizado e direcionado às necessidades, desejos e expectativas dos clientes. O *Quality System (QS) 9000* é um padrão da indústria automotiva comparável a norma ISO 9000. As empresas *Chrysler Corporation*, *Ford Motor Company* e *General Motors Corporation* desenvolveram o QS 9000 em um esforço para padronizar o sistema de qualidade do fornecedor.

Em concordância com o QS 9000, os fornecedores de empresas do ramo automobilístico devem utilizar o Planejamento de Qualidade de Produto Avançado (*Advanced Product Quality Planning – APQP*), incluindo, FMEA de projeto e de processo, e ainda desenvolver um Plano de Controle. Existe um novo padrão em desenvolvimento pela *Society Automotive Engineering* (SAE) em conjunto com as empresas: *General Motors Corporation*, *Ford Motor Company* e a *Chrysler Corporation* (www.fmecca.com, 2000).

3.2 - Onde se utiliza FMEA atualmente

Utiliza-se o FMEA nas mais diversas áreas:

- Equipamentos de semicondutores (VILLACOURT, 1992);
- Sistemas hidráulicos e pneumáticos (BULL et al,1996);
- Circuitos elétricos (PRICE, 1996);
- Desenvolvimento de reator termonuclear (PINNA et al, 1998);
- Indústrias de um modo geral, inclusive siderúrgicas.

O FMEA é uma ferramenta que pode ser utilizada em combinação com diversas outras como por exemplo com o *Quality Function Deployment* - QFD (Souza, 2000), Mapas Cognitivos Fuzzy - FCM (Bowles e Peláez, 1996), porém tem sido utilizado com mais frequência com a Análise da Árvore de Falhas (FTA).

Por se tratar de uma ferramenta, onde analisa-se a causa raiz do problema, uma das maiores críticas a respeito do uso do FMEA é o tempo consumido (Hawkins e Woollons, 1998), porém essa crítica tem sido amenizada com o uso dos FMEA's automatizados.

O desenvolvimento de novas tecnologias, inclusive a de computadores, linguagens e interfaces para programação, tem seus benefícios também no FMEA, pois tornou-se possível automatizar este processo. Uma série de autores, (BULL et al, 1995; PRICE, 1996; PELÁEZ) 1996) trabalharam para desenvolver softwares que auxiliem no desenvolvimento de atividades exigidas pelo FMEA, como por exemplo: o preenchimento dos formulários, gerenciamento das reuniões e o cadastro das falhas. Huang et al (2000), apresenta um protótipo de FMEA automatizado com suporte para Internet, isto é, os participantes de uma reunião poderiam estar em diversas partes do mundo executando o mesmo FMEA.

3.3 - Definições

A Associação Brasileira de Norma Técnicas (ABNT), na norma NBR 5462 (1994), adota a sigla originária do inglês FMEA e a traduz como sendo Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos. Pode-se observar no texto da norma que ela utiliza o termo pane quando precisa-se expressar a falha.

Ainda de acordo com a norma, o FMEA é um método qualitativo de análise de confiabilidade que envolve o estudo dos modos de falhas existentes para cada item, e a determinação dos efeitos de cada modo de falha sobre os outros itens e sobre a função específica

do conjunto (NBR 5462, 1994). A *Military Standard* (MIL-STD 1629A, 1980), identifica como sendo um procedimento pelo qual cada modo de falha potencial em um sistema é analisado para determinar os resultados ou efeitos no sistema e para classificar cada modo de falha potencial de acordo com a sua severidade.

O FMEA é uma ferramenta técnica analítica utilizada por uma equipe (engenheiro/time) com o objetivo de garantir que, até a extensão possível, os modos potenciais de falha e suas causas/mecanismos associados tenham sido identificados e mapeados.

Na sua forma mais rigorosa, o FMEA é um sumário do conhecimento do time a quem serve (utiliza-se a experiência dos membros da equipe para analisar os itens que poderiam apresentar possíveis falhas) em concordância com o produto ou processo que é desenvolvido. Esta abordagem sistemática confronta e formaliza a disciplina mental que um engenheiro passa em qualquer processo de planejamento de manufatura (*Ford Motor Company, 1997*).

Para que seja possível a utilização desta ferramenta, primeiramente torna-se necessário que seja aclarado dentre os membros da equipe os termos utilizados com bastante frequência, sendo necessário um dicionário para colocar todos em um mesmo padrão de conhecimento sobre o que se busca, portanto, para se estabelecer um ponto de partida inicial, adota-se um autor para se ter o conhecimento repartido de forma igualitária entre os membros da equipe, onde seja possível encontrar a definição para os seguintes termos: MODO, FALHA, EFEITO e CAUSA, bem como para possíveis expressões que venham a ser de uso corriqueiro.

- Segundo Michaelis (2000), MODO é a “Forma ou maneira de ser ou manifestar-se uma coisa”; “Maneira ou forma particular de fazer as coisas, ou de falar”; “Maneira de conseguir as coisas; meio, via”.

- Ainda segundo Michaelis (2000), FALHA pode ser definido da seguinte forma: “Defeito, falha, imperfeição”; “Desarranjo, enguiço” ou “ato ou efeito de falhar”, sendo que FALHAR está descrito como “Não dar o resultado desejado, não ser como se esperava”.

Observando-se estas definições, pode-se então começar a definir MODO DE FALHA da seguinte maneira: “maneira na qual o defeito se apresenta”, “a forma do defeito”, “imperfeição na maneira de executar uma coisa”, “maneira com que o item falha ou deixa de apresentar o resultado desejado ou esperado”, “é um estado anormal de trabalho, a maneira que o componente em estudo deixa de executar a sua função ou desobedece as especificações”.

Partindo-se do princípio que cada item em um sistema tem suas características peculiares, como por exemplo: função, ambiente de trabalho, materiais, fabricação e qualidade, o modo de falha é uma propriedade inerente a cada item, visto que cada item tem suas características particulares. Pode-se tomar como exemplo, uma determinada peça de um equipamento, onde o modo de falha pode ser: ruptura, empenamento, desgaste e, para uma outra determinada peça pode-se ter: rompimento do material que a peça é feita, entupimento e assim por diante. Existem duas abordagens para levantar os modos de falha: Funcional e Estrutural.

A abordagem funcional (Quadro 1) é genérica, não necessita de especificações de projeto ou de engenharia. Pode ser tratada como uma não-função. Por exemplo:

Componente	Função	Modo de Falha
Sensor	Transmitir sinal para acionamento do motor.	Não transmite sinal, motor não funciona.

Quadro 1 – Modo de Falha com a abordagem funcional

FONTE: Elaborado pelo próprio autor, 2011.

A abordagem estrutural precisa obrigatoriamente de informações de engenharia, as quais muitas vezes não estão facilmente disponíveis. Tanto na abordagem estrutural como na abordagem funcional é muito importante que se tenha, bem definida, a função que o componente deverá desempenhar em cada sistema, pois esta é a referência para se verificar quando o item está em falha ou não. O Quadro 2 apresenta os modos de falha para um sensor, adotando a abordagem estrutural.

Componente	Função	Modo de Falha
Sensor	Transmitir sinal para acionar o motor.	Cabo de sinal rompido, obstrução do sensor, fora de posicionamento, desgaste.

Quadro 2 – Modo de falha com a abordagem estrutural

FONTE: Elaborado pelo próprio autor, 2011.

• EFEITO: “ Resultado, consequência, seguimento”; “Resultado produzido por uma ação ou um agente, denominados causa em relação a esse resultado”; “fim, destino” (MICHAELIS, 2000).

Quando ocorre um modo de falha, os resultados produzidos por este são os efeitos, que nada mais são do que as consequência deste para o sistema. Em outras palavras, o efeito é a forma ou maneira de como o modo de falha se apresenta ou como é percebido em nível de sistema. O modo de falha ocorre internamente, em nível de componentes, subsistemas, gerando efeitos externos, Figura 11.

Na etapa de identificação dos efeitos, deve-se perguntar: O que pode acontecer com o desenvolvimento deste modo de falha? O que isto causa no sistema? O que o cliente vê? Quais os danos que isso pode causar ao ambiente?

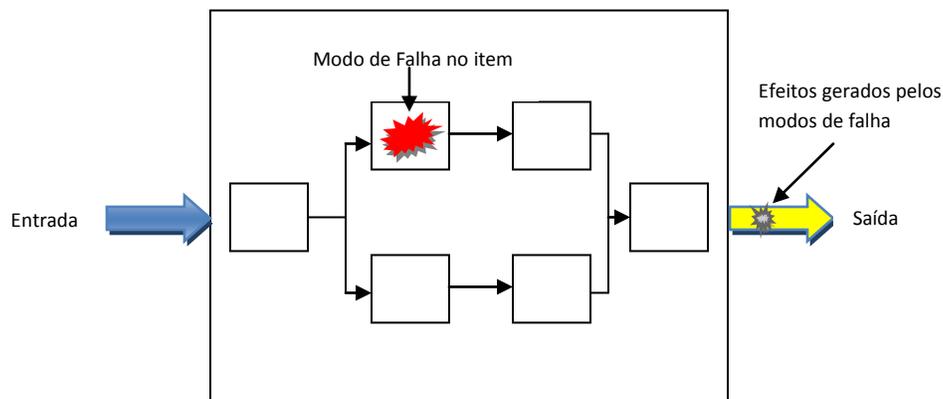


Figura 11 – Indicativo de que o modo de falha é uma ação interna e efeito uma ação externa

FONTE: Elaborado pelo próprio autor, 2011.

• CAUSA: motivo, razão, princípio, causal”; “Aquilo que determina a existência de uma coisa”; “O que determina um acontecimento”(MICHAELIS, 2000).

Os motivos que inclinaram o modo de falha a ocorrer, são suas causas, podendo estas ser diretamente ligadas ao componente, ou ainda ser oriundas de componentes da vizinhança, fatores ambientais ou erros humanos.

Em síntese, deve-se lembrar que embora as definições sejam simples, não é possível ajustar todas as falhas existentes a estas definições, o que possivelmente irá gerar inúmeras discussões em uma reunião de FMEA. Deve-se estar massificado entre todos da equipe que, um modo de falha é uma anomalia que ocorre em nível de componente (interno) e um efeito ocorre em nível de sistema (externo). Esta anomalia deve ser caracterizada em termos de função ou especificações de projeto, processo ou uso, ou seja, a falha será sempre visualizada com funcional ou estrutural.

3.4 - O que é o FMEA

O FMEA é uma ferramenta de cunho qualitativo de análise que estuda os possíveis modos de falha dos componentes, sistemas, projetos e processos e as possíveis consequências geradas por esses modos de falha. O modo de falha é a expressão/forma utilizada para caracterizar o processo e o mecanismo de falha que ocorre nos itens de um sistema. O efeito ou consequência é maneira como o modo de falha se apresenta.

Cada item pode ter diferentes modos de falha. Um determinado modo de falha vai se tornar mais ou menos evidente, dependendo da função que o item está desempenhando naquele caso específico, podendo este até passar despercebido. O efeito, por sua vez, segue a mesma sistemática.

O controle rigoroso e efetivo entre a relação de modo de falha e efeito, pode tornar-se um aliado para análise da confiabilidade e também para os processos de manutenção a serem seguidos. A maior dificuldade neste relacionamento se encontra no fato de que diferentes modos de falha podem se manifestar da mesma maneira, ou seja, apresentam o mesmo efeito. Essa complexidade torna-se ainda mais evidente quando da associação de um item a outro.

Um dos aspectos de grande relevância para o estudo e aplicação do FMEA que deve ser levado em consideração é a causa geradora, ou causa raiz, do modo de falha. Ainda que muitos modos de falha sejam inerentes ao item em análise, o estudo das causas permite aprofundar a relação existente entre o item e a função, sendo possível gerar procedimentos mais consistentes para aproveitar bem os efeitos, quando nas suas primeiras manifestações, no sentido de tomar as providências necessárias para coibir a perda da função devido à ocorrência do modo de falha.

Com fundamentos nas análises feitas sobre os modos de falha e seus efeitos, são tomadas ações que posteriormente deverão ser reavaliadas e documentadas. O material oriundo do FMEA serve como base para prognósticos de possíveis falhas, além de auxiliar o desenvolvimento/análise de projeto de produtos, processos ou serviços.

A aplicação do FMEA como ferramenta de análise de falhas, traz consigo o registro de ocorrência de falhas, isso faz com que esse material para estudo possa evitar que problemas passados se tornem repetitivos, buscando sempre a melhoria contínua, sendo um documento vivo, atualizado que traz consigo na forma documental as últimas mudanças realizadas do produto.

O fato de ter ciência dos modos de falha dos itens, em qualquer fase do ciclo de vida do produto, permite tomar as providências técnicas ainda na fase do ciclo de vida que se está analisando, para que se consiga evitar a manifestação daquele modo de falha. Assim, portanto auxilia nos aspectos da manutenibilidade e da confiabilidade. Os documentos gerados a partir das análises que foram executadas poderão servir em programas de capacitação, proporcionando um melhor entendimento dos componentes e do sistema. Com isso, evidencia-se um maior conhecimento a respeito das falhas, facilitando a escolha do tipo de manutenção (corretiva, preventiva, preditiva) a ser empregada para cada modo de falha, garantindo maior disponibilidade do sistema, que é a capacidade de um item estar em condições de executar uma determinada função em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado requerido, levando-se em consideração os aspectos combinados de sua confiabilidade, manutenibilidade e suporte de manutenção, supondo que os recursos externos requeridos estejam assegurados (DIAS, 1997), do equipamento.

3.5 - O que é o FMECA

A sigla FMECA tem origem da seguinte expressão em inglês *Failure Modes, Effects and Criticality Analysis* e é traduzida como Análise dos Modos de Falha, Efeitos e Criticalidade.

Muitos autores, KUME [1993], PALADY (1997), STAMATIS (1995), VILLACOURT (1992), propõem discutir a respeito do FMEA, mas na verdade se referem ao FMECA. Pode-se concluir na realidade que a diferença entre FMEA e FMECA apresenta-se da seguinte maneira:

$$\text{FMECA} = \text{FMEA} + \text{C} \quad (7)$$

onde, temos:

$$\text{C} = \text{Criticalidade} = (\text{Ocorrência}) \times (\text{Severidade})$$

O índice “Ocorrência” é utilizado para avaliar as chances (probabilidade) da falha ocorrer, enquanto que a “Severidade” tem como objetivo avaliar o impacto dos efeitos da falha, ou seja, a gravidade dos efeitos.

Muito dos autores relacionam a severidade aos efeitos dos modos de falha. Entretanto, a Ocorrência é relacionada, dependendo do autor, ao modo de falha ou às causas do modo de falha.

Existe ainda também outra métrica do FMECA, que se chama índice de detecção das falhas (Figura 12). Esta forma de medição também é relacionada aos modos de falha ou às causas do modo de falha.

Em alguns estudos, não fica claro se está relacionando-se os índices ao modo de falha ou às causas do modo de falha, sendo encontrado frequentemente questões como:

- Quais são as chances da falha ocorrer?
- Quais são as chances de se detectar a falha antes que ela alcance o cliente?

Por fim, as questões anteriores referem-se ao modo de falha ou às causas da falha? Esta questão foi observada por PALADY (1997) e este afirma que, independente da abordagem, os resultados obtidos são os mesmos. As duas abordagens estão ilustradas na Figura 12.

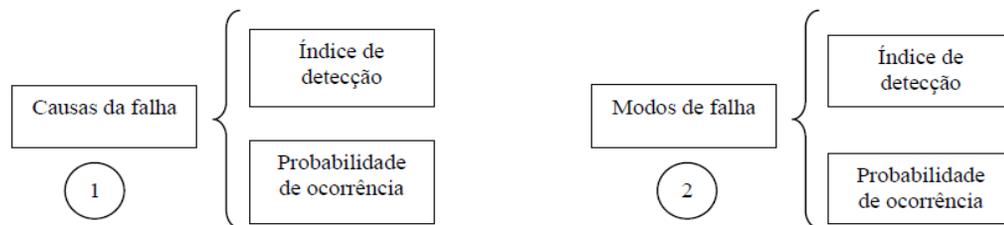


Figura 12 – (1) Índices baseados nas causas. (2) Índices baseados nos modos de falha

FONTE: Adaptado de Palady (1997).

No FMECA é feito o cálculo do Número de Prioridade de Risco (NPR), sendo que existem diferenças entre algumas abordagens, onde parte atribui o valor ao modo de falha e em outras a cada causa do modo de falha. A expressão abaixo é bastante similar à expressão para o cálculo da criticalidade, apresentada anteriormente para diferenciar FMEA de FMECA, distinguindo-se apenas pela parcela de detecção.

$$\text{NPR} = \text{Ocorrência} \times \text{Severidade} \times \text{Detecção} \quad (8)$$

O índice “Detecção” é um valor que mostra a eficiência dos controles de visualização ou identificação da falha (modo de falha ou causa do modo de falha). Quanto maior for o valor atribuído ao índice de detecção significa que maior será a dificuldade de detectar a falha.

A seguir são apresentados exemplos de tabelas utilizadas para estimar os índices de severidade, ocorrência e detecção.

Probabilidade de ocorrência	Chances de ocorrência	Escore
Remota	0	1
Baixa	1/20.000; 1/10.000	2; 3
Moderada	1/2.000; 1/1000; 1/200	4; 5; 6
Alta	1/100; 1/20	7; 8
Muito Alta	1/10; ½	9; 10

Quadro 3 – Probabilidade de ocorrência

FONTE: BEN-DAYA e RAOUF, 1996.

Severidade	Escore
O cliente provavelmente não tomará conhecimento	1
Leve aborrecimento	2 - 3
Insatisfação do cliente	4 – 6
Alto grau de satisfação	7 – 8
Atinge as normas de segurança	9 – 10

Quadro 4 – Severidade dos efeitos

FONTE: BEN-DAYA e RAOUF, 1996.

Probabilidade de não detectar a falha	Probabilidade (%) de um defeito individual alcançar o cliente	Escore
Remota	0 -5	1
Baixa	6 – 15; 16 – 25	2; 3
Moderada	26 – 35; 36 – 45; 46 – 55	4; 5; 6
Alta	56 – 65; 66 – 75	7; 8
Muito Alta	76 – 85; 86 – 100	9; 10

Quadro 5 – Índice de detecção das falhas

FONTE: BEN-DAYA e RAOUF, 1996.

Os formulários para aplicação do FMECA seguem as normas e particularidades de cada empresa, quanto a formatação, não existindo ainda uma padronização para estes, porém os campos dos formulários devem seguir a recomendações de coleta de dados para que se possa garantir a eficiência da ferramenta.

Observa-se que para a execução do FMECA, são necessárias mais informações sobre o produto do que quando se emprega o FMEA, como por exemplo, pode-se necessitar de dados

que permitam avaliar a probabilidade de ocorrência da falha, detecção e também informações que permitam avaliar o impacto da falha no cliente, no meio ambiente ou nas normas governamentais.

A seguir, descrevem-se os campos dos formulários para utilização das ferramentas de FMEA e FMECA, com isso, pode-se observar que o FMEA por não avaliar a criticidade de cada item do sistema, tem seus formulários bem mais simples e não possui os campos, 8 (índice de severidade), 10 (índice de ocorrência), 11 (controles atuais), 12 (índice de detecção), 13 (Número de prioridade de risco) e 17 (revisão dos índices).

Campo 1 (Identificação do sistema): Identificar o nome do sistema ou o título de identificação do FMEA/FMECA. No caso de FMEA/FMECA de processo, deve-se identificar o nome do processo, da montagem ou da peça.

Campo 2 (Participantes): Nome das pessoas da equipe FMEA ou FMECA que estão presentes na reunião.

Campo 3 (Página e datas): Número da página, datas de início (dia/mês/ano) das reuniões para o desenvolvimento do FMEA/FMECA e data atual.

Campo 4 (Componente): Identificar o nome dos componentes do sistema.

Campo 5 (Função): O engenheiro deverá descrever a intenção, propósito, meta ou objetivo do componente. A função deve ser escrita de uma maneira concisa e fácil de entender, usando termos específicos, preferencialmente com um verbo e um substantivo.

Campo 6 (Modo potencial de falha): Deverá ser identificado o problema, a preocupação, a oportunidade de melhoria, a falha. Quando alguém pensar nos modos potenciais de falha, deve pensar na perda da função do sistema – uma falha específica. Para cada função do sistema, deve-se listar a correspondente falha do sistema, podendo existir mais de uma falha por função.

Campo 7 (Efeitos potenciais de falha): São as consequências que surgem no sistema causadas pelos modos de falha, ou seja, os efeitos provocados pela falha. Eles devem ser identificados, avaliados e registrados para cada modo de falha. As consequências podem ser para o sistema, produto, cliente ou para as normas governamentais. Devem-se descrever os efeitos em termos do que o usuário pode perceber ou sentir. O usuário tanto pode ser um cliente interno ou externo (montadora ou consumidor final).

Campo 8 (Severidade do efeito): Severidade é um índice que indica o quão sério é o efeito do modo de falha potencial. A severidade sempre é aplicada sobre o efeito do modo de

falha. Existe uma correlação direta entre o efeito e a severidade Quanto mais grave e crítico é o efeito maior é o índice de severidade. A severidade é sempre avaliada perspectiva do sistema, do produto, do cliente, e/ou de normas governamentais. O índice de severidade só pode ser alterado mediante uma mudança no projeto. Pode assumir valores de 1 a 10.

Campo 9 (Causas potenciais da falha): A causa do modo de falha é causa geradora do modo de falha. Pode estar no componente, nos componentes vizinhos ou no campo ambiente.

Campo 10 (Ocorrência): Ocorrência é um índice que corresponde a um número estimado (algumas vezes um número cumulativo) das possíveis falhas que poderiam ocorrer. Deve ser baseado ou na causa ou no modo de falha. A ocorrência pode ser reduzida mediante melhorias nas especificações de engenharia e/ou nos requerimentos do processo com a intenção de prevenir as causas e reduzir suas frequências das ocorrências de falhas.

Campo 11 (Controles atuais): Deverá ser elaborado um método (procedimento), teste, revisão de projeto ou uma análise de engenharia. Eles podem ser muito simples, como por exemplo, *Brainstorming*, ou bastante técnicos e avançados, como por exemplo, método dos elementos finitos, simulação computacional e testes de laboratório. O objetivo do método de detecção é identificar e eliminar as falhas antes que estas atinjam os clientes (externos ou internos).

Campo 12 (Detecção): Detecção é a probabilidade de que os sistemas de controle detectem a falha (causa ou modo de falha) antes que esta atinja os clientes (internos ou externos). Para identificar um índice de detecção deve-se estimar a habilidade para cada um dos controles identificados no item 11 para detectar a falha antes que ela alcance o cliente. O índice de detecção pode assumir valores de 1 a 10. O índice de detecção pode ser reduzido adicionando ou melhorando as técnicas de avaliação do projeto/processo, aumentando o tamanho das amostras.

Campo 13 (Número de Prioridade de Risco - NPR): É o índice resultado do produto do índice de ocorrência, de severidade e detecção. Este valor define a prioridade da falha. É usado para ordenar (classificar) as deficiências do sistema.

Campo 14 (Ações recomendadas): Nenhum FMEA ou FMECA deverá ser feito sem ação recomendada. A ação recomendada pode ser uma ação específica ou pode ser um estudo mais adiante e aprofundado. A idéia das ações recomendadas é diminuir os índices de severidade, ocorrência e detecção.

Campo 15 (Responsabilidade e data de conclusão limite): Deverão ser eleitos os responsáveis para as tomadas de ações e definição dos prazos para a entrega das mesmas.

Campo 16 (Ações tomadas): Apenas pelo fato de ter sido recomendado, não significa que algo foi feito. É imperativo que alguém siga as recomendações para determinar se elas foram direcionadas adequadamente, e/ou se é necessário fazer atualizações nestas ações. Note que o FMEA/FMECA é um documento vivo e como tal deve haver um tutor responsável em atualizá-lo. Depois de tomadas as ações recomendadas, deve-se fazer uma breve descrição das mesmas.

Campo 17 (Número de prioridade de risco revisado): Depois das ações estarem incorporadas no sistema, a equipe FMEA/FMECA deverá reavaliar as consequências da severidade, ocorrência e detecção. Os resultados deverão ser revisados pelo time FMEA/FMECA e um novo NPR ser calculado e as falhas serem ordenadas. Este processo é repetido até o time decidir que todas as informações relevantes foram cobertas. Se nenhuma ação for tomada, então estas colunas permanecerão em branco.

Torna-se cada vez mais latente que, uma gama variada de informações requeridas no formulário FMECA estarão indisponíveis nas fases iniciais do processo de projeto, informacional e conceitual.

Os formulários de aplicação necessitam de uma série de requisitos que obrigatoriamente deverão constar das matrizes de decisão utilizadas nos processos iniciais, pois somente desta forma será possível, verificar a comprovação de que os índices requeridos e o grau atribuído de confiabilidade estão presentes no produto final, se houver um planejamento inicial para se ter um experimento voltado para este objetivo ou então, deverá ocorrer o acompanhamento do produto no uso. Observa-se que nestes casos, está se trabalhando na fase do projeto preliminar ou detalhado, ainda na concepção do bem. Desta forma, têm-se aí os conceitos bem definidos, e estão sendo analisados alguns aspectos destes conceitos, representados pelos seus modelos físicos, na forma de desenhos preliminares, modelos detalhados ou protótipos.

No FMECA, quando ainda não é possível obter os índices de ocorrência da falha, deve-se recorrer a produtos similares no mercado para se obter uma estimativa, ou realizar testes com seus modelos físicos. A avaliação do índice de detecção vai depender dos sistemas de controle existentes, no projeto e no processo de fabricação de cada empresa.

Um formulário FMEA, de uma forma geral, apresenta o seguinte formato (Quadro 6):

Sistema: _____		Participantes: _____		Página: _____ de _____		
				Data de início: _____		
				Data de revisão: _____		
Componente	Função	Modo de falha potencial	Efeitos potenciais de falha	Causas potenciais / Mecanismos de falha	Ações recomendadas	Responsabilidade & data de conclusão limite

Quadro 6 – Formulário FMEA

FONTE: adaptado da SAE, 2000.

3.6 - Como avançam o FMEA/FMECA na análise da falha

A maioria das análises que geralmente são feitas pelo FMEA é denominada *Bottom-up*, porque parte destas análises dos modos de falhas dos componentes estende-se até os efeitos causados no sistema.

Outra forma de análise que se pode empregar é a análise do tipo *Top-down*, onde se procura analisar parte dos efeitos no sistema e determinar as causas destes efeitos.

A Figura 13 traz uma pequena amostra de uma análise do tipo *Bottom-up* em um compressor. O eixo de comando do cilindro está trancado. Pode-se observar que este modo de falha deverá gerar os seguintes efeitos no sistema: Compressor liga e desliga, o compressor simplesmente não parte ou o compressor não parte e proporciona fuga de corrente para a carcaça.

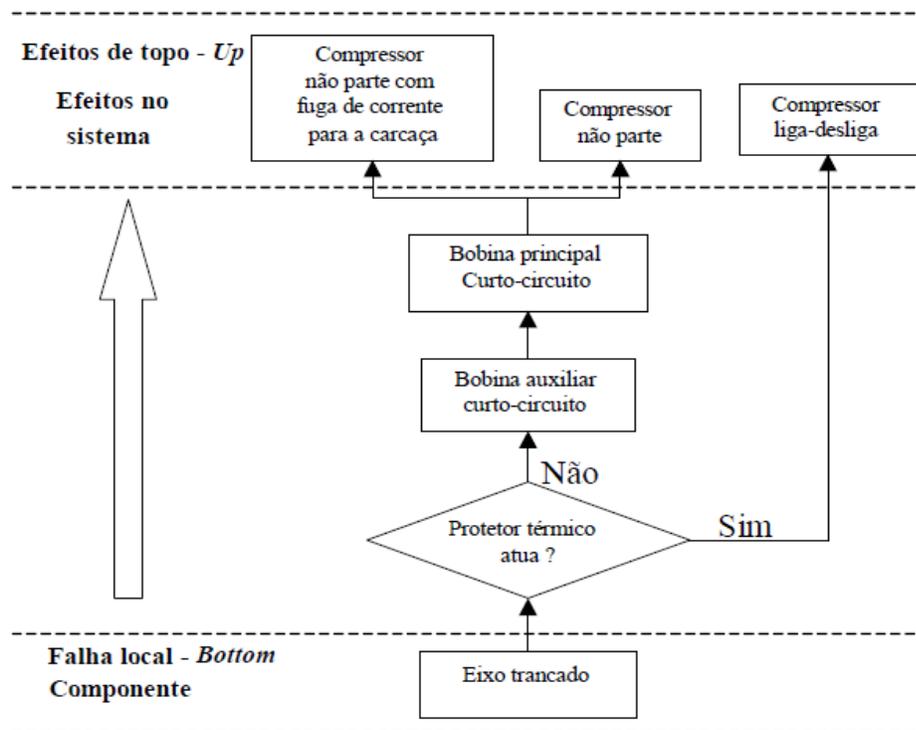


Figura 13 – Análise do tipo Bottom-up

FONTE: SAKURADA, 2001.

Este tipo de esquema representa uma análise do tipo *Bottom up*, tem início com um modo de falha (trancado) no componente (eixo) e desenvolve-se até os efeitos no sistema

(compressor). Observa-se que este tipo de análise pode ser feito ainda no final do projeto conceitual ou na fase do projeto preliminar.

3.7 - Quando iniciar um FMEA/FMECA

Segundo Villacourt (1992), nos primeiros estágios do ciclo de vida do produto é onde se tem maior influência na confiabilidade do produto. À medida que o projeto amadurece, torna-se mais difícil para alterá-lo. Infelizmente, o tempo, o custo, e os recursos requeridos para corrigir um problema, detectado nas fases finais do processo de projeto, aumentam.

É possível definir os primeiros anos de vida do equipamento como sendo os de maior influência na confiabilidade do produto. Com o decorrer do tempo e o amadurecimento do projeto, fica quase que inviável fazer qualquer modificação, pois o tempo, o custo, e o investimento necessário para restabelecer as condições, quando se detecta nas fases finais do processo de projeto, aumentam proibitivamente.

O FMEA é uma ferramenta que pode ser utilizada desde a fase de concepção de um equipamento em antecipação à falha e crescimento da confiabilidade e é frequentemente utilizado com a Análise da Árvore de Falhas (FTA), mas também pode ser utilizado com inúmeras outras técnicas, dependendo do caso a ser estudado.

O gráfico abaixo demonstra como se comporta o custo para modificações com o decorrer do projeto.

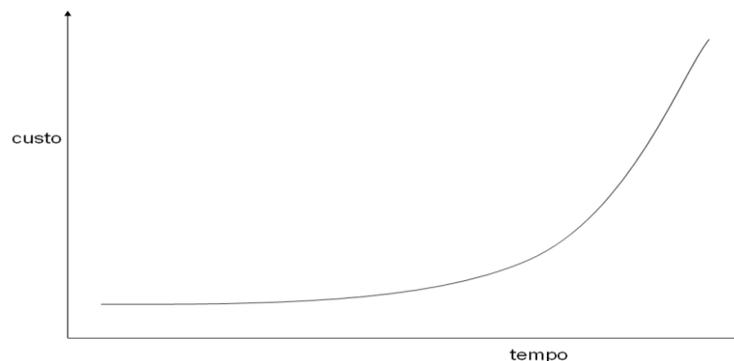


Gráfico1 - Custo x Tempo

FONTE: Elaborado pelo próprio autor, 2011.

A gráfico 2, evidencia como nas primeiras fases do processo de projeto, investe-se em torno de 15 % do custo total do projeto, mas decide-se sobre 95 % do custo do ciclo de vida do produto. Essa evidencia constata a importância de investir-se em pesquisa e desenvolvimento,

para que seja considerado o máximo de informação e técnicas, nas fases iniciais do processo de desenvolvimento de produtos.

Segundo Back e Forcellini (1998) *appud* DOWNEY, 80% do custo do produto fica comprometido com 20% da fase do projeto realizado. Isso corresponde à fase de projeto conceitual concluída.

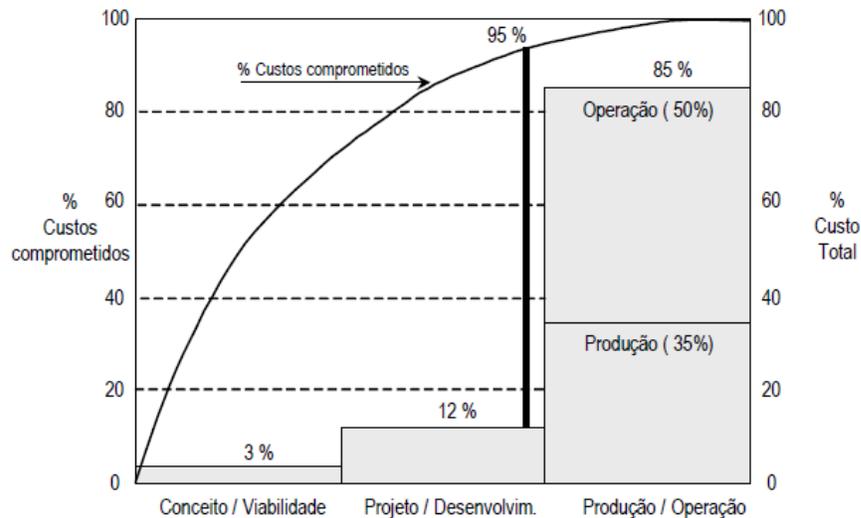


Gráfico 2 – Os custos comprometidos ao longo do desenvolvimento do produto

FONTE: VILLACOURT, 1992.

Segundo citação de TENG e HO (1996), “a melhor confiabilidade é a confiabilidade especificada no projeto do produto”, manifesta a importância da confiabilidade nas etapas iniciais do processo de projeto.

Em virtude dos motivos já apresentados, inclusive o de custo, o FMEA deve ser iniciado o mais rápido possível. Quanto mais cedo for iniciado o estudo utilizando esta ferramenta, mais fácil e menos oneroso ficarão as mudanças para a melhoria do produto. Entretanto, nas fases iniciais de projeto (projeto conceitual) as informações são bastante reduzidas, sendo então utilizada a abordagem funcional para os modos de falha. Contudo, tendo-se conhecimento da técnica e utilização de FMEA/FMECA e das métricas a ela vinculada, pode-se já nas primeiras fases iniciais do projeto, levantar todos os requisitos requeridos para considerar este processo de análise ao longo do projeto.

Após a fase de detalhamento do projeto, já é possível obter muitas características do produto. Nesta fase, torna-se possível a utilização, como recomenda a norma americana MIL-STD 1629A (1980), tanto da abordagem funcional quanto estrutural.

A utilização da ferramenta do FMEA na fase de projeto não garante que todas as falhas dos processos seguintes do desenvolvimento do produto serão evitadas. Devido a complexidade e dificuldade de prognosticar as falhas, algumas podem ocorrer em campo. Em consequência disso, o *feedback* de campo também é uma da etapa muito importante em um programa de confiabilidade. Alguns autores propõem uma abordagem diferenciada de FMEA, onde em sua obra, é possível perceber a importância dos históricos do produto colhidos durante a fase de utilização em campo, e como resultado dessa importância, demonstra reduções no tempo gasto para o desenvolvimento do FMEA, redução do número de pessoas envolvidas e dos custos.

3.8 - Aplicações do FMEA/FMECA

É possível encontrar na literatura inúmeros exemplos de aplicação da ferramenta do FMEA em diferentes setores. Estes exemplos e recomendações não são uniformes. Neste texto será apresentada uma discussão geral sobre estas aplicações.

Segundo Stamatis (1995), o FMEA pode ser aplicado em sistema, projeto, processo e serviço. O Autor ainda entende que:

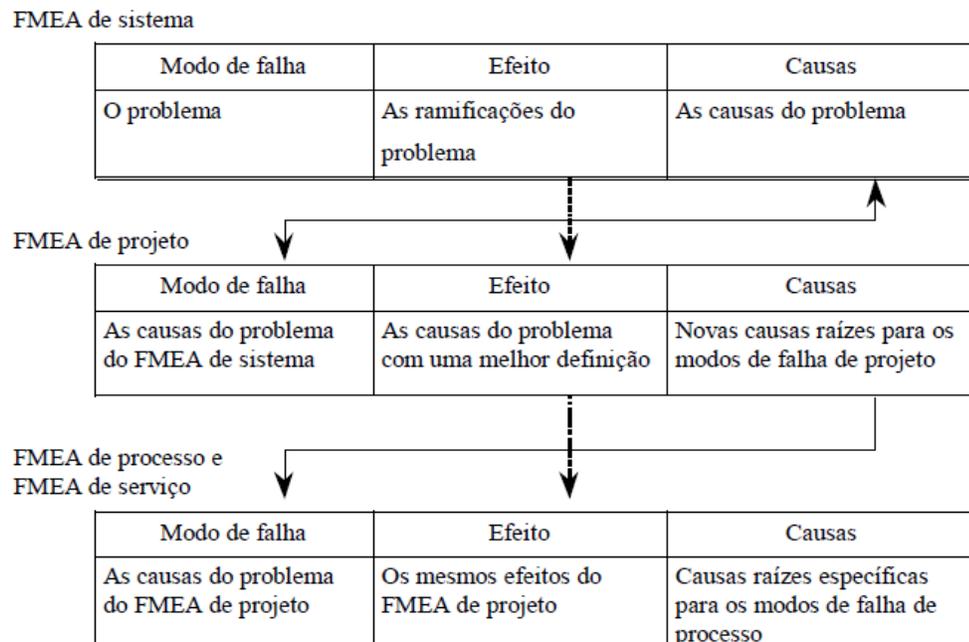
FMEA de Sistema – É utilizado para analisar sistemas e subsistemas nas fases iniciais de concepção e projeto. O FMEA de sistema tem como foco principal os modos potenciais de falha entre as funções do sistema, consequência de alguma deficiência do sistema. Ele inclui a interação entre os sistemas e os elementos do sistema.

FMEA de Projeto – É utilizado para analisar produtos antes que eles sejam liberados para a manufatura. O FMEA de projeto está direcionado para os modos potenciais de falha causados pelas deficiências do projeto.

FMEA de Processo – É utilizado para analisar os processos de manufatura e montagem. O FMEA de processo objetiva estudar os modos de falhas causados pelas deficiências do processo ou montagem.

FMEA de Serviço – É utilizado para analisar serviços antes que eles alcancem o cliente. O FMEA de serviço volta-se aos modos de falha (tarefas, erros, enganos) causados pelas deficiências do sistema ou processo.

As interações entre as aplicações podem ser vistas no quadro 7.



Quadro 7 – Relacionamento entre os vários tipos de FMEA

FONTE: STAMATIS, 1995.

Stamatis (1995) ainda explica que os modos de falha do FMEA de sistema geram todas as informações fundamentais para os FMEA de projeto e processo, e embora os efeitos permaneçam os mesmos, as causas no FMEA de sistema tornam-se os modos de falhas no projeto, no qual geram suas próprias causas, que finalmente tornam-se os modos de falha no FMEA de processo.

Na Figura 14 são apresentadas as dez categorias de FMEA utilizadas pela *Ford*: Uma aplicação de conceito, três de projeto, três de montagem e três de manufatura.

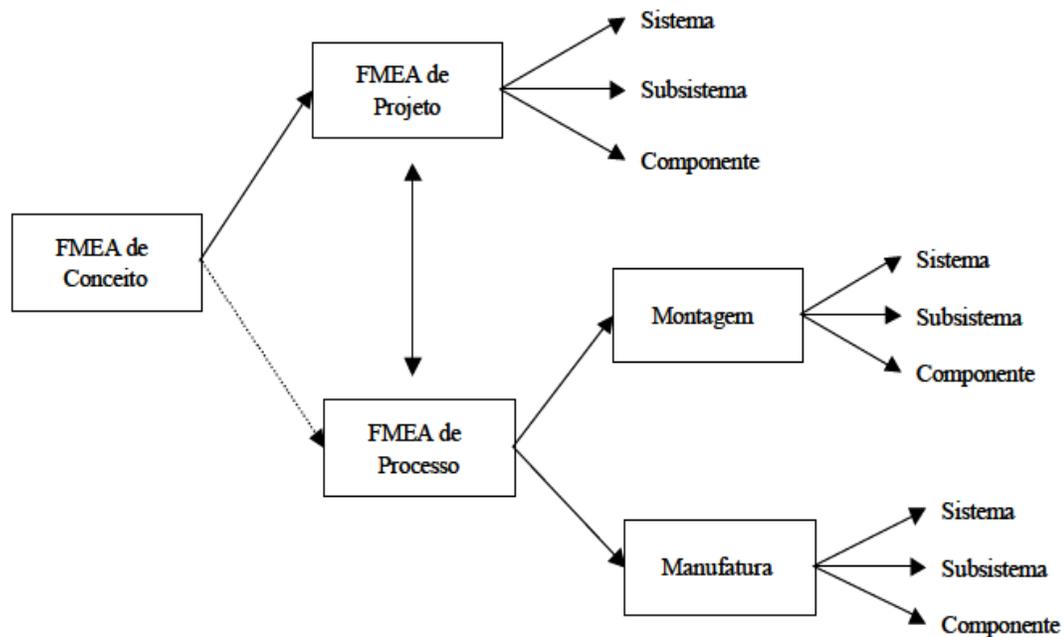


Figura 14 – Categorias de FMEA

FONTE: FORD, 1997.

3.9 - A equipe participante do FMEA/FMECA

Alguns autores como Kume (1993), Stamatis (1995), Villacourt (1992) dizem que a utilização da ferramenta do FMEA deve feita por uma equipe, pois somente desta forma será possível entender seus fundamentos. Em contra partida, Palady (1997) diz que um FMEA pode e tem sido executado como um esforço individual, mas também concorda que é mais eficiente quando aplicada em um esforço de equipe. Pode-se afirmar que é preciso ter uma liderança no time e profissionais de área específica e correlata ao tema em análise requerendo do grupo objetividade e sinergia para atingir os objetivos propostos.

Não há uma regra para definir o número de participantes do FMEA. Palady (1997) sugere um número deve estar em torno de cinco a sete participantes, mas já Stamatis (1995) sugere que o número deve variar de cinco a nove pessoas. O que se pode observar nas equipes é que no geral, os engenheiros de projeto e processo quase sempre devem estar presentes.

A equipe deve ser selecionada pelas áreas envolvidas, pois desta forma será possível que cada membro contribua com diferentes experiências e conhecimentos. A equipe define os pontos e problemas, identifica e propõe idéias, fornece e recomenda análises ou técnicas apropriadas, e toma uma decisão baseada num consenso, com base nos conhecimentos e experiências, o que acaba sendo uma decisão coletiva alcançada através da participação ativa de todos os membros.

Stamatis (1995) ressalta que não é necessário que haja concordância das idéias em 100 por cento, mas todos os membros devem estar comprometidos com a decisão.

Para que se tenha um consenso, cada membro do time deve estar disposto a:

- Receber idéias;
- Ter uma postura para contribuir e não defender;
- Ouvir ativamente os outros pontos de vista;
- Verificar e descobrir as razões das outras opiniões;
- Confrontar com as diferenças de maneira não agressiva.

Estes itens foram apresentados por Stamatis (1995) e se assemelham bastante com as regras usadas no *Brainstorming*. Afinal, uma equipe de *Brainstorming* também é composta por pessoas de várias áreas, que exercem diferentes funções e estão reunidas com um objetivo em comum.

Poderá ficar com sua eficiência e produtividade do FMEA comprometida, quando (STAMATIS, 1995):

- O propósito da reunião não estiver claro;
- A reunião for mantida apenas para “cumprir tabela”;
- Houver repetição de informações antigas;
- Forem tratados assuntos muito cansativos, comuns;
- Repressão por parte da liderança;
- Falta de preparo dos membros do time;
- As tarefas forem definidas superficialmente;
- Existir pouco tempo ou vontade para tratar com situações inesperadas.

Quando a equipe continua a se reunir sem a verificação dos itens acima, erros ocorrem, como por exemplo:

- Erros causados por mau entendimento;
- Descoberta da necessidade de buscar informações adicionais;
- Dados incompletos porque o formulário é muito difícil de se completar;
- Falha no uso de dados existentes.

Stamatis (1995) salienta que todos os membros da equipe devem ter algum conhecimento do comportamento do grupo, das tarefas, dos problemas a serem discutidos, das

pessoas relacionadas direta ou indiretamente com o problema. Acima de tudo, eles devem estar dispostos a contribuir.

A equipe multidisciplinar poderá e deverá fazer uso de ferramentas como, FTA, *Brainstorming* e QFD.

Na equipe é necessário que haja um coordenador que tenha conhecimento a respeito de FMEA para orientar as reuniões. Os membros da equipe serão escolhidos em função da problemática apresentada, pois cada produto possui características peculiares como função, projeto, materiais, fabricação e qualidade. É de grande valia que os membros do time tenham conhecimento das definições utilizadas no FMEA e também conhecimento do produto na respectiva área.

3.10 - Procedimento geral para a execução do FMEA/FMECA

Como não existe um único e obrigatório procedimento para execução do FMEA, os procedimentos descritos pelos autores são baseados na experiência de cada um. Estes procedimentos foram agrupados no Quadro 8, sendo possível evidenciar que as sequências de algumas etapas são coincidentes e existe pouca variação entre um e outro procedimento. As etapas descritas são referentes ao FMECA, pois para o FMEA, como foi discutido anteriormente neste capítulo, não existem as etapas referentes à avaliação da criticalidade (NPR).

Fases	TENG e HO (1996)	KUME (1993)	VILLACOURT (1992)	STAMATIS (1995)
1	Coleta de informações do componente e função do processo	Modos de Falha	Revisar as especificações e documentos de requerimentos do sistema	Selecionar a equipe e <i>Bainstorming</i>
2	Modos de Falha	Efeitos	Coletar as informações	Diagrama funcional de blocos do processo
3	Efeitos	Causas e Mecanismos de falhas	Diagrama funcional de blocos	Organiza os problemas por prioridade
4	Causas	Ocorrência	Modos de falha	Modos de falha
5	Controles atuais	Severidade	Efeitos	Efeitos
6	NPR (Número de prioridade de risco)	Detecção	Causas	Controles existentes
7	Ações corretivas	NPR (Número de prioridade de risco)	Controles atuais, detecção de falhas	Severidade, ocorrência, detecção
8		Ações corretivas, melhorias recomendadas	NPR (Número de prioridade de risco)	NPR (Número de prioridade de risco)
9		Distribuição de tarefas e prazos	Preparação dos formulários	Confirmar, avaliar e mensurar a situação
10		Reavaliar o NPR	Revisão (Priorizar os problemas)	Refazer todos os passos acima novamente
11			Ações corretivas	

Quadro 8 – Procedimentos para o desenvolvimento do FMECA

FONTE: Elaborado pelo próprio autor com base na literatura, 2011.

Segundo os autores Stamatis (1995), Villacort (1992), Kume (1993), Palady (1997) e Ford (1997) evidenciou-se a necessidade de interligar o conhecimento apresentado a realidade dos casos, entendendo melhor o que é necessário aplicar, quando do início de um processo de FMEA/FMECA. Todas essas proposições são os resultados das discussões feitas com os integrantes dos processos da ferramenta que serão abordados em oito tópicos a seguir:

1. A importância da escolha dos membros da equipe

Um equipamento para desempenhar sua função dentro de um sistema, por mais simples que seja, requer itens caracterizados por: funções, materiais, acabamentos, tolerâncias e qualidade. A aplicação da ferramenta do FMEA/FMECA a um desses itens, em qualquer fase do ciclo de vida, vai exigir variabilidade, qualidade e profundidade de informações. Este grau de conhecimento só poderá ser suprido quando se dispõe de uma equipe de trabalho com especialistas das diversas áreas relacionadas (equipe multidisciplinar), comprometidos com o método e com o produto em análise.

Como já observado no último parágrafo do item 4.9, é obrigatório pelo menos a presença de um responsável pelo projeto e pelo sistema. Esse responsável pelo projeto ou sistema irá preparar os aspectos relacionados com o projeto, como: modelo físico, modelo confiabilísticos, diagramas, fotografias, e ainda irá implementar as decisões das reuniões. Também faz-se necessário que haja um líder de FMEA, ou especialista no assunto, com o intuito de dirimir possíveis dúvidas conceituais relativas ao que é modo de falha, efeito, função, causa, FMEA de componente, FMEA de sistema, além disto, organizar e registrar as informações nos formulários.

2. A escolha do sistema e dos componentes

Antes de se iniciar o estudo do problema, é necessária a escolha do sistema, logo em seguida da escolha, é feita a lista dos componentes que constituem o sistema. Um componente não precisa ser necessariamente uma peça do equipamento, pois está procurando analisar o sistema como um todo. Quando o número de componentes existentes for muito elevado, deve-se racionalizar a análise e procurar buscar os componentes que ao falharem podem comprometer a função, a segurança, a ergonomia, bem como aqueles que possuem a taxa de falha mais elevada,

componentes novos, componentes que sofreram manutenção, enfim deve-se analisar os pontos que sofreram mudanças.

Um subsistema também pode ser considerado como componente. Dependendo da complexidade do sistema, e até para que se possa entender melhor seu funcionamento, agrupam-se os componentes em subsistemas tratando-os como um componente único. Esta definição do sistema e dos componentes é muito importante para a aplicação das definições dos modos de falha e dos efeitos. Os modos de falha estão associados aos componentes, enquanto que os efeitos estão associados ao sistema. A preparação deste contexto pode ser feita pelo líder do projeto e pelo líder de FMEA.

3. O melhor entendimento do sistema, utilizando o diagrama funcional de blocos, fluxogramas, modelos confiabilísticos.

Os diagramas funcionais de blocos, fluxogramas ou modelos confiabilísticos são utilizados para evidenciar como as diferentes partes do sistema interagem umas com as outras, facilitando a verificação dos caminhos críticos e o entendimento do sistema. O Diagrama funcional de blocos e os fluxogramas facilitam a análise dos sistemas, permitindo uma melhor visualização do problema. São etapas que aparecem formalmente preconizadas nos procedimentos descritos por VILLACOURT (1992) e STAMATIS (1995), sendo que o último sugere o uso do diagrama funcional de blocos para os FMEA de sistema e projeto e o fluxograma para o FMEA de processo.

Para que a análise do sistema não se torne complicada e até desestimulante, além de facilitar a visão do sistema como um todo, é recomendado o uso de diagramas, porém é de conhecimento que este instrumento de auxílio não é obrigatório. Nesta fase, a participação de um especialista em confiabilidade e na ferramenta auxiliar de análise utilizada, torna-se recomendável.

4. A missão dos componentes

A descrição da função deve ser exata e precisa. As funções, além de muito importantes, são de grande referência para os modos de falha, especialmente quando se está utilizando a abordagem funcional. O detalhamento da função deve ser feito pelo projetista e colocado em discussão para todos os membros do processo de análise de FMEA.

5. Modos de falha de cada componente

Modo de falha é uma anomalia de função, apresentada pelo item que está sendo analisado. Os componentes do sistema são analisados, sendo levantados todos os seus respectivos modos de falha. Deve-se questionar quais as possíveis maneiras do componente em estudo apresentar problemas? Como ele pode deixar de executar a sua função para o qual foi projetado?

A análise deste componente deve ser feita levando-se em consideração sua função e as especificações de projeto. Se existir um modo de falha, este deve ser considerado, pelo menos no início do processo.

Podem ocorrer nesta etapa, discussões a respeito da classificação da falha. Vale ressaltar que nesta fase de implementação da ferramenta, nem sempre é possível classificar uma falha como modo de falha, causa ou efeito.

6. Efeitos causados no sistema

Tanto para o projetista quanto para quem trabalha com o processo, o estudo e a identificação dos efeitos são fundamentais. Esta identificação é necessária para incorporar aos itens conceitos de manutenibilidade e processos de manutenção como manutenção centrada na confiabilidade e manutenção centrada na produtividade. Uma vez identificados como os modos de falha se manifestam, pode-se estabelecer o uso de sensores para captar estas informações. Estes sensores vão anunciar quando se está iniciando um processo de falha, o que permitirá programar as ações corretivas.

7. Avaliação dos efeitos e análise das causas dos modos de falha

Algumas escalas são utilizadas para avaliação do efeito, a fim de estimar o impacto com relação à segurança do cliente, meio ambiente, normas governamentais, imagem da empresa ou custos. As escalas usadas para a avaliação não são precisas, variando com o autor, análise, tipo de produto, empresa. O Quadro 4 e Quadro 9 são exemplos de escalas de severidade utilizadas para a avaliação.

Classificação	Tipo	Observação
I	Desprezível	A falha não irá resultar em uma degradação do sistema, nem irá produzir danos funcionais o contribuir com o risco ao sistema.
II	Marginal ou Limitrofe	A falha irá degradar o sistema em uma certa extensão, porém, sem envolver danos maiores, podendo ser compensado ou controlada adequadamente.
III	Crítica	A falha irá degradar o sistema causando danos substanciais, ou irá resltar num risco inaceitável, necessitando de ações corretivas imediatas.
IV	Catastrófica	A falha irá produzir severa degradação do sistema, resultando em sua perda total.

Quadro 9 – Categorias ou riscos para avaliar a gravidade da falha

FONTE: DE CICCO e FANTAZZINI, 1988.

O objetivo de se estabelecer uma classificação para os efeitos com seus respectivos modos de falha, onde então se inicia o trabalho de levantamento das causas destes modos de falha. Neste contexto e para esta atividade a equipe de FMEA deve estar o mais completa possível.

8. Revisão do formulário e seleção das ações principais.

O processo de revisão inicia-se a partir dos registros, inicialmente, estabelecidos. Obviamente que para ser iniciado um processo de FMEA, as necessidades, requisitos e metas foram estabelecidas. Então o processo de revisão deverá incorporar todos estes parâmetros.

Ações de melhoria devem ser definidas nessa etapa, bem como a data de implementação destas e seus responsáveis. Segundo Palady (1997) salienta, as ações de melhorias recomendadas devem resultar em benefícios de qualidade e confiabilidade.

Torna-se de suma importância que a equipe utilize várias técnicas de solução de problemas em suas revisões. Levando-se em consideração este contexto, os formulários devem estar preenchidos, principalmente, naqueles contextos para o qual a reunião foi convocada. A ação de FMEA é um exercício de conhecimento constante e por isso precisa ser executado por etapas.

3.11 - Resultados e benefícios obtidos com o FMEA/FMECA

O Quadro 10 foi gerado a partir de informações colhidas da obra de STAMATIS (1995). A proposta é apresentar uma síntese resumida do conceito geral do FMEA proposto pelo autor.

	Sistema	Projeto	Processo	Serviço
Resultado do FMEA	Lista dos modos de falhas potenciais, organizados pelo número de prioridade de risco (NPR)			
	Lista das funções do sistema que poderiam detectar os modos de falha potenciais.	Lista das características críticas e/ou significativas. Lista de ações recomendadas para as características críticas e/ou significativas.		Lista de tarefas ou processos críticos.. Lista de processos e tarefas que são “gargalos”. Lista para eliminar os erros.
		Lista de parâmetros para testes apropriados, inspeções e métodos de detecção.	Lista para eliminar as causas dos modos de falha, reduzir sua ocorrência e melhorar a detecção de defeito se o índice Cpk não	

	Lista para ações de projeto para eliminar os modos de falha, problemas de segurança e reduzir a ocorrência	pode ser melhorado		
Os benefícios de se utilizar o FMEA	Sistema	Projeto	Processo	Serviço
	<p>Ajuda a selecionar a melhor alternativa de projeto de sistema.</p> <p>Ajuda a determinar redundância. Ajuda na definição da base para os procedimentos de diagnóstico em nível de sistema.</p> <p>Aumenta a probabilidade de que os problemas potenciais sejam considerados.</p> <p>Identificam as falhas potenciais do sistema e sua interação com outros sistemas ou subsistemas.</p>	<p>Estabelece uma prioridade de ações de melhoria de projeto.</p> <p>Fornecer informações para ajudar através da verificação do projeto do produto e testes.</p> <p>Auxilia na avaliação dos requerimentos de projeto e alternativas.</p> <p>Ajuda a identificar e eliminar os problemas potenciais de segurança.</p> <p>Ajuda a identificar antecipadamente as falhas nas fases de desenvolvimento do produto.</p>	<p>Identifica as deficiências no processo e oferece um plano de ação.</p> <p>Identifica as características críticas e/ou significativas e ajuda o desenvolvimento dos planos de controle.</p> <p>Estabelece uma prioridade de ações corretivas.</p> <p>Auxilia na análise dos processos de manufatura e montagem.</p>	<p>Auxilia nas análises dos fluxos de trabalho.</p> <p>Auxilia nas análises dos sistemas e/ou processos.</p> <p>Identifica as deficiências das tarefas.</p> <p>Identifica as tarefas críticas ou significativas e ajuda no desenvolvimento dos planos de controle.</p> <p>Estabelece uma prioridade para as ações de melhoria.</p>
	Documenta as razões para as mudanças			

Quadro 10 – Resultados e benefícios obtidos com o FMECA

FONTE: STAMATIS (1995).

A opção de se aplicar um FMECA ao invés de FMEA está centrada, em controlar a severidade e a probabilidade de ocorrência. Esta necessidade está mais fortemente presente nos itens reparáveis e em sistemas de produção contínua ou que envolvam riscos de acidentes. Em itens não reparáveis, nos casos em que é desejável e suficiente ter a confiabilidade e a manutenibilidade como referências, o FMEA é recomendável.

4 ÁRVORE DE ANÁLISE DE FALHAS (*Fault Tree Analysis*) – FTA

A técnica de análises de risco por árvore de falhas foi desenvolvida em 1961 por H. A. Watson, colaborador dos laboratórios da companhia de telefones Bell, objetivando avaliar a fiabilidade do sistema de controle de lançamento de mísseis *Minuteman*, e posteriormente, foi incorporada pela indústria aeroespacial para avaliar os sistemas de dimensionamento de aviões.

Uma das principais técnicas dedutivas utilizadas para avaliar a confiabilidade do sistema é a FTA, onde a mesma consiste na elaboração de um diagrama lógico chamado de árvore de falhas, onde tudo se inicia em um evento, denominado evento topo, identifica as possíveis causas deste e as combina até alcançar a causa raiz que originou o evento em estudo.

As árvores de eventos e de falha podem ser utilizadas para mapear áreas consideradas problemáticas e/ou ainda consequências que levem a resultados adversos. Estas ferramentas poderão ser utilizadas para direcionar a gestão de riscos.

Quando de uma análise utilizando a árvore de falhas, deve-se descrever o evento topo, em função dos eventos intermediários e primários ou causa raiz dos potenciais modos de falha do sistema. Tomando este princípio como base, torna-se possível determinar a probabilidade de ocorrência do evento topo e identificar as causas dos modos de interrupção do sistema. A FTA mostra o sistema físico em um diagrama lógico que, com o uso de simbologia específica, mostra e identifica as combinações que levam à ocorrência do evento.

Com esta forma de representação da sequência lógica da ocorrência de eventos, torna-se possível o mapeamento e delimitação dos modos de ruptura dos sistemas, de forma a avaliar a confiabilidade dos sistemas e dos seus componentes. A análise dos riscos por árvore de falhas, possibilita a avaliação qualitativa e quantitativa dos resultados e, desta forma, proporciona a possibilidade de estabelecer quais eventos que precisam de um plano de ação para reduzir os impactos da ocorrência de eventos.

As relações lógicas entre os eventos são representadas por ligações do tipo soma (ou), intersecção (e), exclusão, prioridade, inibição e espera. Há ainda a utilização de símbolos especiais para eventos incompletos, condicionais do tipo *trigger*.

A construção de FTA é feita através da utilização de nomenclatura e simbologia própria, a qual é formada por dois tipos principais de símbolos: os eventos e os portões lógicos.

Evento Primário:

Evento que não é desenvolvido e que a probabilidade é dada pelo analista. Pode ser de quatro tipos:



• evento básico: círculo que descreve um evento básico de falha inicial, cujo limite apropriado de resolução tem sido alcançado. Um evento básico corresponde tipicamente a um evento de falha de um componente ou a um erro humano, para o qual, de um modo geral, o analista dispõe de dados básicos de falhas (taxa de falhas, tempo médio de reparo, etc). Representa o final do processo de análise dedutiva, formando, assim, a base da FT.



• evento condicionante: elipse que registra qualquer condição ou restrição a qualquer porta lógica. Normalmente é usado com a porta “Inibidora” e “E Prioritário”.



• evento não desenvolvido: losango que descreve um evento específico de falha que não foi desenvolvido (o evento é de consequência insuficiente ou informação relevante não é disponível). Um evento não desenvolvido é um evento para o qual o analista não tem interesse em continuar o processo dedutivo, seja porque as causas do evento decorrem de falhas de componentes situados fora da fronteira definida para a análise, ou porque aquele evento já foi analisado em uma FT à parte.



• evento externo: significa um evento que é normalmente esperado de ocorrer, como por exemplo, uma mudança de fase num sistema dinâmico; portanto, o símbolo mostra eventos que não são falhas.

Evento Intermediário:



• evento intermediário: ocorrem porque uma ou mais causas antecedentes agem através das portas lógicas, e são representados por um retângulo.

Evento de Transferência:

Um símbolo de transferência é utilizado para indicar que a análise do evento em questão continua em outra parte da árvore. Trata-se, portanto, de um símbolo indicativo de continuidade da análise, sendo utilizado normalmente quando se chega ao final de uma página. Em caso de árvore com múltiplas páginas, é imponente que seja indicado também o número da página para onde se está sendo feita a transferência, de modo a tomar mais fácil o acompanhamento da evolução da árvore. Pode ser de dois tipos:



• transferência para dentro: símbolo indicando que a árvore será desenvolvida posteriormente no correspondente símbolo de transferência para fora.

 • transferência para fora: símbolo indicando que esta parte da árvore deverá ser anexada ao correspondente símbolo de transferência para dentro.

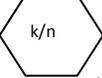
Portões Lógicos:

 • porta OU: o evento de saída ocorre somente se um ou mais dos eventos de entrada ocorrem.

 • porta OU EXCLUSIVO: é uma porta OU especial onde o evento de saída ocorre somente se exatamente um dos eventos de entrada ocorre.

 • porta E: o evento de saída ocorre somente se todos os eventos de entrada ocorrem; quaisquer dependências entre os eventos de entrada devem ser incorporadas nas definições dos eventos se as dependências afetam a lógica do sistema; dependências geralmente existem quando a falha altera o sistema.

 • porta E PRIORIDADE: é uma porta E especial onde o evento saída ocorre somente se todos os eventos de entrada ocorrem numa seqüência ordenada especificada, que normalmente é mostrada dentro de uma elipse desenhada do lado direito da porta.

 • porta k de n: é uma porta cuja saída ocorre se de n entradas pelo menos k ocorrem; o caso 1 de n se torna um OU e n de n se torna um E.

 • porta inibidora: representada por um hexágono, a saída ocorre quando uma entrada única atende a alguma condição (entrada condicional) que é colocada numa elipse do lado direito da porta inibidora.

Ainda que existam vários outros tipos de combinações lógicas conceitualmente possíveis, a grande maioria dos sistemas pode ser adequadamente modelado utilizando-se os dois tipos principais de portões lógicos, o portão OU e o portão E.

5 DIAGNÓSTICO INICIAL

Muito embora os Institutos de Pesquisa e Desenvolvimento existentes na cidade de Manaus constituam uma população de mais de vinte, o presente trabalho analisará, para fins de estudo e alcance dos objetivos, o laboratório de ensaios mecânicos do INSTITUTO que se subdivide em 07 (sete) áreas assim organizadas: Metrologia, Eletrônica, Ensaios Climáticos, Ensaios Mecânicos, Análise de Telas de Alta Definição, Caracterização de Materiais e Análise de Falhas.

Apesar da variedade grande de equipamentos para análises mecânicas em laboratório, o presente trabalho será focado especificamente nos equipamentos que constituem a área de Ensaios Climáticos.

Com o avanço das ciências e por consequência da tecnologia, na atualidade, não se permite tomar decisões empiricamente - no “achismo” ou no “bom senso”. A inexistência de informações, fatos e dados, para a tomada de decisão, seja ela em nível gerencial ou operacional, carrega consigo prejuízos literalmente incalculáveis.

O gerenciamento da área de manutenção de uma área em uma determinada empresa, nada mais é do que medir o grau de eficiência dos serviços em cima de informações e atuar intensamente nas causas dos problemas a fim de eliminar os seus efeitos danosos. Porém, para poder-se gerenciar com eficácia é indispensável, primeiramente, ter conhecimento de como se encontram os maquinários e instalações, de forma que toda máquina, equipamento ou instalação tenha seu diagnóstico inicial documentado para que se possa traçar parâmetros de direção e até mesmo medir o grau alcançado após a implementação de um método de gestão de bens móveis e imóveis na organização.

Para que seja viável administrar de um modo mais adequado, a área de manutenção tende a trabalhar com dados e fatos (histórico), pois desta forma se torna possível consolidar conhecimento técnico e experiências, objetivando construir uma estrutura sólida estrutura de gerenciamento de manutenção e os dados adquiridos com o passar do tempo, tornam-se indispensáveis no auxílio da tomada de decisão em um segundo momento.

Apesar de consideravelmente reduzido, a área em estudo possui em seu *budget* anual definido para manutenção, onde se observou a não utilização destes recursos para estes fins, sendo possível notar também que devido a esta visão, havia cerca de 50% (cinquenta por cento) do maquinário apresentando algum tipo de falha ou defeito, no ato da coleta de dados em

campo, o que indisponibilizava o maquinário para utilização no processo, pois se tratam de equipamentos de análise laboratoriais que necessitam estar em perfeito funcionamento para garantir a qualidade das análises realizadas.

Ainda que com os recursos cada vez mais reduzidos, justifica-se um investimento inicial na área de manutenção para posterior economia, de forma a não impactar nos negócios da organização quando uma máquina, equipamento ou instalação tem sua utilização requerida pelo processo produtivo.

A necessidade de priorizar a área de manutenção vem com as seguintes afirmações: a necessidade de uma manutenção dos equipamentos e instalações mais eficazes pelo aumento da mecanização da produção; pela maior complexidade dos equipamentos diante do progresso tecnológico; controle de volume e prazos de produção em níveis mais elevados; maior exigência quanto a qualidade dos produtos, entre outras, são algumas das justificativas para o desenvolvimento de pesquisas nesta área. Além do mais, existe a necessidade de resposta aos clientes, o que se torna fator de credibilidade, mas quando não se possui um setor de manutenção estruturado, é inviável.

O laboratório de ensaios climáticos, precisa garantir que seus equipamentos trabalham conforme demanda e ainda assegurar que o tempo de trabalho requerido quando em produção e a confiabilidade de seus resultados sejam fidedignos.

Os testes em geral, apesar de haver alguma variação, duram cerca de 520 (quinhentos e vinte) horas, ou seja, o equipamento que realiza o teste tem obrigatoriedade de permanecer em regime de funcionamento por aproximadamente 21 (vinte e um) dias ininterruptos, para que somente pós isto possa ser feita a análise dos materiais.

Não somente com o emprego de métodos e práticas de manutenção pode garantir um funcionamento sem nenhuma falha por um período tão longo de operação, pois além dos mais variados tipos de subsistemas, a máquina ainda precisa estar instalada em um ambiente onde a garantia da infraestrutura estará a níveis aceitáveis, não comprometendo o desenvolvimento da operação.

Todos os sistemas do equipamento devem ser monitorados rotineiramente, pois seu funcionamento inadequado pode acarretar em alteração na operação, modificando o resultado de testes, não garantindo a confiabilidade do serviço a ser entregue ao cliente/consumidor.

Na área objeto de estudo, em um primeiro momento, identificou-se a necessidade de levantar o histórico desses equipamentos, porém, quando já no início dos trabalhos observou-se que nenhum dos equipamentos apresentava histórico de manutenção ou se havia algo, os pesquisadores que trabalham com os equipamentos não souberam informar sobre a localização, o que direciona para uma perda de memória de manutenção, devendo então ser considerado como estado inicial a falta de registros.

5.1 - Exemplo de aplicação da FTA

Tomando-se como base este fato de não se ter informações armazenadas sobre manutenções ocorridas, notadamente evidenciou-se que a manutenção acaba não tendo seu devido valor e, desta forma poderá representar um sério problema em um curto espaço de tempo.

Partindo do princípio da falta de valorização da manutenção, optou-se por aplicar um questionário, conforme “Apêndice B”, para que se pudesse entender até onde está o grau de conhecimento desta importante área da engenharia para a empresa em questão.

A população entrevistada foi composta de 75% de corpo técnico da área e 25% da gestão do negócio.

O questionário apresentado partiu com a premissa que há uma política de manutenção implementada, pois desta forma foi informado na empresa e, ainda procurou saber qual a percepção dos entrevistados acerca da importância da manutenção.

Como se pode observar no gráfico a seguir (Gráfico 3), na maioria absoluta das questões, obteve-se uma convergência das respostas, com aproximadamente 63,15% das questões com o mesmo resultado, o que sugere um alinhamento da área, porém em questões consideradas críticas, ou essenciais para determinar a profundidade do conhecimento da área de manutenção dos que foram entrevistados, houve divergência.

As divergências somam aproximadamente 36,84% das questões, das quais as de maior relevância e que obtiveram divergência nas repostas, serão vistas no decorrer deste capítulo.

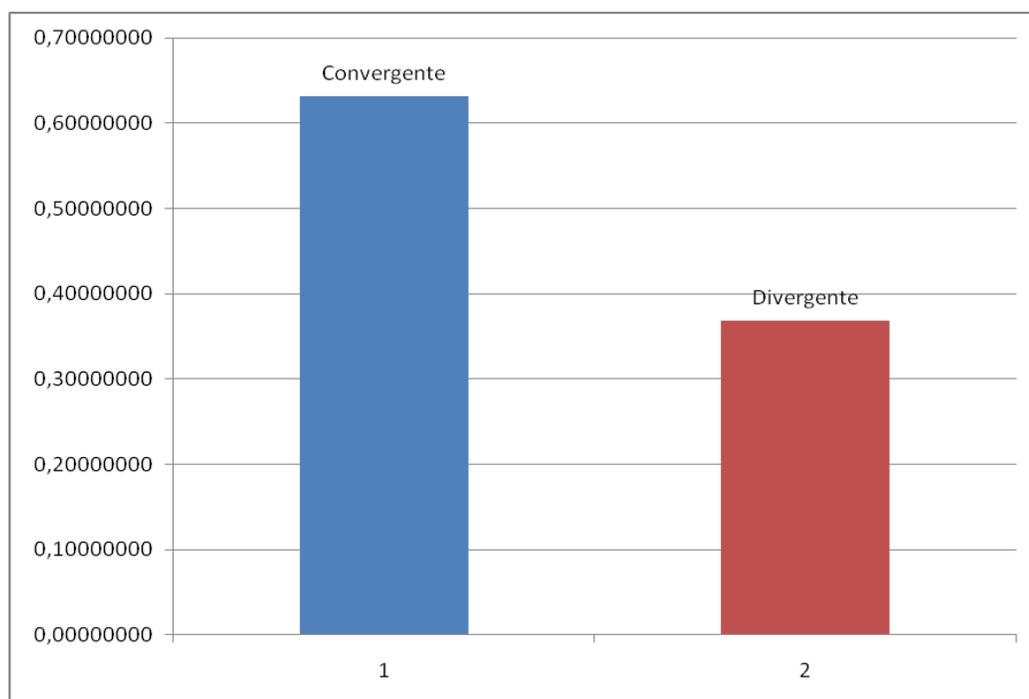


Gráfico 3 - Divergência entre respostas do questionário aplicado

FONTE: Elaborado pelo próprio autor, 2011.

Para que melhor pudesse ser visualizado como estava dividido o questionário, as questões foram elaboradas para compor blocos de assuntos ou temas, conforme gráfico abaixo:

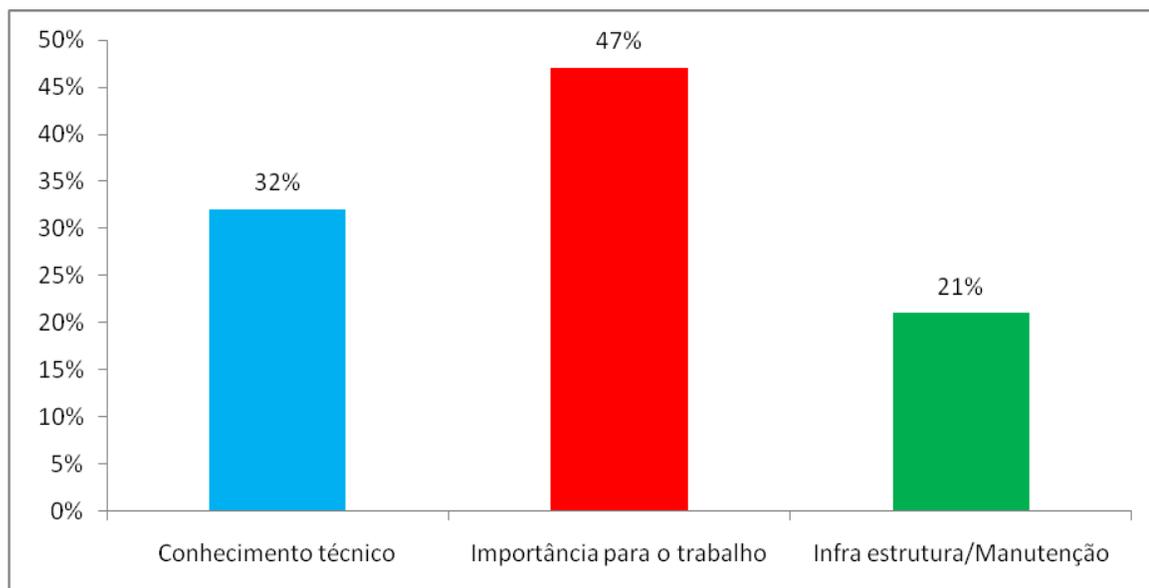


Gráfico 4 - Divergência entre respostas por tema da pergunta

FONTE: Elaborado pelo próprio autor, 2011.

Desta forma, procurou-se saber o grau de conhecimento do entrevistado sobre o assunto manutenção, a importância da manutenção para o desenvolvimento das atividades relacionadas ao trabalho diário e ainda saber como é vista a manutenção e a infraestrutura da empresa. Procurou ainda obter com esta divisão de blocos, uma melhor visualização das respostas divergentes e convergente sobre o total das questões e obteve-se o seguinte resultado:

Áreas	Respostas	% sobre o total	Divergiu		Convergiu	
Conhecimento técnico	6	32%	2	33%	4	66,7%
Importância para o trabalho	9	47%	3	33%	6	66,7%
Infra estrutura/Manutenção	4	21%	2	50%	2	50,0%

Quadro 11 – Respostas divergentes x convergentes

FONTE: Elaborado pelo próprio autor, 2011.

Apesar do maior número de questões encontra-se nos blocos de “Conhecimento técnico” e “Importância para o trabalho” com um total de 78,94% das questões, apenas deste total, 33% divergiram, ao contrário do terceiro bloco com a “Infra estrutura/manutenção”, onde se obteve 50% de respostas divergentes e 50% de respostas convergentes, o que mostra uma divisão entre a clareza do assunto relacionado a este bloco.

5.2 – Questões divergentes

Como o objetivo deste trabalho é diagnosticar e propor políticas de manutenção para estrutura de suporte à prestação de serviços de alta tecnologia, primeiramente deve-se compreender como está a visão sobre o assunto entre todos da área.

Dentre as questões que foram colocadas aos participantes da pesquisa, 36,84% destas divergiram nas respostas e, sobre estas, agora serão feitos alguns comentários:

Na questão 2.8 do questionário aplicado, pode-se observar uma pequena divergência de respostas, porém, 75% das respostas igualam-se, o que deve ser levado em consideração, pois este item trata dos custos e dificuldades de manutenção quando da aquisição de equipamentos, o que acaba tendenciando que os custos e manutenção são considerados na aquisição dos equipamentos.

Na questão 2.9, que trata sobre a avaliação do serviço de manutenção de equipamentos na área em estudo, obteve-se um resultado similar ao do item anterior, onde 25% das respostas divergiram, mas com uma análise mais detalhada das respostas, nota-se que a parte do valor correspondente a este desacordo com as demais respostas, veio da área de gestão da empresa, o

que pode representar um desalinhamento de entendimento entre o corpo técnico e a gestão do negócio. Isto do ponto de vista de manutenção pode representar sérios problemas, pois a falta de comunicação pode acarretar na falta de investimento nos equipamentos.

Apesar do não alinhamento entre as respostas da questão 2.11, onde obteve-se um empate entre as respostas. No momento em que estava sendo aplicado o questionário, havia máquinas paradas e trabalhos a serem desenvolvidos. Notadamente a comunicação entre os técnicos, gestores e pesquisadores não está sendo eficiente, pois parte dos técnicos não conseguiu enxergar este fato. Sabe-se que a demora ou qualidade do serviço de manutenção pode causar perdas para o trabalho, pois com um equipamento parado ou com baixo desempenho poderá se comprometer o bom andamento do serviço.

Na questão 2.13, onde se trata do equipamento deixar de cumprir suas funções operacionais, apenas parte do corpo técnico (25%) divergiu das respostas.

Com a mesma simetria nas respostas do item 2.13, o item 2.16 que vem tratar da existência de algo que pode ser feito para evitar falhas, o corpo técnico divergiu na resposta, o que pode representar uma falta de conhecimento sobre o assunto “manutenção” ou ainda o desconhecimento dos próprios equipamentos do labor diário.

No item 2.17, que traz consigo a necessidade ou não da implementação de uma nova política de manutenção para os equipamentos do laboratório em estudo, mostrou pelos resultados obtidos que apesar de haver vários problemas com parada de equipamentos, 25% das respostas, acredita-se que a política atual é adequada, porém fatores externos influenciam a aplicação da mesma, o que acarreta em uma baixa confiabilidade e disponibilidade. Com 50% das respostas, a atual política é sugerida como adequada e deve continuar como se encontra, porém destas respostas, deve-se considerar que a área de gestão do negócio pontuou nesta resposta. Com os outros 25% das respostas, o corpo técnico acredita que a atual política não é adequada e deve ser mudada.

No item 2.18, onde se questiona sobre o conhecimento e/ou mapeamento de subsistemas e componentes críticos para funcionalidade dos equipamentos, observa-se que 50% das respostas correspondentes a área de gestão do negócio, afirmam que existe um mapeamento, enquanto o corpo técnico, que efetivamente atua no operacional, afirma que não são conhecidos ou não existem mapeamentos.

Apesar da obtenção de convergência na maioria das respostas, tornou-se evidente um desalinhamento de informações essenciais para o andamento do negócio no que tange as necessidades do processo, bem como inerentes aos conhecimentos essenciais para que sejam aclarados os conceitos de manutenção.

Para que esta evidência torne-se mais visível, será evidenciado no subitem seguinte deste capítulo a aplicação da ferramenta de FTA em uma falha conhecida, mas não mapeada, no subsistema de refrigeração de uma câmara climática.

5.3 – Aplicação da FTA

Para que se torne possível o exemplo a seguir, tem-se como base o questionário do item anterior, e ainda mais especificamente a questão de número 2.10, onde a pergunta do entrevistador foi a seguinte: “Você considera que a qualidade das manutenções aplicadas nos equipamentos do laboratório podem interferir nos resultados das análises?”.

Sabidamente é notório que a má qualidade de um serviço de manutenção poderá influenciar no desempenho de um equipamento e por conseqüência alterar os resultados das análises e colocar em descrédito a veracidade das informações e até a capacidade da empresa de realizar tais testes.

Para o entendimento da máquina, propõe-se um diagrama em blocos do **sistema de refrigeração**, onde o foco estará direcionado aos sistemas propriamente ditos e a câmara em si.

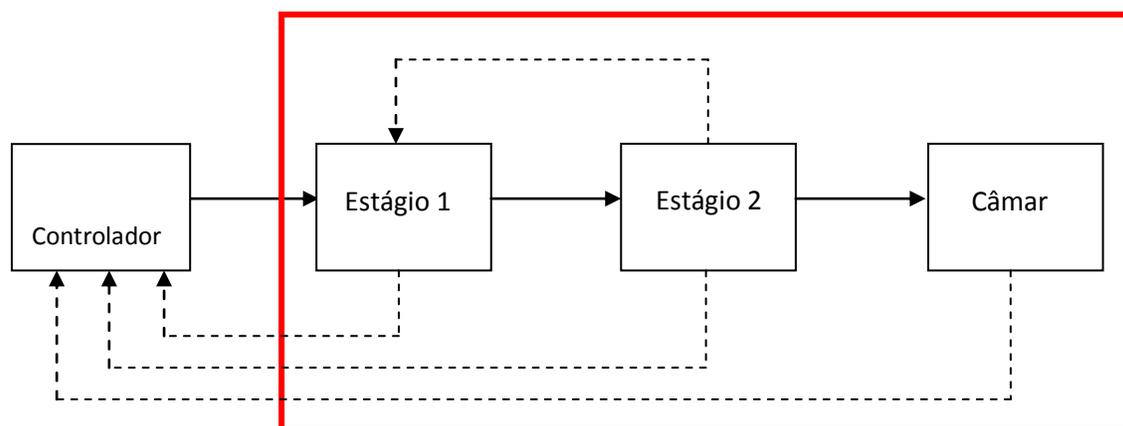


Figura 15 - Diagrama de blocos (subsistema Refrigeração) – câmara climática

FONTE: Leitch, 1995

5.3.1 – O problema

Conforme mencionado o INSTITUTO atua na área de telefonia móvel, onde o negócio tem como base a prestação de serviços, pesquisa e desenvolvimento.

Decorrido o período da realização da manutenção preventiva do equipamento, onde se observou reaperto nas conexões de potência e comandos elétricos, análise de vibração em motores, medição de grandezas elétricas e limpeza no sistema de refrigeração, ocorre a solicitação de um cliente para realização de testes no fadiga do material e aceleração da apresentação de possíveis falhas, os testes são iniciados com a colocação do dispositivo a ser testado no interior de uma câmara climática de dois estágios, conforme diagrama apresentado (Figura 15), cujo papel do segundo estágio é potencializar o resultado já obtido no primeiro, expondo o dispositivo testado a mudança de temperatura em um curto espaço de tempo.

Como se pode visualizar ainda no diagrama de blocos (Figura 15) e apesar de atualmente haver equipamentos que acionam algum tipo de alarme na apresentação de qualquer falha, existe também ainda o inverso, onde não há nenhum tipo de sinalização e o resultado e confiabilidade da análise depende diretamente da intervenção do pesquisador.

Passado o período de testes no dispositivo, o pesquisador inicia seu relatório mas observa que os valores estão muito diferentes do esperado, principalmente aqueles relacionados com o segundo estágio de refrigeração, mas como o equipamento teoricamente não apresentou problemas, segue com o parecer.

Para uma melhor visualização do que foi exposto no problema, verifica-se a seguir com a aplicação da FTA, como torna-se claro e evidente os possíveis problemas que o subsistema de estágios de refrigeração pode apresentar, principalmente tratando da área de mecânica de refrigeração, pois se não houver um alarme, não será possível identificar o problema.

A análise a seguir procurou-se focar no problema mecânico (refrigeração), pois desta forma, fica mais evidente que as possíveis falhas podem acontecer e passar despercebidas.

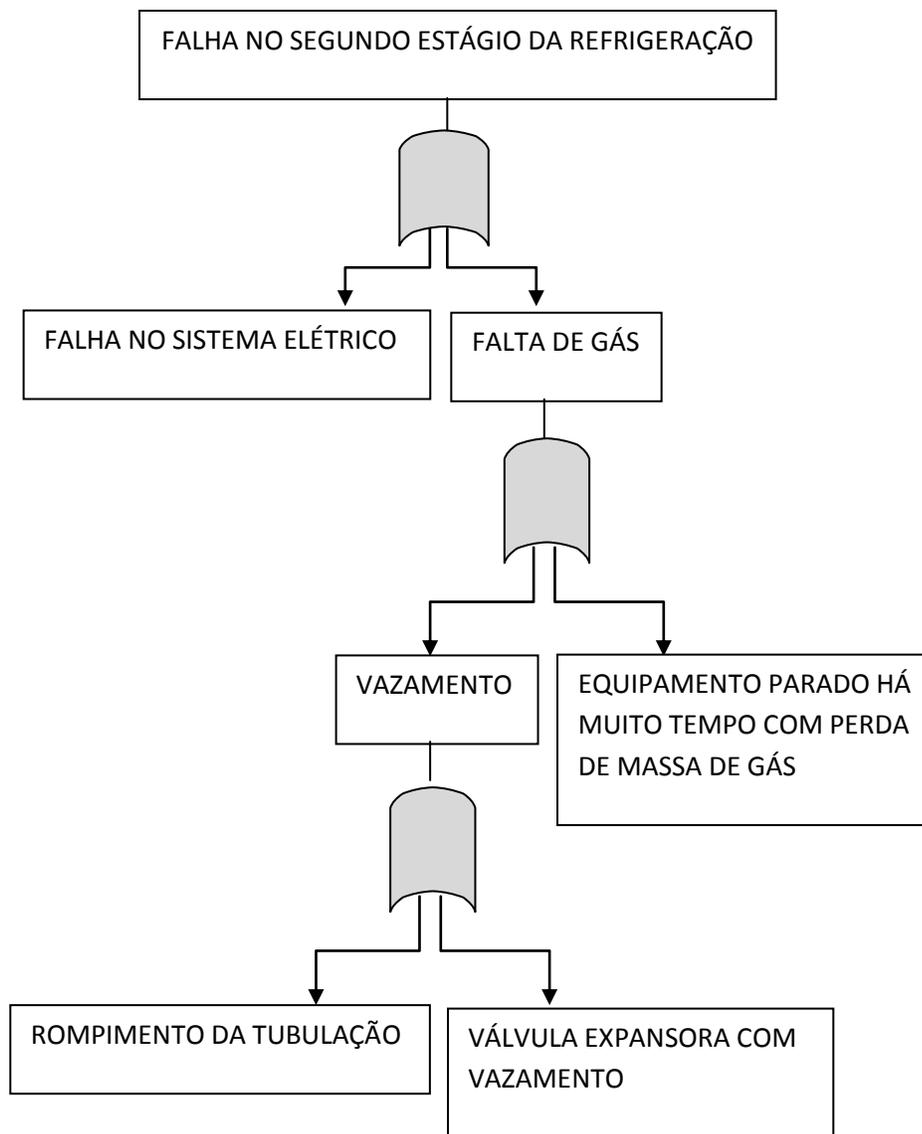


Figura 16 - Sequência de eventos – Falha no segundo estágio da refrigeração (FTA – *Fault Tree Analysis*)

FONTE: Adaptado de LEITCH, 1995.

Deve-se ter conhecimento, que em virtude do problema apresentado, além do mascaramento de resultados, pode ainda haver a sobrecarga do primeiro estágio e por consequência a perda dos dois, o que culminaria na parada total do equipamento, inviabilizando a execução de testes e análises, sem levar em consideração os custos, que seriam em uma maior proporção.

Nota-se com a aplicação da FTA que várias poderiam ser a causa raiz do problema, mas a ferramenta proporciona um estudo direcionado a entender e mapear o processo de tal forma que acabam sendo mostrados os possíveis causadores da falha.

Desta forma, evidencia-se que um problema aparentemente imperceptível as vistas do operador do equipamento poderá acarretar em análises equivocadas. Sabe-se ainda que as falhas podem ou não apresentar sintomas antes da ocorrência, conforme a figura abaixo:

	Sem TDF	Com TDF
Probabilística	Corretiva	Preventiva / Preditiva
Mais determinístico	Corretiva / Preventiva	Preventiva

Quadro 12 - Tempo de Desenvolvimento da Falha - TDF

Fonte: CARDOSO, 2000.

Como mencionado anteriormente, a falha em questão é relacionada ao sistema de refrigeração, descartando-se a princípio a análise da falha por qualquer tipo de pane no sistema elétrico.

Portanto, desta forma, evidencia-se a necessidade da aplicação de uma política de manutenção sólida, com a aplicação de ferramentas para o entendimento do equipamento e a necessidade dos registros das falhas e mapeamentos dos sistemas, subsistemas e componentes.

Sugestiona-se para aplicação no laboratório objeto deste estudo a aplicação das ferramentas de FTA aliada ao FMEA.

Apesar de o laboratório está na ativa com suas atividades e sabendo que não há registros e nem banco de dados de ocorrência de falha dos equipamentos, o que torna em um primeiro momento a aplicação imediata do FMEA/FMECA quase impossível, deve-se começar pela aplicação da FTA para que com as informações obtidas, possa ser realimentado o FMEA/FMECA, onde estas informações servirão de base para uma tomada de decisão.

6 CONCLUSÃO

Diversas foram as tentativas de se obter dados concretos para materialização deste estudo, pois apesar de se ter na empresa estudada inúmeros sabedores das mais diversas ciências e um alto grau de alta tecnologia aplicada, houve uma elevada dificuldade devido a falta de destes registros para compor o embasamento do estudo.

Foi evidenciado na empresa objeto deste estudo, a área de manutenção permanece ainda em um segundo plano, o que acaba deteriorando equipamentos e instalações por falta de conhecimento, culminando em investimentos de maior proporção quando há necessidade de utilização dos equipamentos.

Conforme os produtos e a indústria de eletroeletrônicos se tornam cada vez mais e mais complexos, ferramentas de engenharia adicionais precisam ser empregadas para avaliar a confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos, componentes e itens, durante sua vida útil, para mantê-los em perfeito estado de funcionamento com o menor custo possível.

Este trabalho buscou identificar a política de manutenção existente no laboratório em estudo, observando seu emprego e avaliando sua eficácia, resultando na proposição do emprego de ferramentas de análise crítica aplicável a vários institutos de pesquisa, para análise de confiabilidade e disponibilidade, antes e durante a concepção do projeto de produtos eletroeletrônicos.

As ferramentas propostas apresentam a vantagem de focar desde o início do desenvolvimento nas necessidades de confiabilidade do produto; e complementa a abordagem tradicional, principalmente a das ferramentas FMEA/FTA, que partem das possíveis falhas de componentes para determinar as conseqüências no produto, visando sempre o prolongamento da vida útil do produto, peça ou material.

Existem várias maneiras de se trabalhar com a complexidade dos processos, equipamentos e produtos existentes em várias áreas, em específico, na área de eletroeletrônicos, mas uma delas é através de um desenvolvimento ordenado e estruturado, que diminua a probabilidade de reprojeto. Neste sentido, o uso de técnicas de melhoria de qualidade dos requisitos, estabelece relacionamentos entre eles de modo a tornar claro o impacto de qualquer alteração no projeto. Além disso, propõe-se a aplicação, antes do início do processo produtivo em massa, de um plano de manutenção, onde deverão ser consideradas as atividades de análise de confiabilidade a serem usadas durante o projeto, pois qualquer falha que seja ignorada poderá

acarretar em resultados de testes fora do especificado, ou então, poderá mascarar um resultado prejudicial.

Outra vantagem é permitir antecipadamente identificar a possível causa raiz do problema, direcionando a tomada de decisão de modo a corrigir efetivamente o problema, através da ferramenta FTA. Isto vem para ratificar os conhecimentos exigidos pela ferramenta FMEA, onde se faz necessário que o sistema seja de conhecimento do grupo que aplica a ferramenta, pois somente é possível dar andamento nas atividades sequenciais do projeto de investigação, sabendo-se sobre sistemas e subsistemas do equipamento base da pesquisa, além do conhecimento das funções e concepção do projeto.

Dentre as limitações do método proposto estão a necessidade de aprendizagem de várias ferramentas de engenharia de manutenção e a criação de carga adicional de trabalho de engenharia. Assim não se recomenda aplicá-lo em equipamentos de fácil reposição e com peças sobressalentes de fácil acesso, pois a equipe responsável pela análise da máquina deverá ser composta por um grupo de pessoas de várias áreas, o que pode tomar bastante tempo.

Por outro lado, a aplicação das ferramentas é altamente indicada àqueles equipamentos de análises de alta complexidade e com alto grau de dificuldade para reposição de peças, onde o objetivo da aplicação da ferramenta será enfatizar a minimização dos riscos. Além disso, o “*know-how*” ganho neste emprego durante o desenvolvimento de um produto, pode ser reutilizado em projetos subsequentes, reduzindo drasticamente o esforço de aprendizagem necessário.

Outro ponto a ser considerado é que no desenvolvimento de produtos com baixo grau de novidade tecnológica, as lições aprendidas em projetos anteriores geralmente são suficientes para determinar o rigor com que cada sistema deve ser desenvolvido. Por outro lado, quando o projeto considera a introdução de novas funcionalidades e tecnologias inovadoras (do ponto de vista da empresa desenvolvedora), principalmente com o uso intensivo da eletroeletrônica, o rigor necessário na realização de ensaios de laboratório é alto.

A sugestão de aplicação e validação das ferramentas poderá permitir verificar melhorias em relação aos resultados alcançados durante o desenvolvimento de pesquisas, com resultados mais precisos e confiáveis.

6.1 – Sugestões para trabalhos futuros

Como sugestão para futuro trabalho, uma possibilidade é a aplicação dos métodos propostos e a testificação de possíveis resultados mascarados por desconhecimento do equipamento que se opera.

Outra sugestão de trabalho é o cálculo de confiabilidade para cada equipamento com a utilização das ferramentas de manutenção.

Por fim, mas na mesma linha de raciocínio das proposições para trabalhos futuros, é a aplicação de ferramentas e métodos mais simples nos equipamentos de menor complexidade, observando sempre o custo como fator determinante. É importante mencionar que os resultados apresentados por ferramentas como a análise de árvore de falha, são apenas indicativos do nível de confiabilidade e disponibilidade que se deseja alcançar. Além destes, para a aceitação dos trabalhos a serem desenvolvidos em cada equipamento, é essencial o julgamento de engenharia da equipe de desenvolvimento, o que requer a observação de múltiplos aspectos do projeto como arquitetura, hardware, software e fatores humanos.

REFERÊNCIAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5462: **Confiabilidade e manutenibilidade**. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Gestão da qualidade e garantia da qualidade - Terminologia: NBR ISO 8402**. Rio de Janeiro, 1994.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Sistemas de gestão da qualidade – Fundamentos e Vocabulário: NBR ISO 9001**. Rio de Janeiro, 2008.
- ABRAMAN. **História da Manutenção**. Disponível em: <http://www.mya.com.br>. Acesso em 16/12/2008.
- AIAG, Automotive Industry Action Group. **Measurement Systems Analysis (MSA)**, Reference Manual, Chrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motors Corporation, Detroit Michigan, 1995a.
- AIAG, **Potential Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)**, Reference Manual, Chrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motors Corporation, Detroit Michigan, 1995c.
- AIAG, **Statistical Process Control (SPC)**. Reference Manual, Chrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motors Corporation, Detroit Michigan, 1995b.
- ARAÚJO, I. M.; SANTOS, C. K. S.; CAMARA, J. M. **Manutenção Elétrica Industrial**. Disponível em: <http://www.dee.ufrn.br/~joao/apostila/cap03.htm>. Acesso em 16/12/2008.
- ASME **annual winter meeting**, Atlanta, 17-22 november 1996.
- BACK, Nelson & FORCELLINI, Fernando. **Apostila “Projeto de Produto”**. Florianópolis: UFSC.1998.
- BEN-DAYA, M.; RAOUF, A. **A revised failure mode and effect analysis model**. International Journal of Quality & Reliability Management, v. 13, n. 1, p. 43-47, 1996.
- BERRY, Leonard L; PARASURAMAN A.; ZEITHAML, Valarie A. **Um Modelo Conceitual de Qualidade de Serviços e Suas Implicações para a Pesquisa no Futuro**. R AE Revista de Administração de Empresas. V 46.nº4 . 96 a 107. Outubro /dezembro. 2006
- BETTMAN, J.R. **An Information Processing Theory of Consumer Choice**. Reading, MA: Addison-Wesley, 1979.p.272.
- BOWLES, J.B. e PELÁEZ, C.E. – **Using fuzzy cognitivr maps as a system model for failure modes and effects nalysis, Information Science**, v. 88, n. 1-4, p. 177-199, 1996.
- BRAGA, Roberto Silveira. **Serviços – a Revolução na Organização Social, In: Administração: Evolução, desafios, tendências**. SIQUEIRA, E.S. et al. (orgs.) São Paulo: Cobra, cap. 5, p. 111 e 112, 2001.

BULL, D.R. Burrows, C.R. Edge, K.A. Hawkins, P.G. Woolons, D.J. **A computational tool for failure modes and effects analysis of hydraulic systems**,.1996.

CAGLIUME, F. R.; PILATTI, L. A.; KOVALESKI, J. L. **Otimizando o Pilar da Manutenção planejada com o 5S: um estudo de caso**. Disponível em: www.pg.cefetpr.br/incubadora/wp-content/themes/4o_epege/otimizando-o-pilar-demanutencao-planejada.pdf. Acesso em 16/12/2008.

CAMPOS JUNIOR, E. E. **Reestruturação da area de Planejamento, Programação e Controle na area de Gerência de Manutenção Portuária – CVRD**. Disponível em: <http://www.cct.uema.br/Monografias/EngMecanica/m_em_2006-13.pdf, 2006>. Acessado em: 27/11/2010

CAMPOS, Vicente Falconi. **Controle da Qualidade Total (No Estilo Japonês)**. Edição: várias. Belo Horizonte: DG Editors, 1990, 1992 e 1999.

CARDOSO, I.A.P., **Elaboração de Políticas de Manutenção : Uma Abordagem Voltada à Análise de Confiabilidade**, dissertação apresentada à Escola Politécnica da USP como requisito do programa de Mestrado em Engenharia Mecânica, São Paulo, Brasil, 2000

CRAWFORD Fred; MATHEWS Ryan. **O Mito da Excelência. Por Que as Empresas Líderes Nunca tentam ser as melhores em tudo**.São Paulo: Manole. p. 24. 2002.

CROSBY, Philip B. **Qualidade é Investimento**. 4. ed. Rio de Janeiro: José Olympio, 1991.

DEMING, W. E. **Qualidade: a revolução da administração**. Rio de Janeiro: Marques–Saraiva, 1990.

DIPPENAAR, D.: **"Integrated maintenance information management"**. South Africa Mechanical Engineer, v.38, n.11-12, 1988.

FALCONI, V. **Controle da Qualidade Total (no estilo japonês)**.Bloch Editores. RJ. 1992

FEIGENBAUM, Armand Vallin. **Total Quality Control**. McGraw-Hill, 1961. p. 94.

FERNANDES, M.A. **Revista Máquinas e Metais**, pág. 316 à 329, 2003.

FIATES, Gabriela Gonçalves Silveira. **A utilização do QFD como Suporte a implementação do TQC em empresas do setor de serviço**. Disponível em: <<http://www.eps.ufsc.br/disserta/fiates/indice/index.htm>>. Acesso em 23.07.2010.

FLEMING, P.V. **Aplicando manutenção centrada em confialidade (MCC) em indústrias brasileiras: lições aprendidas**. 1999.

FORD. **Quality System Requirements - QS-9000**. USA, 1994;

HAWKINS P.G. and WOOLLONS D.J., **Failure modes and effects analysis of complex engineering systems using functional models. Artificial Intelligence in Engineering**, 1998, 12, 375-397, 1998.

HUANG, G. Q.; SHI, J.; MAK K. L. **Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) Over the www. International Journal Advanced Manufacturing Technology**, n. 8, v. 16, p. 603-608, Jul. 2000.

IRESOON, W. Grant; COOMBS Jr., Clyde F.; MOSS, Richard Y. **Handbook of Reliability Engineering and Management**. 2. ed. New York, United States of America: McGraw-Hill, 1996. ISBN 0-07-012750-6.

ISHIKAWA, Kaoru ; (Translator: J. H. Loftus). **Introduction to Quality Control**; 448 p, 1972.

JURAN, J.M. **Planejamento para a qualidade**. 2.ed. São Paulo: Pioneira,1992.

KARDEC, A. E NASCIF, J. **Manutenção Função Estratégica**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.

KUME, Hitoshi, **Métodos Estatísticos para a Melhoria da Qualidade**, Editora Gente, 1993.

LEAL, O. P.; BAFFA, P.; GARCIA, H. L. **Otimização da frequência na manutenção preventiva**. In: XXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Fortaleza, 2006.

LEITCH, R., **Reliability Analysis for Engineers : an Introduction**. Oxford University Press, Oxford, Grã Bretanha, 1995.

LEITE, Fernando José Toledo e QUALHARINI, Eduardo Linhares. **Diretrizes para Integração das Atividades de Manutenção com as Atividades de Produção em uma Indústria Automobilística Estudo de Caso**. Disponível em: <http://www.aedb.br/seget/artigos07/1210_Descentralizacao%20da%20Manutencao_SEGET_Ago07.pdf> Acesso em 23.07.2010

LIMA, Francisco Assis e CASTILHO, João Carlos Nogueira. **Aspectos da Manutenção dos Equipamentos Científicos da Universidade de Brasília**, 2006.

MARÇAL, R. F. **Gestão da Manutenção. Ponta Grossa**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Produção (PPGEP). Notas de aula, 2008.

MARCUZZO, Adílio Junior. **Ética e Qualidade na Manutenção de Aeronaves**. Disponível em: < <http://www.manutencaodeaeronaves.eng.br/principal.asp?page=4&article=39>>. Acesso em 22.07.2010.

Michigan, United States of America: Thermotron Industries, 1998. 31p.

MIL-P-1629. US Department of Defense. **A procedure for performing FMECA**, Revision 2005, MIL Standards, <<http://store.mil-standards.com/index.asp?PageAction=VIEWPROD&ProdID=63>> Acessado em 12/03/2011.

MONCHY, F. **A função manutenção**. São Paulo: EBRAS/DURBAN, 1989.

MOUBRAY, John. **Manutenção Centrada em Confiabilidade**. Traduzido por: Kleber Siqueira, 2000.

NICOLUCI, M. V. e GIULIANI, A. C. **A era dos serviços - desafios e tendências**, Disponível em: < <http://www.etur.com.br/conteudocompleto.asp?idconteudo=1618>, 2003>. Acessado em 25/11/2010.

NUNES, E.L. e VALLADARES, E. **Potencialidades da MCC para Gestão Integrada da Manutenção e da Mudança das Organizações**, XXII ENEGEP, 2002.

OLIVEIRA, L. F. S.; DINIZ, F. L. B. **Apostila do curso de manutenção centrada em confiabilidade**. Foz do Iguaçu: DNV Principia, abr. 2001. 102p. Notas de aula. Impresso.

PACHUCKI, W.J.: "**Computerized maintenance management information systems. a valuable tool**". Mining Engineering, v.43, n.1, p.33-35, Jan/1991.

PALADY, P. **FMEA – Análise dos Modos de Falha e Efeitos – Prevendo e Prevenindo Problemas antes que Ocorram**. p.270, São Paulo: IMAM, 1997.

PALADY, P. **FMEA Análise dos Modos de Falha e Efeitos**. 3. ed. São Paulo: IMAM, 2004.

PELOGGIO, Daniel Ferreira e VASCONCELOS, Roberto R. **Critérios de avaliação da qualidade do serviço em manutenção – caso de uma indústria de papel e celulose**. XIII SIMPEP, 2006.

PINNA, T., CAPORALI, R., CAMBI, G., BURGAZZI, L., POU CET, A. and PORFIRI, M.T. **Failure mode and effect analysis on ITER heat transfer systems**, *Fusion Engineering and Design*. Vol. 42, pp.431–436, 1998.

POSSAMAI, O. e NUNES, E.L. **Falhas ocultas e a Manutenção centrada em Confiabilidade**. ENEGEP, 2001.

PRICE, C. J. **Effortless Incremental Design FMEA**, *Proc. Ann. Reliability and Maintainability Symp.*, 43-47, IEEE Press, 1996.

QS-9000 (**Quality System Requirements**). 3.ed. Southfield, Michigan: Automotive Industry Action Group (AIAG), 2004.

QUALYTEC, **Distribuição de Weibull**. Disponível em <<http://www.qualytek.com.br/page10.html>>. Acesso em 25/11/2010.

REIS, L.O.R. e ANDRADE, J.J.O. **Análise de Falhas e da Posição na Curva da Banheira de Moldes Empregados em Equipamentos de Injeção**. ENEGEP, 2009.

RIFKIN, Jeremy. **A era do acesso**. São Paulo: Makron Books, 2001.

RODRIGUES, M. **Manutenção industrial em Curitiba e cidades circunvizinhas: Um diagnóstico atual.** Curitiba, 2003.

SAKURADA, E.Y. **As técnicas de análises dos modos de falhas e seus efeitos e a análise de árvore de falhas no desenvolvimento e avaliação de produto,** 2001

SANTOS, Costa Luciano. **Projeto e Análises de Processos de Serviços.** Disponível em: <<http://teses.eps.ufsc.br/defesa/pdf/4183.pdf>>. Acesso em 21.07.2010.

SANTOS, M. Queiroz. **Custo de Manutenção, 2009.** Disponível em: <<http://www.profissionalizando.org/concursos/76-administracao/954-custos-e-premissas-para-boa-manutencao>>. Acessado em 17 de julho de 2010.

SCAPIN, C.A. **Análise sistêmica de falhas.** Belo Horizonte. Editora: Desenvolvimento Gerencial, 1ª edição, 1999.

SEIXAS, E.S. **Manutenção Centrada na Confiabilidade Estabelecendo a Política de Manutenção com Base nos Mecanismos de Falha dos Equipamentos.** Disponível em: <<http://www.icapdelrei.com.br/arquivos/Artigos/rcm.pdf>>. Acesso em 22.07.2010.

SHERWIN, D.J.: "**Design for a comprehensive maintenance planning recording and optimization system**". Engineering Costs and Production Economics, v.20, n.1, p.37-42, Jul/1990.

SHIBI, E. **CMMS senso comum – Combinação de software e dispositivos portáteis.** Disponível em: < Disponível em: http://translate.google.com.br/translate?hl=pt-BR&langpair=en%7Cpt&u=http://www.plant-maintenance.com/maintenance_articles_cmms.shtml>. Acessado em 27/11/2010.

SOUZA, Valmir Zacarias de. **Otimização dos parâmetros de controle de um processo de fabricação de latas.** Itajubá: EFEI, 2002.

SPES Engenharia de Sistemas Ltda. São Paulo, Brasil. Edição Brasileira, 2000.

STAMATIS, D.H.. **Failure Mode and Effect Analysis.** ASQC Quality Press, Milwaukee, Wisconsin, 1995;

TAVARES, L.A. **Administração Moderna da Manutenção.** Rio de Janeiro: Novo Pólo Publicações, 1999. P.208

TAVARES, L.A.: **Controle de manutenção por computador.** Rio de Janeiro: Editora Técnica, 1987.

TAVARES, Lourival. **Revista Nova Manutenção y Qualidade,** edição nr. 54 Disponível em: <http://www.myq.com.br/html/revistas/54/54_abra20.htm, 2005>. Acessado em: 11/2010.

TÉBOUL, James. **A era dos serviços: Uma nova abordagem de gerenciamento.** Rio de Janeiro: Qualitymark, 1999.

TENG, S.H, and HO S. Y., **Failure mode and effects analysis** International Journal of Quality & Reliability Management, Vol. 13 No. 5, p. 8-26, 1996.

TERBECK, Luis Henrique Pinto. **Análise de Falhas, Tópicos de Engenharia de Confiabilidade**, 2004.

THERMOTRON INDUSTRIES. **Fundamentals of Accelerated Stress Testing**. Holland, várias. Belo Horizonte: DG Editors, 1990, 1992 e 1999.

VERGARA, Sylvia Constant. **Métodos de Coleta de Dados no Campo**. São Paulo: Atlas, 2009.

VERGARA, Sylvia Constant. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. 10^a. Ed. São Paulo: Atlas, 2009.

VERRI, L.A. **Gerenciamento pela Qualidade Total na Manutenção Industrial – Aplicação Prática**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2007.

VILLACOURT, M. **Failure mode and Effects Analysis (FMEA): A guide for continuous improvement for the semiconductor equipament industry** (Technology Transfer #92010963B-ENG) Austin, TX: International Sematech, September 1992.

YIN, Robert K. **Estudo de Caso: Planejamento e Métodos**. 4 ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.

APÊNDICES

APÊNDICE A

Carta de apresentação

Caro(a) Senhor(a);

Sou aluno regular do curso de Mestrado Profissional em Engenharia de Produção, oferecido pela UFAM - Universidade Federal do Amazonas em parceria com o Instituto Nokia de Tecnologia, através do programa EPQ - *Electronic Product Quality*, e estou realizando uma pesquisa sobre DIAGNÓSTICO E PROPOSTAS PARA MANUTENÇÃO DA ESTRUTURA DE SUPORTE À PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS DE ALTA TECNOLOGIA, sob orientação do Prof. Dr. Idécio Alexandre Palheta Cardoso, cujo objetivo é identificar qual a política de gestão da manutenção adotada pela organização que almejam o aumento da disponibilidade e confiabilidade das máquinas e equipamentos do laboratório.

As informações coletadas nos questionários serão fundamentais para o alcance dos objetivos da pesquisa e poderão identificar o perfil dos Gestores da Manutenção e da importância atribuída pelos mesmos à manutenção.

Não há respostas corretas ou incorretas, as questões são objetivas e expressam somente a sua percepção sobre o que acontece na empresa em que você trabalha. Todas as respostas serão tratadas confidencialmente e não serão atribuídas a nenhum entrevistado de forma individual.

Agradeço antecipadamente por sua atenção e colaboração. Sua participação é muito importante para a pesquisa seja confiável e útil às comunidades acadêmica e à organização na qual você trabalha.

Atenciosamente,

Francisco de Castro Mello Neto

Mestrando em Engenharia de Produção

Universidade Federal do Amazonas

APÊNDICE B

Esta pesquisa faz parte da dissertação de mestrado - DIAGNÓSTICO E PROPOSTAS PARA MANUTENÇÃO DA ESTRUTURA DE SUPORTE À PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS DE ALTA TECNOLOGIA, e visa identificar a política de manutenção existente em um laboratório de pesquisa, para propor a melhor uma política a ser aplicada a fim de garantir maior disponibilidade dos ativos.

QUESTIONÁRIO

1 – Caracterização do entrevistado

1.1 – Nome:

1.2 - Cargo:

2 – Caracterização da manutenção

2.1 – Os equipamentos em estudo são importantes para o desenvolvimento do trabalho no laboratório de ensaios climáticos ? (telecomunicações)

SIM

NÃO

2.2 – Os pesquisadores e técnicos são treinados para o manuseio dos equipamentos ?

SIM

NÃO

2.3 – Antes da utilização do equipamento pela primeira vez, é solicitado ao usuário a leitura do manual de instruções ?

SIM

NÃO

2.4 – Quando o equipamento qualquer tipo de sinalização de defeito, a manutenção é acionada ?

SIM

NÃO

2.5 – Existe a prática de manutenção voltada à prevenção ?

SIM

NÃO

2.6 – Você considera importante a manutenção preventiva ?

SIM

NÃO

2.7 – Existem técnicos contratados para manutenção preventiva ou até mesmo um contrato com uma prestadora de serviços de manutenção ?

SIM

NÃO

2.8 – Quando na aquisição de um equipamento, você leva em consideração os custos e dificuldades de manutenção ?

- SIM
- NÃO

2.9 – Como você avalia o serviço de manutenção de equipamentos do laboratório neste Instituto ?

- Bom
- Razoável
- Ruim

2.10 – Você considera que a qualidade da manutenção aplicada nos equipamentos do laboratório podem interferir no resultado das análises ?

- SIM
- NÃO

2.11 – A demora ou qualidade do serviço de manutenção de um equipamento já causou alguma perda para o trabalho ?

- SIM
- NÃO

2.12 – São conhecidas as funções dos equipamentos, bem como as normas para desempenho ?

- SIM
- NÃO

2.13 – O equipamento pode deixar de cumprir suas funções operacionais ?

- SIM
- NÃO

2.14 – Existe um mapeamento de cada falha funcional ?

- SIM
- NÃO

2.15 – Existe o registro do que acontece quando ocorre cada avaria ?

- SIM
- NÃO

2.16 – Existe algo que pode ser feito para prever ou evita as falhas ?

- SIM
- NÃO

2.17 - É necessária a implementação de uma nova política de manutenção para os equipamentos do laboratório de ensaios climáticos ? (Telecomunicações)

- Não, a política existente é adequada, o que diificulta são outros problemas;
- Não, a atual política é adequada e deve continuar como está;

Sim, é necessário para melhorar a disponibilidade dos equipamentos.

2.18 - São conhecidos e/ou mapeados os subsistemas e componentes críticos para funcionalidade do equipamento?

SIM

NÃO

2.19 - É analisada/mantida a necessidade de peças sobressalentes?

SIM

NÃO